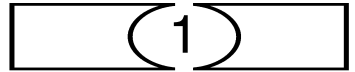


КОВКА И ШТАМПОВКА

МАТЕРИАЛЫ И НАГРЕВ.
ОБОРУДОВАНИЕ. КОВКА



КОВКА И ШТАМПОВКА

Справочник в 4-х томах

Редакционный совет

Председатель совета

Е.И. Семенов,

Засл. деятель науки и техники РФ, д.т.н., проф.

Члены совета:

О.А. Ганаго, д.т.н., проф.; **В.А. Демин,** д.т.н., проф.;

А.М. Дмитриев, чл.-кор. РАН, д.т.н., проф.;

Л.И. Живов, Засл. деятель науки и техники РФ, д.т.н., проф.;

А.Г. Колесников, д.т.н., проф.;

О.С. Кошелев, д.т.н., проф.; **А.Т. Крук,** д.т.н., проф.

С.С. Яковлев, д.т.н., проф.



МОСКВА
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»
2010

КОВКА И ШТАМПОВКА



МАТЕРИАЛЫ И НАГРЕВ. ОБОРУДОВАНИЕ. КОВКА

2-е издание, переработанное и дополненное

Под редакцией
Е.И. Семенова,
Засл. деятеля науки и техники РФ, д.т.н., проф.



МОСКВА
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»
2010

УДК 621.73(035)
ББК 34.623я2
К 56

Авторы тома: А.Ю. Аверкиев, Д.И. Бережковский, Э.Ф. Богданов,
Ю.С. Вильчинский, И.Г. Гетия, А.М. Дмитриев, Н.П. Доненберг, С.А. Евсюков,
В.Г. Ковалев, А.И. Колпашников, Н.В. Коробова, Л.С. Кохан, А.Т. Крук,
М.А. Крючков, Н.И. Ляпунов, П.В. Маркин, А.Д. Матвеев, Г.Г. Мухин,
А.Г. Навроцкий, А.В. Рыбаков, А.В. Сафонов, С.В. Сельский, Е.И. Семенов,
И.Е. Семенов, А.А. Скворцов, С.А. Скородумов, С.С. Соловцов,
Л.Г. Степанский, В.Н. Субич, В.А. Ульянов, З.Г. Унанян,
А.Е. Феофанова, А.П. Шляхин, С.С. Яковлев

Ковка и штамповка: справочник. В 4 т. Т. 1. Материалы и нагрев. Оборудо-
К 56 вание. Ковка. — 2-е изд., перераб. и доп. / под общ. ред. Е.Н. Семенова. — М.: Машиностроение, 2010. — 717 с.: ил.

ISBN 978-5-217-03460-4 (Т.1)
ISBN 978-5-217-03459-8

В первом томе изложены сведения о материалах и заготовках для ковки, штамповки. Рассмотрены вопросы деформирования стали и сплавов, подготовки поверхности металла и способы его разделения на заготовки, термические режимы ковки и объемной штамповки.

Во 2-м издании (1-е изд. 1985 г.) впервые даны сведения о металлических порошках для прессования, значительно переработаны разделы по пламенным печам и электронагреву перед ковкой и штамповкой, разделы ковочно-штамповочного оборудования, механизации и автоматизации технологических процессов и проектирования ковки и штамповки, контроля качества поковок, материалы по термической обработке поковок, особенностям ковки инструментальных и жаропрочных сталей, цветных сплавов, технико-экономическим показателям кузнечных и листоштамповочных цехов, охране труда и т.д.

Предназначен для инженерно-технических работников машиностроительных предприятий, может быть полезен преподавателям и студентам вузов.

УДК 621.73(035)
ББК 34.623я2

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов,
опубликованных в данной книге, допускаются только с разрешения издательства
и со ссылкой на источник информации

ISBN 978-5-217-03460-4 (Т.1)
ISBN 978-5-217-03459-8

© ОАО «Издательство «Машиностроение», 2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

Условные сокращения	7
Глава 1. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КОВКИ И ШТАМПОВКИ ЗАГОТОВОК И ДЕТАЛЕЙ, ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ ПРЕССОВОК	9
1. Классификация сталей дляковки и штамповки (<i>Г.Г. Мухин</i>)	9
2. Классификация, химический состав и физико-механические свойства цветных металлов и сплавов (<i>А.И. Колпашиников</i>).	54
3. Металлические порошки для прессования (<i>Г.Г. Мухин, А.М. Дмитриев</i>).	83
4. Неметаллические листовые материалы (<i>А.Ю. Аверкиев, Г.Г. Мухин</i>)	90
Глава 2. ЗАГОТОВКИ ДЛЯ КОВКИ И ШТАМПОВКИ	97
1. Стальные слитки. Сортамент. Слитки ЭШП, ВДП и другие (<i>А.П. Шляхин</i>)	97
2. Сортовой прокат. Сортамент различных видов проката (<i>А.П. Шляхин</i>)	104
3. Заготовки, получаемые на машинах непрерывной разливки. Сортамент. (<i>Л.Г. Степанский</i>)	124
4. Прессованные профили. Сортамент. Механические свойства (<i>Л.Г. Степанский</i>)	126
5. Листовой прокат. Сортамент (<i>А.П. Шляхин</i>)	135
Глава 3. ДЕФОРМИРОВАНИЕ СТАЛИ И СПЛАВОВ	160
1. Механические характеристики стали и сплавов (<i>Д.И. Бережковский, И.Е. Семенов</i>)	160
2. Диаграммы рекристаллизации стали и сплавов (<i>Д.И. Бережковский, И.Е. Семенов</i>)	174
3. Скоростной, масштабный коэффициенты и коэффициент трения при пластическом деформировании стали и сплавов (<i>Д.И. Бережковский, И.Е. Семенов</i>).	179
4. Испытания технологических свойств листовых металлов (<i>А.Ю. Аверкиев, А.Д. Матвеев</i>)	185
Глава 4. ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА И СПОСОБЫ ЕГО РАЗДЕЛЕНИЯ НА ЗАГОТОВКИ	203
1. Зачистка поверхности металла (<i>С.С. Соловцов</i>).	203
2. Разделение материала на заготовки (<i>С.С. Яковлев</i>)	204
Глава 5. ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ КОВКИ И ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ	261
1. Температурные интервалыковки стали (<i>Д.И. Бережковский, В.А. Ульянов</i>).	261
2. Температурные интервалыковки и штамповки цветных металлов и сплавов (<i>А.И. Колпашиников, В.А. Ульянов</i>)	267
3. Нагрев стали под ковку и объемную штамповку (<i>А.А. Скворцов, В.А. Ульянов</i>)	271
4. Охлаждение стальных поковок (<i>А.А. Скворцов, В.А. Ульянов</i>)	279
5. Угар и обезуглероживание стали при нагреве (<i>А.А. Скворцов, В.А. Ульянов</i>)	281
Глава 6. ПЛАМЕННЫЕ ПЕЧИ ДЛЯ НАГРЕВА ПОД КОВКУ И ШТАМПОВКУ	287
1. Классификация пламенных печей (<i>А.А. Скворцов</i>).	287
2. Тепловой баланс и тепло-технические показатели пламенных печей (<i>Э.Ф. Богданов, Н.В. Коробова</i>)	302
Глава 7. ЭЛЕКТРОНАГРЕВ И ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА (<i>С.В. Сельский, З.Г. Унанян</i>)	305
1. Современные методы и устройства электронагрева металла под ковку и штамповку	305
2. Области применения разных методов электронагрева и технико-экономические показатели	327
Глава 8. КОВОЧНО-ШТАМПОВОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ (<i>А.Т. Крук, А.В. Сафонов</i>)	341

1. Механические прессы	341	прессах (<i>Н.П. Доненберг,</i> <i>Ю.С. Вильчинский</i>)	529
2. Гидравлические прессы . . .	355	2. Ковочные операции (<i>Е.И. Се-</i> <i>менов</i>)	556
3. Молоты	372	3. Разработка технологического	
4. Ковочные машины.	377	процесса (<i>Ю.С. Вильчинский</i>) . . .	569
5. Ножницы	382	4. Примеры ковки на молотах и	
Глава 9. МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМА-		прессах (<i>Ю.С. Вильчинский</i>)	601
ТИЗАЦИЯ КОВКИ И ШТАМ-		5. Качество поковок (<i>Е.И. Се-</i> <i>менов</i>)	612
ПОВКИ	388	Глава 13. ОСОБЕННОСТИ КОВКИ ИНСТ-	
1. Механизация и автоматизация		РУМЕНТАЛЬНЫХ И ЖАРО-	
ковки (<i>П.В. Маркин</i>).	388	ПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ, СПЛАВОВ	
2. Автоматизация и механизация		ЦВЕТНЫХ И ТУГОПЛАВКИХ	
горячей объемной штамповки		МЕТАЛЛОВ (<i>С.А. Евсюков,</i> <i>С.А. Скородумов</i>).	616
(<i>Н.И. Ляпунов</i>)	402	1. Ковка инструментальных	
3. Автоматизация и механизация		сталей	616
холодной объемной штам-		2. Ковка жаропрочных сталей	
повки (<i>Л.С. Кохан, А.Г. Навроц-</i> <i>кий</i>)	422	и сплавов (<i>С.А. Евсюков, С.А. Ско-</i> <i>родумов</i>)	625
4. Автоматизация и механизация		3. Ковка цветных металлов и	
листовой штамповки		сплавов (<i>С.А. Евсюков, С.А. Ско-</i> <i>родумов</i>)	634
(<i>М.А. Крючков</i>)	435	4. Ковка тугоплавких металлов	
Глава 10. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕК-		и сплавов на их основе (<i>С.А. Ев-</i> <i>сюков</i>)	652
ТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕ-		Глава 14. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ	
СКИХ ПРОЦЕССОВ КОВКИ		ПОКАЗАТЕЛИ И АНАЛИЗ	
И ШТАМПОВКИ	461	РАБОТЫ КУЗНЕЧНЫХ ЦЕХОВ	
1. Автоматизация проектирования		(<i>Е.И. Семенов, М.А. Крючков</i>) . . .	664
технологических процессов ковки		Глава 15. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ	
и горячей объемной штамповки		ПОКАЗАТЕЛИ И АНАЛИЗ РАБО-	
(<i>В.Н. Субич</i>)	461	ТЫ ЛИСТОШТАМПОВОЧНЫХ	
2. Автоматизация проектиро-		ЦЕХОВ (<i>А.Е. Феофанова</i>)	685
вания технологических процес-		Глава 16. ОХРАНА ТРУДА В КУЗНЕЧНЫХ	
сов листовой штамповки		И ЛИСТОШТАМПОВОЧНЫХ	
(<i>В.Г. Ковалев, А.В. Рыбаков</i>) . . .	489	ЦЕХАХ (<i>И.Г. Гетия</i>)	706
Глава 11. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА		Список литературы	714
СТАЛЬНЫХ ПОКОВОК			
(<i>Г.Г. Мухин</i>)	520		
Глава 12. КОВКА НА МОЛОТАХ			
И ПРЕССАХ	529		
1. Инструмент и приспособле-			
ния для ковки на молотах и			

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

E	— модуль нормальной упругости, МПа (Н/мм ²);
σ_T	— предел текучести физический, МПа;
$\sigma_{0,2}$	— предел текучести условный, МПа;
σ_B	— временное сопротивление (предел прочности при разрыве), МПа;
σ_{Bt}	— временное сопротивление при температурековки (штамповки) и соответствующей скорости деформации, МПа;
σ_s	— истинное сопротивление деформированию, МПа;
$\sigma_{шт}$	— истинное сопротивление деформированию при максимальной равномерной деформации (в момент начала образования шейки) при одноосном растяжении образца, МПа;
$\tau_{ср}$	— напряжение текучести на срез, МПа;
$\sigma_{сд}$	— напряжение текучести на сдвиг, МПа;
τ_s	— истинное сопротивление срезу, МПа;
τ_B	— предел прочности на сдвиг, МПа;
δ_p	— относительное равномерное удлинение, %;
δ	— относительное удлинение после разрыва, %;
ψ	— относительное сужение после разрыва, %;
r	— коэффициент анизотропии;
$r_{ср}$	— средний коэффициент анизотропии;
F_0 и F_k	— начальная и минимальная площади поперечного сечения рабочей части образцов при растяжении, мм ² ;
σ_i	— интенсивность напряжений, МПа;
ε	— степень деформации;
$\dot{\varepsilon} = \frac{\partial \varepsilon}{\partial t}$	— скорость деформации, 1/с;
Λ	— интенсивность сдвиговой деформации;
Λ_p	— предельная интенсивность сдвиговой деформации;
$\varepsilon_{ф}$	— фактическая степень деформации;
ε_i	— интенсивность деформаций;
$\dot{\varepsilon}_i$	— интенсивность скорости деформации, 1/с;
$\dot{\varepsilon}_{ср}$	— средняя скорость деформации, 1/с;
v	— скорость деформирования, мм/с;
НВ	— твердость по Бринеллю;
HRA, HRB, HRC	— твердость по Роквеллу, соответственно «шкалы» А, В, С;
HV	— твердость по Виккерсу;
α	— температурный коэффициент линейного расширения, 10 ⁻⁶ ·1/°С;
λ	— теплопроводность (коэффициент теплопроводности среды), Вт/(м·°С), (Вт/(м·К));
c	— удельная теплоемкость (Дж/(кг·°С)), (Дж/(кг·К));
KCU, KCV, KCT	— ударная вязкость, определяемая на образце с U-, V- или T-образным концентратором при комнатной температуре Дж/м ² ;
$K_\psi = \psi / \sigma_B$ или $K_\delta = \delta / \sigma_B$	— критерий ковкости, % / МПа;
$K_{ж} = \frac{(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)}{(3\sigma_i)}$	— коэффициент жесткости;
$\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$	— главные напряжения ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$), МПа;
t	— время деформирования, с;
τ	— время нагрева, с;
$\mu_{зер}$	— средний диаметр зерна в диаграммах рекристаллизации, мкм;

T	— температура, °C
T_d	— температура деформирования, °C;
$T_{пл}$	— температура плавления, °C;
$T_{отж}$	— температура отжига, °C;
A	— работа деформирования;
P	— сила процесса, кН;
M	— момент внешних сил;
N	— мощность, Вт;
η	— динамическая (условная) вязкость смазочного материала, (Па·с);
μ	— коэффициент трения;
μ_0	— магнитная постоянная (магнитная проницаемость вакуума);
μ_{mag}	— относительная магнитная проницаемость материала заготовки, Ом·с/м; (Гн/м)
ρ	— удельное электрическое сопротивление материала заготовки, Ом·м;
μ_a	— абсолютная магнитная проницаемость материала заготовки;
γ	— плотность, г/см ³ , (кг/м ³);
G	— масса, кг;
F	— площадь, мм ² ;
$G_{заг}$	— масса заготовки, кг;
$G_{п}$	— масса поковки, кг;
$G_{приб}$	— масса прибыльной части слитка, кг;
G_d	— масса донной части слитка, кг;
$G_{обс}$	— масса обсечек, кг;
$G_{уг}$	— масса угара, кг;
$V_{п}$	— объем поковки, мм ³ , см ³ ;
$\eta_{п} = G_{п} / G_{заг}$	— выход годного;
$D_{заг}$	— диаметр заготовки, мм;
$D_{п}$	— диаметр поковки, мм;
$K_{и}$	— коэффициент использования оборудования;
K_z	— средний коэффициент загрузки оборудования;
a	— толщина образца при испытании листов на изгиб;
d	— толщина оправки при испытании листов на изгиб.

Глава 1

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КОВКИ И ШТАМПОВКИ ЗАГОТОВОК И ДЕТАЛЕЙ, ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ ПРЕССОВОК

1. КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЛЕЙ ДЛЯ КОВКИ И ШТАМПОВКИ

Стали, применяемые дляковки и штамповки, подразделяют на группы:
сталь углеродистая обыкновенного качества;

сталь углеродистая качественная конструкционная;

сталь легированная конструкционная;

сталь высоколегированная коррозионно-стойкая, жаропрочная, жаро-стойкая;

сталь инструментальная (углеродистая, быстрорежущая, легированная).

Углеродистые стали обыкновенного качества, химический состав которых указан в табл. 1, содержат не более 0,49 % С.

В зависимости от степени раскисления эти стали подразделяют на кипящие (Ст1кп, Ст2кп, Ст3кп, Ст4кп), полуспокойные (Ст1пс, Ст2пс, Ст3пс, Ст4пс, Ст5пс и Ст6пс) и спокойные (Ст1сп, Ст2сп, Ст3сп, Ст4сп, Ст5сп, Ст6сп). К сталям обыкновенного ка-

1. Химический состав углеродистых сталей обыкновенного качества (ГОСТ 380–2005)

Сталь	Массовая доля, %		
	С	Mn	Si
Ст0	≤0,23	—	—
Ст1кп	0,06...0,12	0,25...0,50	≤0,05
Ст1пс	0,06...0,12	0,25...0,50	0,05...0,15
Ст1сп	0,06...0,12	0,25...0,50	0,15...0,30
Ст2кп	0,09...0,15	0,25...0,50	≤0,05
Ст2пс	0,09...0,15	0,25...0,50	0,05...0,15
Ст2сп	0,09...0,15	0,25...0,50	0,15...0,30
Ст3кп	0,14...0,22	0,30...0,60	≤0,05
Ст3пс	0,14...0,22	0,40...0,65	0,05...0,15
Ст3сп	0,14...0,22	0,40...0,65	0,15...0,30
Ст3Гпс	0,14...0,22	0,80...1,10	≤0,15
Ст3Гсп	0,14...0,22	0,80...1,10	0,15...0,30
Ст4кп	0,18...0,27	0,40...0,70	≤0,05
Ст4пс	0,18...0,27	0,40...0,70	0,05...0,15
Ст4сп	0,18...0,27	0,40...0,70	0,15...0,30

Окончание табл. 1

Сталь	Массовая доля, %		
	C	Mn	Si
Ст5пс	0,28...0,37	0,50...0,80	0,05...0,15
Ст5сп	0,28...0,37	0,50...0,80	0,15...0,30
Ст5Гпс	0,22...0,30	0,80...1,20	≤0,15
Ст6пс	0,38...0,49	0,50...0,80	0,05...0,15
Ст6сп	0,38...0,49	0,50...0,80	0,15...0,30

Примечание. Допускается не более 0,3 % Cu; 0,3 % Ni; 0,3 % Cr; 0,08 % As; 0,04 % P; 0,05 % S; в стали Ст0 не более 0,07 % P; 0,06 % S.

чества относят также Ст3Гпс, Ст3Гсп, Ст5Гпс с повышенным содержанием марганца.

В сталях обыкновенного качества нормируют содержание примесей: S ≤ 0,05 %; P ≤ 0,04 %; As ≤ 0,08 % (в сталях, выплавленных на керченской руде, допускается As ≤ 0,15 % и P ≤ 0,05 %); N ≤ 0,010 % (в сталях, выплавленных в дуговых электропечах N ≤ 0,012 %). Кроме того, в сталях обыкновенного качества ограничивают содержание хрома, никеля и меди, максимально допустимая массовая доля не превышает 0,30 % для каждого элемента. Если при выплавке стали использовали в качестве раскислителей титан и алюминий, то их остаточное содержание Ti ≤ 0,03 %, Al ≤ 0,02 %. В стали Ст0 ограничивают только содержание углерода (≤0,23 %), серы (≤0,06 %), фосфора (≤0,07 %).

Согласно ГОСТ 535–2005 сортовой прокат производят из стали следующих марок: Ст0, Ст3 и Ст4 всех степеней раскисления, Ст5пс и Ст5сп; Ст6пс и Ст6сп. Стали Ст1 и Ст2 всех степеней раскисления прокатывают на лист согласно ГОСТ 16523–97.

В зависимости от назначения сортовой и фасонный прокат разделяют на три группы. Группа I объединяет все виды проката, которые предполагают использовать без обработки по-

верхности. В группу II входит прокат с предполагаемой обработкой резанием. В группу III — прокат с последующей горячей обработкой давлением. Для каждой группы проката допускаются поверхностные дефекты, если их глубина находится в пределах минусового отклонения размеров профиля проката. Если предельные отклонения не нормируются, то глубина залегания дефектов увеличивается, а зачистка дефектов разрешается на глубину не более 10 % толщины контролируемого профиля проката.

В зависимости от условий эксплуатации изделий показатели свойств стали определяют в разном объеме. Прокат из углеродистых сталей обыкновенного качества разделяют на пять категорий (табл. 2). Категорию определяет заказчик.

Механические свойства проката из углеродистых сталей обыкновенного качества приведены в табл. 3. С увеличением толщины проката закономерно понижаются значения σ_T и δ . Наименьшие требования предъявляют к стали Ст0: $\sigma_B \geq 300$ МПа, σ_T не нормируется.

Кипящие стали по сравнению со спокойными имеют пониженную прочность (на 10...20 МПа) и повышенную пластичность (разность значений $\delta = 1...2$ %). Кипящие стали дешевле спо-

2. Нормируемые показатели для углеродистых сталей обыкновенного качества (ГОСТ 535–2005)

Категория стали	Марки стали всех степеней раскисления	Химический состав	σ_B	σ_T	δ	Изгиб в холодном состоянии	Ударная вязкость КСЧ		
							при температуре, °С		после механического старения
							+20	–20	
1	Ст3–Ст6	–	+	+	+	+	–	–	–
2	Ст3–Ст5	+	+	+	+	+	–	–	–
3	Ст3, Ст4	+	+	+	+	+	+	–	–
4	Ст3пс	+	+	+	+	+	–	+	–
5	Ст3сп	+	+	+	+	+	–	+	+

Примечание. Знак «+» означает, что показатель нормируется, знак «–» — показатель не нормируется.

3. Механические свойства проката (не менее) из углеродистых сталей обыкновенного качества

Марка стали	σ_B , МПа	σ_T , МПа, при толщине проката, мм					δ , %, при толщине проката, мм			Изгиб* на 180° для толщины не более 20 мм
		<10	10...20	20...40	40...100	>100	≤20	20...40	>40	
Ст0	≥300	—	—	—	—	—	18	18	15	—
Ст3кп	360...460	235	235	225	215	185	27	26	24	$d = 0,5a$
Ст3пс	370...480	245	245	235	225	205	26	25	23	
Ст3сп	380...490	255	245	235	225	205	25	25	23	
Ст4кп	400...510	255	255	245	235	225	25	24	22	$d = 2a$
Ст4пс	410...265	265	265	255	245	235	24	23	21	
Ст4сп										
Ст5пс	490...630	285	285	275	265	255	20	19	17	—
Ст5сп	490...630	295	285	275	265	255	20	19	17	$d = 3a$
Ст6пс	≥600	315	315	315	295	295	15	14	12	—
Ст6сп										

* a — толщина образца; d — диаметр оправки.

Примечания: 1. Для Ст3сп $\sigma_B = 380...490$ МПа при толщине проката до 10 мм и $\sigma_B = 370...480$ МПа при толщине свыше 10 мм.

2. Допускается уменьшение относительного удлинения для фасонного проката всех толщин на 1 % (абс.).

койных, прокат из кипящих сталей содержит меньше поверхностных дефектов. Существенным недостатком кипящих сталей является склонность к старению, т.е. понижению характери-

стик пластичности при хранении и, особенно, при холодном деформировании. Причиной старения является повышенное содержание в стали не связанных азота и кислорода. Из-за

старения ограничивают срок сохранения технологической пластичности с момента изготовления проката. В частности, листы кипящей стали 08кп3 после дрессировки следует переработать в изделия в течение 7 сут. (ГОСТ 4041–71).

Склонность кипящих сталей к старению устраняют добавкой при выплавке сталей алюминия, ванадия и других элементов. Назначение добавляемых элементов — вывести азот и кислород из раствора в феррите благодаря образованию нитридов и оксидов.

Углеродистые стали обыкновенного качества содержат больше примесей и неметаллических включений, чем стали более высокого качества.

После прокатки эти стали часто имеют строчечную структуру. Она представляет собой ориентированное расположение полос феррита и перлита. Полосы вытянуты по направлению прокатки. Причиной появления строчечной структуры являются цепочки частиц включений, волокна и ленточки раскатанных включений, расположенные по направлению прокатки. При остывании стали после горячей прокатки на включениях выделяется феррит, образуя полосы, затем образуются полосы перлита между полосами феррита.

Строчечная структура является причиной анизотропии механических свойств проката. При разработке технологии горячей обработки давлением заготовок, имеющих строчечную структуру или неоднородную структуру иного происхождения (например, полученную при непрерывной разливке), необходимо учитывать расположение волокон по отношению к эксплуатационным напряжениям в изделии.

Углеродистые качественные стали по ГОСТ 1050–88 содержат не более 0,60 % С; стали, предназначенные для изготовления пружин, по ГОСТ 14959–79 содержат 0,65...0,85 % С.

Химический состав углеродистых качественных сталей указан в табл. 4. Стали характеризуются узким интервалом допустимого содержания углерода (0,08 %) и нормируемым содержанием хрома (0,10...0,25 %) для предупреждения «подкаливания» при охлаждении проката и обеспечения значения твердости горячекатаной стали не выше 255 НВ независимо от содержания углерода. Для сталей, выплавленных скрап-процессом на шихте с большим содержанием лома, допускается содержание хрома до 0,40 %.

Для сталей марок 08, 10, 15, 20 предусмотрены все степени раскисления; стали 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55пп и 60 выпускаются только спокойными. В обозначениях марок спокойных сталей, в отличие от сталей обыкновенного качества, не употребляют буквы «сп».

Углеродистые качественные стали содержат не более 0,008 % N, и стали, предназначенные для изготовления стального листа, 0,006 % N.

Для углеродистых качественных сталей механические свойства регламентированы для следующих состояний: после горячей прокатки; после нагартовки; после термической обработки. Значения механических свойств приведены в табл. 5–7.

Для горячекатаных сталей при повышении содержания углерода нормированные значения ударной вязкости понижаются от 0,9 (для стали 25) до 0,4 МДж/м² (для стали 60).

Дополнительные требования к качеству поверхности проката зависят от назначения проката. Для группы качества 1ГП необходимо испытание на осадку (65 %) в горячем состоянии, т.к. прокат предназначен для горячего деформирования: осадки, высадки, штамповки. На поверхности проката этой группы качества не допускаются раскатанные пузыри и волосовины. В группу качества 2ГП входит прокат,

4. Химический состав* сталей углеродистых качественных конструкционных (ГОСТ 1050–88 и ГОСТ 14959–79)

Марка стали	Массовая доля, %			
	C	Si	Mn	Cr, не более
08кп	0,05...0,12	До 0,03	0,25...0,50	0,10
08пс	0,05...0,11	0,05...0,17	0,35...0,65	0,10
08	0,05...0,12	0,17...0,37	0,35...0,65	0,10
10кп	0,07...0,14	До 0,07	0,25...0,50	0,15
10пс	0,07...0,14	0,05...0,17	0,35...0,65	0,15
10	0,07...0,14	0,17...0,37	0,35...0,65	0,15
11кп	0,05...0,12	До 0,06	0,30...0,50	0,15
15кп	0,12...0,19	» 0,07	0,25...0,50	0,25
15пс	0,12...0,19	0,05...0,17	0,35...0,65	0,25
15	0,12...0,19	0,17...0,37	0,35...0,65	0,25
18кп	0,12...0,20	До 0,06	0,30...0,50	0,25
20кп	0,17...0,24	» 0,07	0,25...0,50	0,25
20пс	0,17...0,24	0,05...0,17	0,35...0,65	0,25
20	0,17...0,24	0,17...0,37	0,35...0,65	0,25
25	0,22...0,30	0,17...0,37	0,50...0,80	0,25
30	0,27...0,35	0,17...0,37	0,50...0,80	0,25
35	0,32...0,40	0,17...0,37	0,50...0,80	0,25
40	0,37...0,45	0,17...0,37	0,50...0,80	0,25
45	0,42...0,50	0,17...0,37	0,50...0,80	0,25
50	0,47...0,55	0,17...0,37	0,50...0,80	0,25
55	0,52...0,60	0,17...0,37	0,50...0,80	0,25
58 (55пп)	0,55...0,63	0,10...0,30	До 0,20	0,15
60	0,57...0,65	0,17...0,37	0,50...0,80	0,25
65**	0,62...0,70	0,17...0,37	0,50...0,80	До 0,25
70**	0,67...0,75	0,17...0,37	0,50...0,80	» 0,25
75**	0,72...0,85	0,17...0,37	0,50...0,80	» 0,25
80**	0,77...0,85	0,17...0,37	0,50...0,80	» 0,25
85**	0,82...0,90	0,17...0,37	0,50...0,80	» 0,25
60Г**	0,57...0,65	0,17...0,37	0,70...1,00	» 0,25
65Г**	0,62...0,70	0,17...0,37	0,90...1,20	» 0,25
70Г**	0,67...0,75	0,17...0,37	0,90...1,20	» 0,25

* Допускается не более 0,040 % S; 0,035 % P; 0,30 % Ni; 0,30 % Cu.

** По ГОСТ 14959–79.

5. Механические свойства проката из углеродистой качественной стали диаметром (толщиной) не более 80 мм

Марка стали	σ_B	σ_T	δ	ψ
	МПа		%	
08	320	196	33	60
10	330	205	31	55
15	370	225	27	55
20	410	245	25	55
25	450	275	23	50
30	490	295	21	50
35	530	315	20	45
40	570	335	19	45
45	600	355	16	40
50	630	375	13	40
55	650	380	12	35
58 (55пп)	600	315	12	28
60	680	400	12	35

Примечания: 1. При толщине проката свыше 80 мм допускается снижение δ на 2 % (абс.) и ψ — на 5 % (абс.).

2. Твердость не должна превышать 255 НВ, у калиброванного проката или со специальной отделкой поверхности 269 НВ.

3. Если в стали массовая доля бора 0,002...0,006 %, то в конце марки ставят букву «Р».

6. Механические свойства качественных углеродистых сталей в нагартованном и термически обработанном состоянии

Марка стали	Нагартованное состояние			После отжига или высокого отпуска		
	σ_B , МПа	δ	ψ	σ_B , МПа	δ	ψ
		%			%	
10	410	8	50	290	26	55
15	440	8	45	340	23	55
20	490	7	40	390	21	55
25	540	7	40	410	19	50
30	560	7	35	440	17	45
35	590	6	35	470	15	45
40	610	6	35	510	14	40
45	640	6	30	540	13	40
50	660	6	30	560	12	40

7. Твердость НВ качественных углеродистых сталей

Марка стали	Состояние стали		
	Горячекатаная	нагартованная	отожженная или после высокого отпуска
08	131	179	131
10	143	187	142
30	179	229	179
45	229	241	207
55	255	269	229
58	255	—	—
60	255	269	229

предназначенный преимущественно для горячей обработки давлением в более легких условиях. На поверхности проката не должно быть раскатанных пузырей, плен, закатов, трещин. Прокат группы качества ЗГП используют для изделий, получаемых обработкой резанием. На поверхности проката допускаются дефекты глубиной не более минусового отклонения при диаметре проката не более 100 мм и более крупные дефекты (но не более допуска на размер), если диаметр проката превышает 100 мм.

Для проката из сталей 35, 40, 45, 50, 55, 58 (55пп) и 60 глубина обезуглероживания не должна превышать

0,5 % диаметра проката, если прокат будет использован для изделий, упорочняемых индукционной закалкой.

Теплофизические свойства углеродистых сталей приведены в табл. 8. Теплоемкость сталей при нагреве повышается, теплопроводность — понижается. Коэффициент линейного расширения при нагреве до 600...700 °С увеличивается, а при более высоких температурах начинает уменьшаться.

Прокат из качественной конструкционной и легированной стали для холодного выдавливания и высадки (ГОСТ 10702—78) изготавливают из сталей с содержанием углерода не более 0,5 %:

8. Теплофизические свойства сталей

Теплопроводность λ , Вт/(м·°С)

Марка стали	Температура испытания, °С						
	20	100	300	500	700	800	900
СтЗсп	—	55	50	39	30	—	—
15К	—	57	—	—	—	—	—
20К	—	51	46	39	—	—	—
14Г2АФ	—	46	42	36	29	—	—
10ХСНД	—	40	38	34	29	—	—
08кп	63	60	51	41	34	30	27
08	—	60	51	41	34	30	27

Продолжение табл. 8

Марка стали	Температура испытания, °С						
	20	100	300	500	700	800	900
10	—	58	49	40	32	29	27
20	—	51	44	39	32	26	26
40	—	51	46	38	30	25	26
50Г	43	42	38	34	29	28	—
15Х	44	44	41	36	32	32	—
40Х	41	40	36	33	30	27	—
18ХГТ	37	38	37	34	30	29	—
25ХГСА	35	36	37	34	31	29	—
30ХГТ	36	37	34	31	28	28	—
30ХГС	—	37	38	36	34	32	—
30ХГСА	38	38	37	34	31	30	—
38ХМА	33	35	39	34	31	27	—
12Х1МФ	—	44	42	37	32	28	28
25Х2М1Ф	—	33	30	28	—	—	—
38Х2МЮА	33	33	31	20	27	27	—
65Г	37	36	34	31	29	28	—
60С2, 60С2А	28	29	30	30	29	28	—
70С3А	25	26	28	29	28	27	—
50ХФА	40	39	37	33	29	28	—
ШХ15	—	—	—	32	—	—	—
40ХН	—	44	41	—	—	—	—
12ХН2, 12ХН2А	38	38	35	31	29	29	—
20ХН3А	36	35	33	31	30	28	—
12Х2Н4А	—	25	—	—	—	—	—
40ХН2МА	39	38	37	33	29	27	—
38ХН3МА	36	36	35	33	30	29	—
18Х2Н4МА	—	36	35	34	32	30	—
18Х2Н4ВА	—	36	35	34	32	30	—
У8, У8А	—	49	42	35	30	24	25
У12, У12А	—	45	40	35	28	24	25
3Х2В8Ф	—	25	29	46	—	—	—
4Х5МФ1С	22	25	29	31	31	31	32
P6M5K5	—	27	29	32	34	—	29
P9M4K8	—	25	28	30	32	—	32
P18	—	26	28	28	27	—	—

Продолжение табл. 8

Марка стали	Температура испытания, °С						
	20	100	300	500	700	800	900
40X10C2M	17	18	22	24	26	—	—
08X13	—	28	28	27	26	25	27
20X13	—	26	26	27	26	27	28
40X13	25	26	28	29	28	28	29
12X17	—	24	25	26	—	—	—
15X25T	17	—	—	—	—	—	—
15X28	—	21	23	24	—	—	—
10X14Г14Н4Т	15	17	21	30	43	51	—
14X17Н2	21	22	24	25	27	28	30
12X18Н9Т	—	16	20	23	26	28	29
12X18Н10Т	15	16	19	23	27	26	—
12X18Н12Т	15	16	19	23	27	26	—
08X22Н6Т	—	15	18	21	24	27	30
12X25Н16Г7АР	14	15	18	21	24	26	28
20X23Н18	14	16	19	22	—	—	—
20X25Н20С2	—	15	—	22	25	27	29
45X14Н14В2М	14	16	19	21	24	—	—
20Л	54	53	48	39	32	27	27
35Л	53	51	45	39	31	27	27
35ХГСЛ	36	37	38	35	32	30	29
40ХЛ	48	46	42	35	28	27	27
20X13Л	21	23	25	27	27	28	28
12X18Н9ТЛ	15	16	19	22	25	26	27

Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$, 1/°С

Марка стали	Температура испытания, °С						
	20...100	20...300	20...500	20...700	20...800	20...900	20...1000
15К	—	12,8	13,6	—	—	—	—
20К	—	12,8	13,6	—	—	—	—
08кп	12,5	14,0	14,9	15,3	14,7	12,7	13,8
20кп	12,3	13,8	14,8	15,2	—	—	—
08	12,5	14,0	14,9	15,3	14,7	12,7	13,8
10	12,4	13,9	14,9	15,3	12,1	14,8	12,6
20	12,3	13,8	14,8	15,2	—	—	—
40	11,9	13,5	14,6	15,2	12,5	13,5	14,5

Продолжение табл. 8

Марка стали	Температура испытания, °С						
	20...100	20...300	20...500	20...700	20...800	20...900	20...1000
50	11,2	12,8	13,9	14,5	13,4	—	—
15Г	12,3	13,2	—	—	—	—	—
50Г	11,8	13,2	14,3	15,1	12,3	—	—
15Х	10,2	12,4	13,5	—	—	—	—
40Х	11,8	13,2	14,1	14,8	12,0	—	—
40ХФА	12,1	13,0	13,8	14,6	11,8	—	—
18ХГТ	10,0	12,3	13,3	—	—	—	—
25ХГСА	12,2	13,6	14,2	14,5	12,3	—	—
30ХГТ	10,5	12,7	13,8	—	—	—	—
30ХГС	12,0	12,9	13,6	—	—	—	—
30ХГСА	11,7	12,9	13,7	14,3	12,9	—	—
12Х1МФ	12,4	13,6	14,4	14,9	14,8	12,0	—
25Х2М1Ф	12,5	13,3	14,0	—	—	—	—
38Х2МЮА	11,5	12,7	13,9	14,9	12,3	—	—
65Г	11,8	13,2	14,1	14,5	11,8	—	—
60С2, 60С2А	11,8	13,3	14,1	14,4	12,2	—	—
70С3А	11,4	12,8	13,7	14,3	12,8	—	—
50ХФА	11,7	12,9	14,0	14,6	13,1	—	—
65С2ВА	11,5	13,0	13,8	14,5	13,5	—	—
ШХ15	11,9	15,5	15,7	—	—	—	—
40ХН	11,8	13,4	—	—	—	—	—
12ХН2, 12ХН2А	10,5	11,9	12,9	13,9	11,7	—	—
20ХН3А	11,5	12,0	12,8	13,6	11,2	—	—
12Х2Н4А	11,0	13,0	15,3	—	—	—	—
40ХН2МА	11,6	12,7	13,6	—	—	—	—
38ХН3МА	11,8	12,7	13,4	13,9	10,8	—	—
18Х2Н4МА	11,7	12,7	13,5	—	—	—	—
18Х2Н4ВА	11,7	12,7	13,5	—	—	—	—
У8, У8А	11,4	13,0	14,3	15,2	14,5	15,2	15,7
У12, У12А	10,5	12,6	14,1	15,3	15,0	16,3	16,8
40Х10С2М	10,0	11,0	—	—	11,0	—	—
08Х13	10,5	11,4	12,1	12,5	12,8	—	—
20Х13	10,2	11,5	12,2	12,8	13,0	—	—
40Х13	10,7	11,9	12,5	13,0	13,2	—	—
12Х17	10,4	10,8	11,4	11,9	12,1	—	—

Продолжение табл. 8

Марка стали	Температура испытания, °С						
	20...100	20...300	20...500	20...700	20...800	20...900	20...1000
15Х25Т	10,1	11,0	11,3	—	—	—	—
15Х28	10,0	10,5	11,0	—	—	—	—
10Х14Г14Н4Т	16,0	17,5	19,0	20,1	20,6	21,0	—
14Х17Н2	9,8	11,8	11,1	11,0	10,7	11,4	11,5
12Х18Н9Т	16,6	17,6	18,3	18,9	19,3	19,5	20,1
12Х18Н10Т	16,6	17,2	17,9	18,6	18,9	19,3	—
12Х18Н12Т	16,6	17,2	17,9	18,6	18,9	19,3	—
08Х22Н6Т	9,6	16,0	16,4	16,5	16,7	17,1	—
12Х25Н16Г7АР	16,6	16,8	18,0	18,5	18,7	18,9	—
20Х23Н18	14,9	16,6	17,5	17,9	—	—	—
20Х25Н20С2	16,1	—	—	17,8	18,1	18,5	18,8
45Х14Н14В2М	—	—	—	—	19,0	—	—
10Х17Н13М2Т	15,7	16,7	17,6	18,2	—	—	—
20Л	12,2	13,1	13,9	14,9	12,6	12,4	—
35Л	11,1	12,9	13,9	14,8	11,9	12,5	—
35ХГСЛ	11,8	12,8	13,8	14,4	12,6	13,3	—
40ХЛ	12,2	13,1	13,8	14,6	11,8	12,6	—
20Х13Л	10,0	11,3	12,1	12,6	12,8	10,8	—
12Х18Н9ТЛ	16,8	17,4	18,1	18,9	19,1	19,1	—

Удельная теплоемкость, Дж/(кг·°С)

20К	470	—	571	—	—	—	—
08кп	482	514	555	626	695	703	695
08	482	514	555	626	695	703	695
10	466	—	—	—	—	—	—
20	486	514	555	636	703	703	695
40	486	512	550	628	674	657	653
50	487	517	559	—	—	—	—
15Г	—	—	—	—	—	—	—
50Г	487	517	559	609	676	—	—
15Х	496	525	567	626	706	—	—
40Х	466	529	592	634	664	—	—
40ХФА	466	529	592	634	664	—	—
18ХГТ	495	525	567	626	705	—	—

Окончание табл. 8

Марка стали	Температура испытания, °С						
	20...100	20...300	20...500	20...700	20...800	20...900	20...1000
25ХГСА	496	512	554	622	693	—	—
30ХГТ	495	525	567	626	705	—	—
30ХГС, 30ХГСА	493	512	554	622	693	—	—
25Х2М1Ф	538	609	676	—	—	—	—
38Х2МЮА	496	533	575	638	676	—	—
65Г	490	525	575	625	705	—	—
60С2, 60С2А	510	520	565	620	700	—	—
70С3А	480	520	565	620	700	—	—
50ХФА	490	510	560	620	700	—	—
65С2ВА	475	510	555	615	690	—	—
50ХН	500	560	700	910	650	610	700
12ХН2, 12ХН2А	494	523	565	624	703	—	—
20ХН3А	494	523	565	624	703	—	—
40ХН2МА	490	522	565	—	—	—	—
38ХН3МА	496	525	567	672	697	—	—
У8, У8А	477	528	565	624	724	724	703
У12, У12А	469	519	553	611	712	703	699
40Х10С2М	—	—	561	—	—	—	—
08Х13	462	—	—	—	—	—	—
20Х13	112	123	132	147	155	159	—
40Х13	452	502	553	620	666	691	—
12Х17	462	—	—	—	—	—	—
15Х25Т	462	—	—	—	—	—	—
14Х17Н2	462	—	—	—	—	—	—
12Х18Н9Т	469	498	519	532	544	548	—
12Х18Н10Т	462	517	550	575	596	—	—
20Х23Н18	538	—	—	—	—	—	—
45Х14Н14В2М	—	507	523	—	—	—	—
20Л	487	517	559	638	706	706	—
35Л	470	512	554	613	710	701	—
35ХГСЛ	496	512	554	622	693	689	—
40ХЛ	491	525	567	626	701	689	—
20Х13Л	470	512	563	643	680	693	—
12Х18Н9ТЛ	512	533	554	580	588	596	—

качественных углеродистых 08, 10, 15, 20 всех степеней раскисления, 25, 30, 35, 40, 45, 55;

низколегированных:

хромистых 15Х, 20Х, 30Х, 15Х, 38Х, 38ХА, 40Х, 45Х;

марганцевых 15Г, 20Г, 40Г, 45Г, 20Г2, 35Г2, 40Г2;

хромоникелевых 12ХН, 40ХН, 50ХН;

хромоникелевых с молибденом 18Х2Н4МА, 25Х2Н4МА, 40ХН2МА, 30ХН2МФА;

и ряда других марок.

Особенностями этой группы сталей являются пониженное содержание кремния и марганца, чтобы увеличить пластичность металла, и повышенные требования к качеству поверхности проката. Массовая доля кремния не превышает 0,03 % в сталях 10кп; 0,10 % во всех полуспокойных сталях; 0,20 % в сталях 25, 30, 35, 40, 45, 15Х, 20Х, 30Х, 35Х, 40Х, 45Х, 15ХФ, 30ХМА. Массовая доля марганца не превышает 0,60 % в большинстве марок сталей, за исключением марганцевых.

Круглый прокат диаметром 28...30 мм должен выдерживать без трещин холодную осадку на 50 и 66 % в состояниях: горячекатаный, калиброванный и калиброванный со специальной отделкой поверхности.

Макроструктура проката из углеродистых сталей не должна иметь видимых глазом дефектов, а у кипящих сталей ликвационный квадрат не должен выходить на поверхность.

У сталей с массовой долей углерода не менее 0,3 % (по нижнему пределу)

глубина обезуглероживания (на сторону) не должна превышать 1,5 % толщины проката. Глубиной обезуглероживания считается сумма толщин слоя с ферритной структурой и переходного слоя, в котором содержание углерода постепенно приближается к значению массовой доли этого элемента в сердцевине. После дополнительной термической обработки проката глубина обезуглероживания (на сторону) не должна превышать:

0,05 мм для толщин проката до 10 мм;

0,1 мм для толщин проката 10...

20 мм;

0,5 мм для толщин проката свыше 20 мм.

Средний размер зерен проката должен соответствовать № 5; зерна № 4 допустимы, если занимают менее 20 % площади шлифа.

Твердость горячекатаного проката должна находиться в пределах 131...207 НВ, а нагартованного — в пределах 175...241 НВ. После сфероидизирующего отжига твердость проката не должна выходить за пределы 115...187 НВ.

Проволока стальная углеродистая для холодной высадки (ГОСТ 5663—79) изготавливается из качественной углеродистой стали с содержанием углерода от 0,08 до 0,45 % и по механическим свойствам разделена на два класса: 1 и 2 (табл. 9). По точности изготовления проволоку разделяют на проволоку нормальной точности и повышенной точности (П). Обязательным испытанием является осадка в холодном состоянии до 1/2 или 1/3 высоты, кото-

9. Механические свойства проволоки для холодной высадки

Марка стали	σ_B , МПа, для класса		δ , % для класса		Марка стали	σ_B , МПа, для класса		δ , % для класса	
	1	2	1	2		1	2	1	2
08, 08кп, 10, 10кп	440...580	590	55	55	30, 35	560...710	740	55	45
15, 15кп, 20, 20кп, 25	470...620	640	55	50	40, 45	560...710	740	55	40

рую должна выдержать проволока диаметром 3...6 мм. Проволоку диаметром меньше 3 мм осадке не подвергают, вместо нее используют глубокое травление для выявления дефектов. Для проволоки из сталей 30, 35, 40 и 45 допустимое обезуглероживание не должно превышать 1,5 % диаметра на сторону.

Сталь листовая горячекатаная двухслойная коррозионно-стойкая согласно ГОСТ 10885–85 имеет толщину 8...60 мм, длину 2400...3200 мм и ширину 1200...2800 мм. Двухслойные листы изготавливают пакетной прокаткой. Коррозионно-стойкий слой занимает меньшую часть поперечного сечения проката. Толщина этого слоя закономерно увеличивается по мере увеличения общей толщины листов двухслойной стали: от 2...3 мм для толщин листов 8...15 мм до 4...6 мм для толщин листов 32...60 мм.

Материалом основного слоя являются обычно углеродистые стали СтЗсп и 20К, применяют также более прочные низколегированные стали 16ГС, 09Г2С, 10ХСНД и др.

Материалом плакирующего коррозионно-стойкого слоя являются аустенитные стали типа 12Х18Н10Т, ферритные стали 08Х13, 08Х17Т, 15Х25Т, хромони-

келевые сплавы ХН65МВ, ХН65МВУ, монель НМЖМц 28–2,5–1,5.

Механические свойства двухслойных листов оценивают свойствами стали основного слоя. По этой причине испытывают образцы из металла со снятым плакирующим слоем.

Качество листовой двухслойной стали оценивают прочностью сцепления основного и плакирующего слоев и количеством и размерами дефектов на поверхности сцепления обоих слоев. Согласно ГОСТ 10885–85 прочность на срез двухслойной стали на поверхности сцепления двух слоев должна быть не менее 150 МПа. Фактическая прочность сцепления $\sigma_{\text{ср}}$ превышает это минимальное значение.

По количеству и размерам дефектов на поверхности сцепления двухслойную сталь разделяют на четыре класса (табл. 10).

Взаимодействие двух металлических материалов разного химического состава при горячей прокатке создает условия для образования хрупкой мартенситной прослойки на поверхности сцепления. По этой причине листы двухслойной стали поставляют термически обработанными. Вид и режим термической обработки устанавливает предприятие-

10. Требования к двухслойным листам по результатам ультразвукового контроля по ГОСТ 10885–85

Класс листов	Условная площадь несплошностей, см ²		Относительная условная площадь всех учитываемых несплошностей металла, %, не более		Максимально допустимая длина несплошностей, мм
	минимальная учитываемая	максимальная допустимая	на 1 м ²	на площадь листа	
0	5	20	1,0	0,3	30 — для листов толщиной до 60 мм, 50 — для листов толщиной св. 60 мм
1	10	50	2,0	0,5	50
2	20	100	3,0	1,0	100
3	50	250	5,0	2,0	200

изготовитель. Согласно ГОСТ 10885–85 допускается изготавливать листы без термической обработки при условии обеспечения заданных свойств. По стандартам ASTM A263, A264, если не оговорена термическая обработка, листы поставляют в нормализованном или отпущенном состоянии.

Холодное деформирование двухслойных листов не угрожает повторным появлением хрупких прослоек на поверхности сцепления. Горячее деформирование двухслойных листов не исключает образование хрупкой прослойки на отдельных участках поверхности сцепления. Целесообразность термической обработки после горячего деформирования устанавливают исходя из условий эксплуатации изделий и результатов контроля нарушений сплошности на поверхности сцепления основного и плакирующего слоев.

При термической обработке двухслойных листов из-за разницы коэффициентов линейного расширения появляются остаточные термические напряжения, которые приводят к заметному короблению листов толщиной менее 40 мм. Как правило, режимы термической обработки являются компромиссными, обеспечивающими показатели прочности и пластичности основного слоя и коррозионную стойкость плакирующего слоя.

Для двухслойных сталей с основным слоем из стали Ст3 или 20К и плакирующим слоем из аустенитных коррозионно-стойких сталей применяют нормализацию после нагрева до 920...940 °С. Если плакирующий слой — сталь 08Х13, то после нормализации назначают отпуск при температуре 680...420 °С.

Механические свойства двухслойных сталей приведены в табл. 11.

11. Механические свойства толстых листов из двухслойных сталей после термической обработки

Композиция	Толщина листа, мм	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{\text{в}}$	δ , %	$\sigma_{\text{ср}}$, МПа	КСУ, МДж/м ²
		МПа				
Ст 3+08Х18Н10Т	8...9	290...360	430...530	32	280...340	—
Ст 3+08Х13	65	250	410	33	280	1,1
Ст 3+12Х18Н10Т	100	260	420		300	1,2
Ст 3+06ХН28МДТ	8...10	230	440		—	—
Ст 3+ХН65МВ	40	260		29	340	1,0
Ст 3+никель НП-2	10...14	280	450	28	—	—
Ст 3+титанВТ1-0	14...32	330		21	—	0,8
20К+08Х13	12...24	310	470	29	350	—
20К+03Х18Н11	16	290	460	31	—	0,8...1,6
20К+03Х17Н14М3	24	300	470	30	—	
20К+06ХН28МДТ	10	320	520	45	320	—
20К+06ХН28МДТ	36	270	430	33	350	—
22К+03Х18Н11	85	360	520	36	380	—
20К+ХН78Т	14	300	530	30	280	—
16ГС+08Х13	12...24	—	520	—	—	—
16ГС+12Х18Н10Т	80	310	490	28	280	—

Окончание табл. 11

Композиция	Толщина листа, мм	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{\text{в}}$	δ , %	$\sigma_{\text{ср}}$, МПа	КСУ, МДж/м ²
		МПа				
16ГС+08Х18Н10Т	135	320		30	250	1,2
16ГС+ХН78Т	14	370	550	29	300	—
16ГС+Н70МФВ	20	430	600	32	—	1,3
09Г2+08Х18Н10Т	8...20	300	450	20	—	—
09Г2С+12Х18Н10Т	80	320	510	29	230	—
10ХСНД+08Х18Н10Т	8...32	390	530	18	340	—
10ХСНД+08Х18Н10Т	45	410	570	28	240	1,5
10ХСН1Д+12Х18Н10Т	6...8	570	700	20	240	—
10Х2М1+08Х18Н10Т	32	430	620	24	300	0,9
12Х1МФ+ХН78Т	12	540	737	23	—	1,1
12МХ+08Х18Н10Т	65	280	450	35	300	1,7
17Г2АФ+12Х18Н10Т	12	480	640	27	280	1,2
12ХМ+08Х18Н10Т	80	350	570	34	350	—

Листовой прокат

Листовой стальной прокат является основным видом металлопродукции для передела в изделия способами пластического деформирования.

Листовой прокат подразделяют:

по толщине: тонколистовой — до 3,9 мм; толстолистовой — начиная с 4,0 мм; по способу производства: горячекатаный; холоднокатаный; с покрытием (жест, оцинкованный, освинцованный, алюминированный, металлопласт (с полимерным покрытием), фосфатированный);

по качеству: обыкновенного качества (из нелегированной стали); качественный (нелегированные, низколегированные, высоколегированные стали);

по виду продукции: лист, рулон, лента;

по назначению: общего назначения; специального назначения (автолист, для электротехнической промышленности, для судостроения, для химического машиностроения и др.).

По качеству отделки поверхности листов прокат разделяют на группы:

I — особо высокой отделки;

II — высокой отделки;

III (IIIа, IIIб) — повышенной отделки;

IV — обычной отделки.

Прокат с качеством отделки поверхности согласно группе I производят только по требованиям потребителя. Холоднокатаный прокат имеет более высокое качество отделки поверхности, чем горячекатаный. Это качество для холоднокатаного проката соответствует группам II и III, а для горячекатаного — группам III и IV.

Кроме толщины регламентируют длину и ширину листов и точность прокатки по толщине, длине и ширине. Для рулонов листового проката установлены толщина и ширина, а также максимальная масса рулона. Листовой прокат в рулоне может состоять из двух (отдельных или сваренных вместе) кусков, по согласованию сторон в рулоне может быть несколько кусков.

12. Химический состав стали легированной конструкционной (ГОСТ 4543–71)

Марка стали	Массовая доля, %									
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Al	Ti	V	
Хромистая	15X	0,12...0,18	0,17...0,37	0,40...0,70	0,70...1,00	—	—	—	—	
	15XA	0,12...0,17	0,17...0,37	0,40...0,70	0,70...1,00	—	—	—	—	
	20X	0,17...0,23	0,17...0,37	0,50...0,80	0,70...1,00	—	—	—	—	
	30X	0,24...0,32	0,17...0,37	0,50...0,80	0,80...1,10	—	—	—	—	
	30XPA	0,27...0,33	0,17...0,37	0,50...0,80	1,00...1,30	—	—	—	—	
	35X	0,31...0,39	0,17...0,37	0,50...0,80	0,80...1,10	—	—	—	—	
	38XA	0,35...0,42	0,17...0,37	0,50...0,80	0,80...1,10	—	—	—	—	
	40X	0,36...0,44	0,17...0,37	0,50...0,80	0,80...1,10	—	—	—	—	
	45X	0,41...0,49	0,17...0,37	0,50...0,80	0,80...1,10	—	—	—	—	
	50X	0,46...0,54	0,17...0,37	0,50...0,80	0,80...1,10	—	—	—	—	
Мартанцевая	15Г	0,12...0,19	0,17...0,37	0,70...1,00	—	—	—	—	—	
	20Г	0,17...0,24	0,17...0,37	0,70...1,00	—	—	—	—	—	
	25Г	0,22...0,30	0,17...0,37	0,70...1,00	—	—	—	—	—	
	30Г	0,27...0,35	0,17...0,37	0,70...1,00	—	—	—	—	—	
	35Г	0,32...0,40	0,17...0,37	0,70...1,00	—	—	—	—	—	
	40Г	0,37...0,45	0,17...0,37	0,70...1,00	—	—	—	—	—	
	45Г	0,42...0,50	0,17...0,37	0,70...1,00	—	—	—	—	—	
	50Г	0,48...0,56	0,17...0,37	0,70...1,00	—	—	—	—	—	
	10Г2	0,07...0,15	0,17...0,37	1,20...1,60	—	—	—	—	—	
	30Г2	0,26...0,35	0,17...0,37	1,40...1,80	—	—	—	—	—	
	35Г2	0,31...0,39	0,17...0,37	1,40...1,80	—	—	—	—	—	
	40Г2	0,36...0,44	0,17...0,37	1,40...1,80	—	—	—	—	—	

Продолжение табл. 12

Марка стали	Массовая доля, %								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Al	Ti	V
45Г2	0,41...0,49	0,17...0,37	1,40...1,80	—	—	—	—	—	—
50Г2	0,46...0,55	0,17...0,37	1,40...1,80	—	—	—	—	—	—
Хромомарганцевая									
18ХГ	0,15...0,21	0,17...0,37	0,90...1,20	0,90...1,20	—	—	—	—	—
35ХГ2	0,32...0,40	0,17...0,37	1,60...1,90	0,40...0,70	—	—	—	—	—
18ХГГ	0,17...0,23	0,17...0,37	0,80...1,10	1,00...1,30	—	—	0,03...0,09	—	—
20ХГР	0,18...0,24	0,17...0,37	0,70...1,00	0,75...1,05	—	—	—	—	—
27ХГР	0,25...0,31	0,17...0,37	0,70...1,00	0,70...1,00	—	—	—	—	—
25ХГГ	0,22...0,29	0,17...0,37	0,80...1,10	1,00...1,30	—	—	—	0,03...0,09	—
30ХГГ	0,24...0,32	0,17...0,37	0,80...1,10	1,00...1,30	—	—	—	0,03...0,09	—
40ХГГР	0,38...0,45	0,17...0,37	0,70...1,00	0,80...1,10	—	—	—	0,03...0,09	—
35ХГФ	0,31...0,38	0,17...0,37	0,95...1,25	1,00...1,30	—	—	—	0,03...0,09	—
25ХГМ	0,23...0,29	0,17...0,37	0,90...1,20	0,90...1,20	—	0,20...0,30	—	—	0,06...0,12
Хромокремнистая									
33ХС	0,29...0,37	1,00...1,40	0,30...0,60	1,30...1,60	—	—	—	—	—
38ХС	0,34...0,42	1,00...1,40	0,30...0,60	1,30...1,60	—	—	—	—	—
40ХС	0,37...0,45	1,20...1,60	0,30...0,60	1,30...1,60	—	—	—	—	—
Хромолибденовая и хромолибденованадиевая									
15ХМ	0,11...0,18	0,17...0,37	0,40...0,70	0,80...1,10	—	0,40...0,55	—	—	—
20ХМ	0,15...0,25	0,17...0,37	0,40...0,70	0,80...1,10	—	0,15...0,25	—	—	—
30ХМ	0,26...0,34	0,17...0,37	0,40...0,70	0,80...1,10	—	0,15...0,25	—	—	—
30ХМА	0,26...0,33	0,17...0,37	0,40...0,70	0,80...1,10	—	0,15...0,25	—	—	—
35ХМ	0,32...0,40	0,17...0,37	0,40...0,70	0,80...1,10	—	0,15...0,25	—	—	—
38ХМ	0,35...0,42	0,17...0,37	0,35...0,65	0,90...1,30	—	0,20...0,30	—	—	—

30X3MФ	0,27...0,34	0,17...0,37	0,30...0,60	2,30...2,70	—	0,20...0,30	—	0,06...0,12
40XMФА	0,37...0,44	0,17...0,37	0,40...0,70	0,80...1,10	—	0,20...0,30	—	0,10...0,18
				Хромованадиевая				
15ХФ	0,12...0,18	0,17...0,37	0,40...0,70	0,80...1,10	—	—	—	0,06...0,12
40ХФА	0,37...0,44	0,17...0,37	0,50...0,80	0,80...1,10	—	—	—	0,10...0,18
				Никельмолибденовая				
15Н2М	0,10...0,18	0,17...0,37	0,40...0,70	—	1,50...1,90	0,20...0,30	—	—
20Н2М	0,17...0,25	0,17...0,37	0,40...0,70	—	1,50...1,90	0,20...0,30	—	—
				Хромоникелевая и хромоникелевая с бором				
20ХН	0,17...0,23	0,17...0,37	0,40...0,70	0,45...0,75	1,00...1,40	—	—	—
40ХН	0,36...0,44	0,17...0,37	0,50...0,80	0,45...0,75	1,00...1,40	—	—	—
45ХН	0,41...0,49	0,17...0,37	0,50...0,80	0,45...0,75	1,00...1,40	—	—	—
50ХН	0,46...0,54	0,17...0,37	0,50...0,80	0,45...0,75	1,00...1,40	—	—	—
20ХНР	0,16...0,23	0,17...0,37	0,60...0,90	0,70...1,10	0,80...1,10	—	—	—
12ХН2	0,09...0,16	0,17...0,37	0,30...0,60	0,60...0,90	1,50...1,90	—	—	—
12ХН3А	0,09...0,16	0,17...0,37	0,30...0,60	0,60...0,90	2,75...3,15	—	—	—
20ХН3А	0,17...0,24	0,17...0,37	0,30...0,60	0,60...0,90	2,75...3,15	—	—	—
30ХН3А	0,27...0,33	0,17...0,37	0,30...0,60	0,60...0,90	2,75...3,15	—	—	—
12Х2Н4А	0,09...0,15	0,17...0,37	0,30...0,60	1,25...1,65	3,25...3,65	—	—	—
20Х2Н4А	0,16...0,22	0,17...0,37	0,30...0,60	1,25...1,65	3,25...3,65	—	—	—
				Хромокремнемарганцевая и хромокремнемарганцовоникелевая				
20ХГСА	0,17...0,23	0,90...1,20	0,80...1,10	0,80...1,10	—	—	—	—
25ХГСА	0,22...0,28	0,90...1,20	0,80...1,10	0,80...1,10	—	—	—	—
30ХГС	0,28...0,35	0,90...1,20	0,80...1,10	0,80...1,10	—	—	—	—
30ХГСА	0,28...0,34	0,90...1,20	0,80...1,10	0,80...1,10	—	—	—	—
35ХГСА	0,32...0,39	1,10...1,40	0,80...1,10	1,10...1,40	—	—	—	—
30ХГСН2А	0,27...0,34	0,90...1,20	1,00...1,30	0,90...1,20	1,40...1,80	—	—	—

13. Механические свойства легированных сталей после термической обработки (ГОСТ 4543–71)

Марка стали	1-я закалка или нормализация, °С	2-я закалка, °С	Среда охлаждения	Отпуск, °С	Среда охлаждения	σ _Т , МПа	σ _В , МПа	δ, %	ψ, %		КСУ, кДж/м ²	Размеры сечения заготовок, мм
Хромистая												
15Х	880	770...820	Вода или масло	180	Воздух или масло	500	700	12	45	700	15	
15ХА	880	770...820	То же	180	То же	650	800	11	40	600	15	
20Х	860	—	Масло	500	Вода или масло	700	900	12	45	700	25	
30Х	900	860	»	200	Воздух	1300	1600	9	40	500	—	
30ХРА	Воздух	860	»	500	Вода или масло	750	930	11	45	700	25	
35Х	860	—	»	550	То же	800	950	12	50	900	25	
38ХА	860	—	»	500	»	800	1000	10	45	600	25	
40Х	840	—	»	520	»	850	1050	9	45	500	25	
45Х	830	—	»	520	»	900	1100	9	40	400	25	
Марганцевая												
15Г	880	—	Воздух	—	—	250	420	26	55	—	25	
20Г	880	—	»	—	—	280	460	24	50	—	25	
25Г	880	—	Вода или воздух	560	Воздух	300	500	22	50	900	25	
30Г	860	—	То же	600	»	320	550	20	45	800	25	
35Г	860	—	»	600	»	340	570	18	45	700	25	
40Г	860	—	»	600	»	360	600	17	45	600	25	
45Г	850	—	»	600	»	380	630	15	40	500	25	
50Г	850	—	»	600	»	400	660	13	40	400	25	

Продолжение табл. 13

Марка стали	1-я закалка или нормализация, °С	2-я закалка, °С	Среда охлаждения	Отпуск, °С	Среда охлаждения	Не менее				КСУ, кДж/м²	Размеры сечения заготовок, мм
						σ _т , МПа	σ _в , МПа	δ, %	ψ, %		
10Г2	920	—	Воздух	—	—	250	430	22	50	—	25
30Г2	880	—	Масло или воздух	600	Воздух	350	600	15	45	—	25
35Г2	870	—	То же	650	»	370	630	13	40	—	25
40Г2	860	—	»	650	»	390	670	12	40	—	25
45Г2	850	—	»	650	»	410	700	11	40	—	25
50Г2	840	—	»	650	»	430	750	11	35	—	25
Хромомарганцевая											
18ХГ	880	—	Масло	200	Воздух или масло	750	900	10	40	—	15
18ХГТ	880...950 Воздух	870	»	200	Воздух или вода	900	1000	9	50	800	—
20ХГР	880	—	»	200	Воздух или масло	800	1000	9	50	800	15
27ХГР	870	—	»	200	Воздух	1200	1400	8	45	600	15
25ХГТ	880...950 Воздух	850	»	200	Вода или масло	1000	1300	9	45	600	—
30ХГТ	880...950 Воздух	850	»	200	То же	1300	1500	10	50	700	—
40ХГТР	840	—	»	550	»	800	1000	11	45	800	25
25ХГМ	860	—	»	200	Воздух	1100	1200	10	45	800	—
Хромокремнистая											
33ХС	920	—	Вода или масло	630	Вода или масло	700	900	13	50	800	25

38XC	900	—	Масло	630	Масло	750	950	12	50	700	25
40XC	900	—	»	540	»	1100	1250	12	40	350	25
Хромомолибденовая и хромомолибденованадиевая											
15XM	880	—	Воздух	650	Воздух	280	460	21	55	1200	30
20XM	880	—	Вода или масло	500	»	600	800	12	50	900	15
30XMA	880	—	Масло	540	Вода или масло	750	—	11	45	800	15
30XMA	880	—	»	540	То же	750	—	12	50	900	15
35XM	850	—	Масло	560	Вода или масло	850	—	12	45	800	25
38XM	850	—	»	580	Воздух	900	—	11	45	700	25
30X3MФ	870	—	»	620	Вода или масло	850	—	12	55	1000	25
40XMФА	860	—	»	580	Масло	950	—	13	50	900	25
Хромованадиевая											
15XФ	880	760...810	Вода или масло	180	Воздух или масло	550	750	13	50	800	15
40XФА	880	—	Масло	650	Вода или масло	750	900	10	50	900	12
Никельмолибденовая											
15Н2М	860	770...820	Масло	180	Воздух	650	850	11	50	800	15
20Н2М	860	—	»	180	»	700	900	10	50	800	15
Хромоникелевая и хромоникелевая с бором											
12ХН	910	—	Вода или масло	150...180	Воздух	440	640	10	—	880	—
20ХН	860	760...810	Вода или масло	180	Вода или масло	600	800	14	50	800	15

Окончание табл. 13

Марка стали	1-я закалка или норма- лизация, °С	2-я закалка, °С	Среда охлаждения	Отпуск, °С	Среда охлаждения	σ _т , МПа	σ _в , МПа	δ, %		ψ, %	КСУ, кДж/м ²	Размеры сечения заготовок, мм
								Не менее				
40ХН	820	—	То же	500	То же	800	1000	11	45	700	25	
45ХН	820	—	»	530	»	850	1050	10	45	700	25	
50ХН	820	—	»	530	»	900	1100	9	40	500	25	
20ХНР	930...950 Воздух	780...830	Масло	200	Воздух или масло	1000	1200	10	50	900	15	
12ХН2	860	760...810	Вода или масло	180	То же	600	800	12	50	900	15	
12ХН3А	860	760...810	То же	180	»	700	950	11	55	900	15	
20ХН3А	820	—	»	500	Вода или масло	750	950	12	55	1100	15	
12Х2Н4А	860	760...800	Вода или масло	180	Вода или масло	950	1150	10	50	900	15	
20Х2Н4А	860	780	То же	180	То же	1100	1300	9	45	800	15	
30ХН3А	820	—	»	530	»	800	1000	10	50	800	25	
Хромокремнемарганцевая и хромокремнемарганцевоникелевая												
20ХГСА	880	—	Масло	500	Вода или масло	650	800	12	45	700	15	
25ХГСА	880	—	»	480	То же	850	1100	10	40	600	15	
30ХГС	880	—	»	540	»	850	1100	10	45	450	25	
30ХГСА	880	—	»	540	»	850	1100	10	45	500	25	
35ХГСА	950 Масло	890	»	230	Воздух или масло	1300	1650	9	40	400	—	
30ХГСН2А	900	—	»	260	Воздух или масло	1400	1650	9	45	600	—	

Хромомагнганцевоникелевая и хромомагнганцевоникелевая с титаном и бором											
15ХГН2ТА	960 Воздух	840	Масло	180	Воздух или масло	750	950	11	55	1000	15
20ХГНР	930...950 Воздух	780...830	»	200	То же	1100	1300	10	50	900	15
20ХГНТР	—	850	»	200	Масло	1000	1200	9	50	800	15
38ХГН	850	—	»	570	Вода или масло	700	800	12	45	1000	25
Хромоникельмолибденовая											
20ХН2М	860	780	Масло	200	Вода или масло	700	900	11	50	800	15
30ХН2МА	860	—	»	530	Воздух	800	1000	10	45	800	15
38ХН2МА	870	—	»	580	Воздух или масло	950	1100	12	50	800	25
40ХН2МА	850	—	Масло	620	Вода или масло	950	1100	12	50	800	25
40Х2Н2МА	870	—	»	600	То же	950	1000	12	55	1000	25
38ХН3МА	850	—	»	590	Воздух	1000	1100	12	45	800	25
18Х2Н4МА	950	860	Воздух	200	Воздух	850	1150	12	50	1000	15
25Х2Н4МА	950	860	Масло	550	или масло	800	1050	12	50	1200	15
	850	—	»	560	То же	950	1100	11	45	900	25
Хромоникельмолибденованадиевая и хромоникельванадиевая											
30ХН2МФА	860	—	Масло	680	Воздух	800	900	10	40	900	25
36Х2Н2МФА	850	—	»	600	»	1100	1200	12	50	800	25
38ХН3МФА	850	—	»	600	»	1100	1200	12	50	800	25
45ХН2МФА	860	—	»	460	Масло	1300	1450	7	35	400	—
20ХН4ФА	850	—	»	630	Вода	700	900	12	50	1000	25
Хромоалюминиевая с молибденом											
38Х2МЮА	940	—	То же	640	То же	850	1000	14	50	900	30

Характерными особенностями листового проката являются его плоскостность и серповидность, а для рулонов — телескопичность.

Чем больше толщина листа, тем меньше отклонения от плоскостности на 1 м длины. Для холоднокатаных листов особо высокой плоскостности отклонения не превышают 3 мм, а для более толстых горячекатаных листов — 5 мм. Для листов нормальной плоскостности соответствующие отклонения не превышают 15...20 мм и 12 мм. Максимально допустимая телескопичность листового проката в рулонах при ширине листа свыше 800 мм и толщине менее 2,5 мм равна 100 мм.

Серповидность листового проката в рулонах не должна превышать 10 мм на 3 м длины.

Свойства листового проката определяют в соответствии с категорией проката, которую устанавливает заказчик. Определяют химический состав, механические свойства, значения KCU и KCV при разных температурах, штампуемость.

Штампуемостью называют способность стального листа деформироваться с большими деформациями без разрушения. Штампуемость определяется химическим составом стали и ее структурой.

Нелегированные стали штампуются лучше легированных. Уменьшение содержания углерода, кремния и марганца улучшает штампуемость. Как правило, низкоуглеродистые стали с $C \leq 0,20\%$ удовлетворительно штампуются. Кипящие стали благодаря пониженному содержанию кремния и марганца, а также углерода штампуются удовлетворительно. Листовой прокат, пригодный для глубокой вытяжки, изготавливают из стали с минимальным содержанием углерода ~0,08 %.

Наиболее высокая штампуемость листов достигается при оптимальной

структуре сталей. Для низкоуглеродистых сталей такая структура обеспечивается отжигом листов и представляет собой мелкозернистый феррит с размером зерен № 6...№ 8, отношением $\sigma_{0,2} / \sigma_B = 0,55...0,60$ и твердостью 45...55 HRB. Небольшие включения перлита или мартенсита не ухудшают штампуемость. Степень развития сетки структурно-свободного цементита на границах зерен определяют баллами 6-балльной стандартной шкалы (ГОСТ 5640—68). Листовой прокат не должен содержать структурно-свободный цементит выше 2-го или 3-го балла стандартной шкалы.

Листовой прокат из сталей с содержанием $C \geq 0,30\%$ подвергают отжигу на структуру зернистого перлита для улучшения штампуемости. Для повышения штампуемости и качества поверхности отштампованных изделий листы перед штамповкой дрессируют.

Дрессировка — прокатка листов без смазки с малыми обжатиями 0,8...1,5 % — предупреждает образование полос скольжения при штамповке. Для листового проката после дрессировки указывают гарантийный срок его использования, в течение которого штампуемость не понизится из-за старения. Особенно это необходимо для листового проката из кипящих сталей, подверженных деформационному старению.

Для листов из стали 08кп 3-й категории предел текучести гарантируется в течение 7 суток со дня испытания. Для тонколистового проката, поставляемого в дрессированном состоянии, способность к вытяжке ВГ (весьма глубокая), глубина сферической лунки гарантируется в течение 10 суток с момента отгрузки. Дрессировка с более высокими степенями деформации повышает твердость стали и в общем понижает штампуемость. Эту особен-

ность нужно учитывать, если дрессировку используют для повышения качества поверхности листов и уменьшения отклонений от плоскостности.

Штампимость тонколистового проката толщиной от 2 мм и ниже оценивают по результатам вытяжки сферической лунки по Эриксену (ГОСТ 10510–80). Это испытание часто включают в число нормируемых характеристик проката.

Тонколистовой прокат общего назначения (ГОСТ 16523–89) изготавливают из углеродистой стали качественной и обыкновенного качества и маркируют по минимальному значению временного сопротивления (В) на группы прочности: К260В, К270В, К300В, К310В, К330В, К350В, ОК360В, ОК370В, К390В, ОК400В, К490В. Прокат из стали обыкновенного качества обозначают буквами ОК, из качественной стали — буквой К. Трехзначное число соответствует нижнему значению временного сопротивления.

Стали, которые используют для изготовления проката, указаны в табл. 14.

Для тонколистового проката нормируемыми характеристиками являются: испытание на изгиб, на вытяжку

сферической лунки, определение механических свойств. Предусмотрено шесть категорий проката (табл. 15), для категории 4 нормируются все характеристики для любой группы прочности, а, например, для категории 1 проводится только испытание на изгиб и только для групп прочности ОК300В, ОК360В и ОК370В.

Механические свойства проката указаны в табл. 16. Кроме того, там приведены условия испытаний на изгиб.

Тонколистовой прокат для холодной штамповки (ГОСТ 9045–93) изготавливают из низкоуглеродистых сталей 08кп, 08пс и 08Ю термически обработанным в дрессированном состоянии, а также в недресированном состоянии.

Главный критерий качества проката — способность к вытяжке (при толщине проката до 2 мм): весьма особо сложной — ВОСВ, ВОСВ-Т; особо сложной — ОСВ; сложной — СВ; весьма глубокой — ВГ. Сталь 08Ю пригодна для вытяжки любой сложности, стали 08кп и 08пс используют лишь для весьма глубокой вытяжки ВГ.

По нормируемым характеристикам прокат разделяют на пять категорий

14. Используемые для проката стали

Группа прочности	Марки стали
К260В	08кп
К270В	08пс, 08, 10кп, 10пс, 10
К310В	15кп, 15пс
К330В	15, 20кп
К350В	20пс, 20
К390В	25, 30
К490В	35, 40, 45, 50
ОК300В	Ст1, Ст2 (всех степеней раскисления)
ОК360В	Ст3 (всех степеней раскисления)
ОК370В	Ст3пс, Ст3сп
ОК400В	Ст4 (всех степеней раскисления), Ст3пс, Ст3сп

15. Категории проката в зависимости от нормируемых характеристик

Категория проката	Испытание	Прокат	Группы прочности			
			K260B, K270B, K310B, K330B, K350B	K390B	K490B, OK400B	OK300B, OK360B, OK370B
1	На изгиб	Горячекатаный, холоднокатаный	—	—	—	+
2	На вытяжку сферической лунки	Холоднокатаный	+	—	—	—
3	На изгиб и на вытяжку сферической лунки	Холоднокатаный	+	—	—	—
4	На растяжение	Горячекатаный, холоднокатаный	+	+	+	+
5	На растяжение и изгиб	Горячекатаный, холоднокатаный	+	+	—	+
6	На растяжение, вытяжку сферической лунки и на изгиб	Холоднокатаный, горячекатаный*	+	—	—	—

* По требованию потребителя.

Примечание. Знак «+» означает, что характеристика нормируется, «—» — не нормируется.

(табл. 17). Прокат может не подвергаться испытаниям на определение механических свойств, твердости, глубины сферической лунки, микроструктуры при условии штампваемости у потребителя.

По качеству отделки поверхности прокат соответствует группам II и III (IIa, IIб), прокат группы I изготавли-

ют по требованию потребителя. Микроструктуру контролируют по требованию потребителя. Прокат должен иметь вытянутые зерна феррита, при равноосных зернах их величина должна соответствовать № 6...№ 9, а балл структурно-свободного цементита должен быть не выше 2. Прокат со способностью к вытяжке ВГ допускает

16. Механические свойства проката

Группа прочности	σ_B , МПа	δ , %, не менее, при диаметре оправки, мм*	
		≤ 2	> 2
K260B	260...380	25/26	28/29
K270B	270...410	24/25	26/28
OK300B	300...480	21/24	23/26
K310B	310...440	23/24	25/27
K330B	330...460	23/24	24/25
K350B	350...500	22/23	23/24

Окончание табл. 16

Группа прочности	σ_B , МПа	δ , %, не менее, при диаметре оправки, мм*	
		≤ 2	> 2
ОК360В	360...530	20/22	22/24
ОК370В	370...530	20/22	22/24
К390В	390...590	19/20	20/21
ОК400В	400...680	17/19	19/21
К490В	490...720	12/13	13/14

* В числителе — для горячекатаного, в знаменателе — для холоднокатаного проката.

Примечания: 1. Допускается испытание на изгиб холоднокатаного и горячекатаного проката групп прочности К260В, К270В, ОК300В, К310В, К350В и ОК360В, ОК370В у изготовителя не проводить (кроме изготовления проката с учетом требований, изложенных в примечаниях 2—5).

2. Для проката из углеродистой качественной стали толщиной до 2,8 мм допускается превышение верхнего предела σ_B на 30 МПа при сохранении всех остальных норм.

3. Для холоднокатаного проката группы прочности ОК300В допускается снижение нижнего предела σ_B на 30 МПа при сохранении всех остальных норм.

4. По согласованию изготовителя с потребителем допускается изготовление проката групп прочности ОК300В, ОК360В, ОК370В, ОК400В без ограничения верхнего предела σ_B .

5. Для проката глубокой вытяжки допускается снижение нижнего предела σ_B на 20 МПа при сохранении всех остальных норм.

6. По согласованию изготовителя с потребителем для проката групп прочности К390В и К490В допускается снижение нижнего предела σ_B на 20 МПа при одновременном повышении относительно удлинения на 2 % (абс.).

7. При испытаниях на изгиб до достижения параллельности сторон диаметр оправки d выбирают в соответствии с группой прочности и толщиной проката: для групп прочности К260В, К270В, ОК300В, К310В, К330В, К350В $d = 0$ при $a \leq 2$ мм и $d = a$ при $a > 2$ мм; для групп прочности ОК360В, ОК370В, К390В $d = a$ при $a \leq 2$ мм и $d = 2a$ при $a > 2$ мм.

17. Категории проката в зависимости от нормируемых характеристик

Категория проката	Нормируемые характеристики					Способность к вытяжке	Толщина проката, мм, не более
	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	HRB	Глубина сферической лунки		
1	—	—	—	—	+	СВ, ВГ	2,0
2	—	+	+	—	—	СВ, ВГ, ОСВ	3,9
3	—	+	+	—	+	ОСВ, СВ, ВГ	2,0
4	+	+	+	—	+	ВОСВ, ВОСВ-Т, ОСВ, СВ	2,0
5	+	+	+	+	+	ВОСВ, ВОСВ-Т, ОСВ, СВ	2,0

Примечание. Знак «+» означает, что характеристика нормируется, «—» — не нормируется.

18. Механические свойства проката

Способность к вытяжке	σ_t	σ_b	δ , %, не менее, при толщине проката, мм				HRB, не более, при толщине проката св. 1,7 до 2 мм вкл.
	МПа		менее 0,7	от 0,7 до 1,5 вкл.	св. 1,5 до 2,0 вкл.	св. 2,0 до 3,9 вкл.	
ОСВ	195	250...350	34	36	40	42	46
СВ	205	250...380	32	34	38	40	48
ВГ	—	250...390	26	28	29	30	—
ВОСВ	185	250...350	38	40	42	—	46
ВОСВ–Т	175	250...320	40	42	44	—	43

Примечания: 1. Относительное удлинение проката способности к вытяжке ВГ, поставляемого в дрессированном состоянии, гарантируется изготовителем в течение 10 сут. с момента отгрузки.

2. Механические свойства и твердость проката способности к вытяжке ВОСВ и ВОСВ–Т контролируют по требованию потребителя.

3. Предел текучести и твердость проката способности к вытяжке ВГ контролируют по требованию потребителя, нормы устанавливают по соглашению потребителя с изготовителем.

4. По требованию потребителя прокат способности к вытяжке ВГ изготавливают с $\sigma_b = 270...350$ МПа и $\delta \geq 33$ % для проката толщиной до 0,6 мм включительно и $\delta \geq 34$ % — для проката толщиной свыше 0,6 мм.

5. По требованию потребителя у проката со способностью к вытяжке ВОСВ, ВОСВ–Т, ОСВ и СВ толщиной 0,5 мм и менее выполняют контроль твердости. На обратной стороне испытуемого образца допускается наличие следов деформации.

балл 3 структурно-свободного цемента, в этом прокате величина зерен феррита не определяется.

Механические свойства проката указаны в табл. 18.

Тонколистовой прокат из стали повышенной прочности производят холоднокатаным и горячекатаным из сталей 09Г2, 14Г2, 09Г2Д, 12ГС, 16ГС, 17ГС, 09Г2С, 09Г2СД, 10Г2С1Д, 15ГФ, 10ХСНД, 15ХСНД, 10ХНДП, 10Г2Ф, 10Г215Д (ГОСТ 19281–89).

Прокат по прочности разделяется на пять классов и маркируется по минимальному значению предела текучести (табл. 19).

Для повышения сопротивления атмосферной коррозии ряд марок сталей содержит медь в количестве 0,15... 0,30 %, в этом случае к обозначению класса прочности добавляется буква Д (295Д, 390Д, 345Д).

Механические свойства проката указаны в табл. 20.

19. Стали, рекомендуемые для различных классов прочности

Класс прочности	Марки сталей
295	09Г2, 09Г2Д
315	14Г2, 12ГС, 16ГС
345	09Г2С, 09Г2СД, 10Г2С1, 10Г2С1Д, 15ХСНД, 10ХНДП
355	17ГС, 15ГФ
390	10ХСНД

**20. Механические свойства тонколистового проката (не менее)
и условия испытания на изгиб**

Класс прочности	σ_T	σ_B^*	$\delta, \%$
	МПа		
295	295	440/410	20
315	315	460/430	20
345	345	490/460	19
355	355	510/480	18
390	390	530/500	18

* В числителе — для горячекатаного, в знаменателе — для холоднокатаного проката.

Примечания: 1. Для проката класса прочности 315 из стали 16ГС $\sigma_T \geq 325$ МПа.

2. Для проката класса прочности 345 из стали 10ХНДП $\sigma_B \geq 470$ МПа.

3. При испытании на изгиб до достижения параллельности сторон диаметр оправки $d = 2a$.

Толстолистовой прокат общего назначения (ГОСТ 14637—89) изготавливают из углеродистой стали обыкновенного качества в виде листов толщиной 4...160 мм и рулонов с толщиной металла 4...12 мм.

Для проката нормируют химический состав, испытание на изгиб, механические свойства, типы образцов для определения ударной вязкости и условия этих испытаний. В зависимости от нормируемых показателей прокат разделяют на шесть категорий. Прокат 1—5-й категорий является горячекатаным, прокат 6-й категории — упроч-

ненным. Допускается изготовление проката 1—5-й категорий в термически упрочненном состоянии, начиная с прокатного нагрева, или с применением контролируемой прокатки.

Механические свойства толстолиствого проката общего назначения указаны в табл. 21. При всех условиях определения ударной вязкости КСУ ее значения не должны быть меньше 29 Дж/см², а нормы ударной вязкости КСВ — не менее 30 Дж/см².

Толстолистовой горячекатаный прокат для холодной штамповки (ГОСТ 4041—71) имеет толщину 4...14 мм. Про-

21. Механические свойства толстолиствого проката общего назначения

Марка стали	σ_B , МПа	σ_T , МПа, для толщины, мм				δ , %, для толщины, мм		
		до 20	св. 20 до 40	св. 40 до 100	св. 100	до 20	св. 20 до 40	св. 40
		Не менее						
Ст0	≥ 300	—	—	—	—	23	22	20
Ст2кп	320...410	215	205	195	185	33	32	30
Ст2пс, Ст2сп	330...430	225	215	205	195	32	31	29
Ст3кп	360...460	235	225	215	195	27	26	24
Ст3пс, Ст3сп	370...480	245	235	225	205	26	25	23
Ст3Гпс	370...490							
Ст3Гсп	390...570	255	245	—	—	23	24	—

Окончание табл. 21

Марка стали	σ_B , МПа	σ_T , МПа, для толщины, мм				δ , %, для толщины, мм		
		до 20	св. 20 до 40	св. 40 до 100	св. 100	до 20	св. 20 до 40	св. 40
		Не менее						
Ст4пс, Ст4сп	410...530	265	255	245	235	24	23	21
Ст5пс, Ст5сп	490...630	285	275	265	255	20	19	17
Ст5Гпс	450...590							

Примечание. При испытании на изгиб до достижения параллельности сторон диаметр оправки d выбирают в соответствии с толщиной проката a : при $a \leq 20$ мм: $d = 2,5a$ для Ст 0; $d = 1,5a$ для Ст 2, Ст 3 и Ст 3Г всех степеней раскисления; $d = 2,5a$ для Ст 4пс и Ст 4сп; $d = 3,5a$ для Ст 5пс, Ст 5сп, Ст 5Гпс; при $a > 20$ мм: $d = 3,5a$ для Ст 0, Ст 4пс, Ст 4сп, Ст 4сп; $d = 2,5a$ для Ст 2, Ст 3 и Ст 3Г всех степеней раскисления; $d = 4,5a$ для Ст 5пс, Ст 5сп, Ст 5Гпс.

кат изготавливают из углеродистой качественной стали, и по нормируемым характеристикам разделяют на четыре категории (табл. 22).

Листы изготавливают в термически обработанном состоянии (отожженном, нормализованном, после высокового отпуска, после нормализации и высокового отпуска). Механические свойства проката приведены в табл. 23 и 24.

Зернистость стали должна быть не крупнее № 5 для листов 2-й категории и № 6 для листов 3-й и 4-й категорий.

Толстолистовой прокат из стали повышенной прочности (ГОСТ 19281–89) изготавливают в интервале толщин 4...160 мм. Прокат разделяют на классы прочности, обозначая каждый класс трехзначным числом — минимальным значением предела текучести металла

22. Категории проката в зависимости от нормируемых характеристик и марок стали

Категория	Марка стали	Химический состав	σ_B	σ_T	δ	HRB или HB	Изгиб в холодном состоянии на 180°	Размер зерна	Структурно-свободный цементит	Полосчатость	Обезуглерожженный слой для сталей 35,40
1	08кп, 08пс, 08, 10кп, 10пс, 10, 15кп, 15пс, 15, 20кп, 20пс, 20, 25пс, 25, 30, 35, 40	+	+	—	+	—	—	—	—	—	+
2	08кп, 08пс, 08, 10кп, 10пс, 10, 15кп, 15пс, 15, 20кп, 20пс, 20, 25пс, 25, 30, 35, 40, 08ЮА, 10ЮА, 15ЮА, 20ЮА	+	+	+	+	+	+	+	—	+	+
3	08кп, 08пс	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—
4	08Ю	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—

Примечания: 1. Знак «+» означает, что характеристика нормируется, «—» — не нормируется, знак «+*» — нормируется по требованию потребителя.

2. Размер зерна сталей 30, 35, 40 2-й категории не нормируется.

23. Механические свойства и твердость прокатанных листов

Марка стали	Категория	σ_B , МПа	σ_T , МПа, не более	δ , %, не менее		Твердость, не более	
				δ_5	δ_{10}	HRB	HB
08кп	1,2	270...370	—	34	30	55	100
08пс, 08	1,2	270...410	—	32	28	61	109
10кп	1,2	270...410	—	32	28	64	114
10пс, 10	1,2	290...420	—	32	27	66	117
15кп, 15пс, 15	1,2	320...440	—	30	26	68	121
20кп, 20пс, 20	1,2	340...490	—	28	24	71	127
25пс	1,2	370...540	—	27	23	76	136
25	1,2	390...540	—	26	23	76	138
30	1,2	430...590	—	24	21	80	149
35	1,2	480...640	—	22	18	84	163
40	1,2	510...660	—	21	17	85	167
08кп, 08пс	3	≤ 360	235	36	32	54	98
08Ю	4	≤ 360	265	36	32	67	118
08ЮА	2	270...360	—	36	32	65	116
10ЮА	2	270...410	—	32	28	66	117
15ЮА	2	320...440	—	30	26	68	121
20ЮА	2	340...490	—	28	24	71	127

Примечания: 1. Для листов в нормализованном состоянии допускается повышение σ_B на 50 МПа при соблюдении норм на характеристики — относительное удлинение и результаты испытаний на изгиб для отожженных образцов.

2. Для листов из стали 08кп 3-й категории предел текучести гарантируется в течение 7 суток со дня испытания.

24. Толщина оправки d при испытании на изгиб до достижения параллельности сторон

Марка стали	d
08кп, 08пс, 08, 08, 10кп, 10пс, 10, 15кп, 15пс, 08ЮА, 10ЮА	0 до соприкосновения сторон
15, 20кп, 20пс, 20, 25пс, 25, 15ЮА и 20ЮА	$d = a^*$
30, 35	$d = 2a$

* a — толщина листа

для данного класса прочности. Чем выше прочность проката, тем более узким является интервал толщин листов проката (табл. 25).

Эта разновидность листового проката предназначена преимущественно

для строительных конструкций, поэтому нормируется ударная вязкость. По величинам КСЧ и КСВ прокат разделяется на 15 категорий. Минимальное допустимое значение КСЧ (при -7°C) равно 24 Дж/см², а КСВ —

25. Механические свойства (не менее) толстолистного, широкополосного универсального проката и гнутых профилей

Класс прочности	Толщина проката, поставляемого по данному классу прочности, мм, не более	σ_T	σ_B	δ
		МПа		%
265	160	265	430	21
295	100	295	430	
315	60	315	450	
325	60	325	450	
345	32	345	490	
355	20	355	490	
375	50	375	510	20
390	50	390	510	19
440	32	440	590	19

Примечания: 1. Для проката, изготовленного из ряда легированных сталей, механические свойства отличаются от данных табл. 23.

2. При испытании на изгиб до достижения параллельности сторон диаметр оправки $d = 2a$.

40 Дж/см² (при -0°C). Предусмотрено изготовление проката классов прочности 315 и 345 с применением нормализации или контролируемой прокатки и классов прочности 390 и 440 с применением термического улучшения или контролируемой прокатки.

Инструментальные стали по назначению и химическому составу разделяют на пять групп: I — нелегированные (углеродистые) (ГОСТ 1435–99); II — низколегированные (ГОСТ 5950–2000); III — средне- и высоколегированные для инструментов холодного деформирования (ГОСТ 5950–2000); IV — среднелегированные для инструментов горячего деформирования (ГОСТ 5950–2000); быстрорежущие (ГОСТ 19265–73 и ГОСТ 28393–89).

Химический состав инструментальных сталей приведен в табл. 26–29.

Как правило, инструментальные стали являются высокоуглеродистыми, $C \geq 0,7\%$. В сталях для инструментов горячего деформирования понижение содержания углерода до 0,3...0,6 % диктуется необходимостью обеспечить

прочность инструмента при ударных нагрузках и замедлить развитие термической усталости. В сталях для инструментов холодного деформирования пониженное содержание углерода предусмотрено для групп сталей повышенной вязкости — 4ХС; 5ХВ2СФ и ряда других.

К инструментальным сталям по особенностям структуры и технологии деформирования относят подшипниковые стали ШХ15; ШХ15СГи95Х18.

Для улучшения обрабатываемости резанием инструментальные стали поставляют отожженными на структуру зернистого перлита. Структура сталей после отжига представляет смесь легированного феррита с карбидами. Количество карбидов зависит от содержания углерода и легирующих элементов: оно превышает 10 об. % у большинства сталей, а у быстрорежущих сталей и штамповых сталей Х12, Х12М1 и Х12Ф достигает 25...30 об. %. Структура зернистого перлита после отжига легированных инструментальных сталей образуется с трудом, наряду с участками зер-

26. Содержание углерода и твердость нелегированной (углеродистой) инструментальной стали (ГОСТ 1435–99)

Марка стали	Массовая доля углерода, %	Твердость, не ниже	
		после отжига, HB	после закалки, HRC
У7, У7А	0,65...0,74	187	63
У8, У8А	0,75...0,84	187	63
У8Г, У8ГА	0,80...0,90	187	63
У9, У9А	0,85...0,94	192	63
У10, У10А	0,95...1,04	212	64
У12, У12А	1,10...1,29	217	64

Примечания: 1. Массовые доли других элементов (%): для всех марок 0,17...0,33 Si; 0,20...0,40 Mn (в марках У8Г и У8ГА массовая доля марганца повышена до 0,33...0,58 %). Массовые доли серы и фосфора для сталей качественных (У7, У8 и др.) не превышают 0,028 и 0,030 соответственно, для сталей высококачественных (У7А, У8А и др.) не превышают соответственно 0,018 и 0,025. Для всех марок установлены массовые доли хрома, никеля и меди до 0,20; до 0,20 и до 0,25 соответственно.

2. В сталях после электрошлакового переплава массовая доля серы не должна превышать 0,013.

3. Если партии высококачественных сталей У7А, У8А и др. предназначены для изготовления патентированной проволоки, то массовые доли хрома, никеля и меди не должны превышать 0,12; 0,12 и 0,20 % соответственно при условии, что сумма массовых долей не превысит 0,40 %.

4. Если при изготовлении изделий сталь должна несколько раз нагреваться до аустенитного состояния, то в ней необходимо повысить массовую долю хрома до 0,20...0,40 %, чтобы избежать графитизацию.

5. В сталях, выплавленных скрап-рудным процессом предельно допустимые массовые доли хрома, никеля и меди повышаются на 0,05 % (для каждого элемента).

нистого перлита сохраняются участки пластинчатого перлита.

Легированные инструментальные стали, как правило, являются заэвтектоидными. По этой причине в структуре отожженных сталей после отжига обычно сохраняются остатки карбидной сетки.

При горячей обработке давлением высокоуглеродистых сталей неизбежно обезуглероживание металла. Для инструментальных сталей нормированная глубина обезуглероженного слоя увеличивается при увеличении размеров поперечного сечения проката; при диаметре или толщине менее 5 мм допускается слой глубиной 0,20 и 0,60 мм для диаметров (толщин) от 25 до 40 мм. Для сечений толще 40 мм допускается обезуглеро-

живание глубиной до 1,5% на сторону. Для сталей оценивается баллами микроструктура и остаточная цементитная сетка (для марок У9 и У12). Балл цементитной сетки должен быть не выше 3.

Согласно ГОСТ 5950–2000 для оценки феррито-карбидной структуры используют 10-балльную шкалу. Баллы 1...5 характеризуют зернистый перлит: чем крупнее частицы карбидов, тем выше балл в интервале 1...5. Баллы 6...10 характеризуют смешанную структуру зернистого и пластинчатого перлита. Баллу 6 соответствует структура, в которой доля пластинчатого перлита равна 10 %, баллу 10 — структура, в которой эта доля равна 100 %. Чем больше пластинчатого перлита содержит сталь, тем ниже ее пластичность.

27. Сталь инструментальная легированная (ГОСТ 5950—2000)

Марка стали	Массовая доля, %							Твердость		
	C	Si	Mn	Cr	W	V	Mo	Ni	HB после от- жига, не более	HRC после закалки
I. Стали для режущего и измерительного инструмента: неглубокой прокаливаемости										
8ХФ	0,70...0,80	0,10...0,35	0,15...0,40	0,40...0,70	—	0,15...0,30	—	—	241	59
9ХФ	0,80...0,90	0,10...0,35	0,30...0,60	0,40...0,70	—	0,15...0,30	—	—	241	61
11ХФ	1,05...1,15	0,10...0,35	0,40...0,70	0,40...0,70	—	0,15...0,30	—	—	229	63
13Х	1,25...1,40	0,10...0,35	0,30...0,60	0,40...0,70	—	—	—	—	241	65
В2Ф	1,05...1,22	0,10...0,40	0,20...0,50	0,20...0,70	1,60...2,00	0,20...0,28	—	—	229	63
глубокой прокаливаемости										
9Х1	0,80...0,95	0,95...0,45	0,40...0,55	1,40...1,70	—	—	—	—	229	63
Х	0,95...1,10	0,15...0,40	0,15...0,40	1,30...1,65	—	—	—	—	229	63
12Х1	1,15...1,25	0,10...0,40	0,30...0,60	1,30...1,65	—	—	—	—	241	63
9ХС	0,85...0,95	1,20...1,60	0,30...0,60	0,95...1,25	—	—	—	—	241	63
ХГС	0,95...1,05	0,40...0,70	0,85...1,25	1,30...1,65	—	—	—	—	241	63
9ХВГ	0,85...0,95	0,15...0,35	0,90...1,20	0,50...0,80	0,50...0,80	—	—	—	241	63
ХВГ	0,90...1,05	0,10...0,40	0,80...1,10	0,90...1,20	1,20...1,60	—	—	—	255	63
ХВСГ	0,95...1,05	0,65...1,00	0,60...0,90	0,60...1,10	0,50...0,80	0,05...0,15	—	—	241	63
9Х5ВФ	0,85...1,00	0,10...0,40	0,15...0,45	4,50...5,50	0,80...1,20	0,15...0,30	—	—	241	59
8Х6НФТ	0,80...0,90	0,10...0,40	0,15...0,45	5,00...6,00	—	0,30...0,50	—	0,90...1,30 Ti; 0,05...0,15	241	59
8Х4ВМФС2	0,80...0,90	1,70...2,00	0,20...0,40	4,50...5,10	1,80...2,30	1,10...1,40	0,80...1,10	—	255	62
II. Стали для штампового инструмента: для деформирования в холодном состоянии										
Х6ВФ	1,05...1,15	0,10...0,40	0,15...0,45	5,50...6,50	1,10...1,50	0,50...0,80	—	—	241	62
Х12	2,00...2,20	0,10...0,40	0,15...0,45	11,50...13,0	—	—	—	—	255	61
Х12ВМФ	2,00...2,20	0,10...0,40	0,15...0,45	11,00...12,50	0,50...0,80	0,15...0,30	0,60...0,90	—	255	61
Х12МФ	1,45...1,65	0,10...0,40	0,15...0,45	11,00...12,50	—	0,15...0,30	0,40...0,60	—	255	61
Х12Ф1	1,25...1,45	0,10...0,40	0,15...0,45	11,00...12,50	—	0,70...0,90	—	—	255	61

[illegible]

28. Химический состав быстрорежущих сталей (ГОСТ 19265–73)

Марка стали	Массовая доля ^{*1} , %					
	C	Cr	W	V	Co	Mo
Стали умеренной теплостойкости						
P6M5 ^{*2}	0,82...0,90	3,80...4,40	5,50...6,50	1,70...2,10	≤0,50	4,80...5,30
P18	0,73...0,83		17,00...18,50	1,00...1,40		≤1,00
P6M5Φ3 ^{*2}	0,95...1,05		5,70...6,70	2,30...2,70		4,80...5,30
P12Φ3			12,00...13,00	2,50...3,00		≤1,00
Стали повышенной теплостойкости						
P18K5Φ2	0,85...0,95	3,80...4,40	17,00...18,50	1,80...2,20	4,70...5,20	≤ 1,00
P9K5	0,90...1,00		9,00...10,00	2,30...2,70	5,00...6,00	
P6M5K5	0,84...0,92	3,80...4,30	5,70...6,70	1,70...2,10	4,70...5,20	4,80...5,30
P9M4K8	1,00...1,10	3,00...3,60	8,50...9,50	2,30...2,70	7,50...8,50	3,80...4,30
P2AM9K5		3,80...4,40	1,50...2,00	1,70...2,10	4,70...5,20	8,00...9,00
10P6M5K5 ^{*3}	1,00...1,10	3,80...4,40	6,00...7,00	1,20...1,60	4,80...5,30	4,80...5,30
P13Φ4K5 ^{*3}	1,25...1,40	3,70...4,20	12,50...14,00	3,20...3,90	5,00...1,00	0,50...1,00
P12M3Φ2K8 ^{*3}	0,95...1,05	3,80...4,40	11,00...13,00	1,80...2,40	7,50...8,50	2,80...3,40
Стали пониженной теплостойкости						
11P3AM3Φ2	1,02...1,12	3,80...4,30	2,50...3,30	2,30...2,70	≤0,50	2,50...3,00
P2M5 ^{*3}	0,95...1,05		1,70...2,30	0,90...1,30	—	4,80...5,30
11M5BΦ ^{*3}	1,02...1,10	3,80...4,20	≤0,60	1,30...1,60	—	5,20...5,80

^{*1} У всех сталей Mn и Si — не более 0,5 % каждого, S и P — не более 0,03 % каждого.

^{*2} По требованию потребителя легируют азотом (массовая доля 0,05...0,10 %) и обозначают марки P6AM5 и P6AM5Φ3.

^{*3} Поставляют по техническим условиям.

Примечание. Содержание остаточных элементов, %: Ni ≤ 0,6; Cu ≤ 0,25; Co ≤ 0,5; Mo ≤ 1,0.

Карбидную сетку оценивают двумя 6-балльными шкалами, одна применяется для крупноячеистой сетки, другая — для мелкоячеистой.

Механические свойства некоторых инструментальных сталей после отжига на зернистый перлит указаны в табл. 30. Увеличение дисперсности карбидов, сохранение пластинчатого

перлита наряду с зернистым перлитом, повышение легированности феррита уменьшает и без того невысокую пластичность отожженных инструментальных сталей.

Возможности холодного деформирования инструментальных сталей ограничены из-за пониженной технологической пластичности. Значения предела

29. Химический состав быстрорежущих сталей, получаемых методом порошковой металлургии (ГОСТ 28393–89)

Марка стали	Массовая доля*, %					
	C	Cr	W	V	Co	Mo
P6M5Ф3-МП	1,25...1,35	3,8...4,3	5,7...6,7	3,1...3,7	≤0,50	5,5...6,0
P7M2Ф6-МП	1,65...1,75		6,5...7,5	5,5...6,2		1,8...2,3
P12MФ5-МП	1,45...1,55		11,5...12,5	4,0...4,6	4,8...5,3	1,0...1,5
P6M5K5-МП	1,02...1,09		6,0...7,0	1,7...2,2		4,8...5,3
P9M4K8-МП	1,10...1,20	3,0...3,6	8,5...9,5	2,3...2,7	7,5...8,5	3,8...4,3
P12M3K5Ф2-МП	1,05...1,15	3,8...4,3	11,5...12,5	1,8...2,3	5,0...5,5	2,5...3,0

* Во всех сталях Si — не более 0,60 %, Mn — не более 0,50 %, S и P — не более 0,03 % (каждого).

30. Механические свойства отожженных инструментальных сталей

Марка стали	НВ	σ _в , МПа	δ, %	ψ, %
У7	179	260...280	20...22	36...38
У8	179...183	280...330	19...23	40...45
У8*	200...220	1000...1100	5...6	—
6Х3ФС	170...183	280...310	21...23	67...74
11Х	179...189	330...370	20...26	56...66
ХВГ	179...207	430...440	16...18	54...56
P6M5	212...223	600...650	6...8	17...21
P18	243...248	700...750	4...5	8...9
10**	117	290...420	31	55
20**	127	340...490	28	55
40**	167	510...660	21	45

* Механические свойства стали У8 со структурой пластинчатого перлита.

** Механические свойства нелегированных конструкционных сталей после горячей прокатки приведены для сравнения.

текучести лучше характеризуют пластичность сталей при вытяжке, прессовании, волочении, значения твердости лучше определяют пригодность для вырубки и разрубки.

Необходимо отметить неблагоприятное изменение структуры сталей при холодном деформировании, когда деформация превышает приблизительно 10 %. Различие свойств фер-

ритной матрицы и частиц карбидов сопровождается раскалыванием карбидных частиц и образованием около них микропор, вытянутых по направлению течения металла.

Особенно большое количество карбидов содержат после отжига быстрорежущие стали и высоколегированные стали типа Х12, причем эти карбиды расположены неоднородно. Карбид-

ная неоднородность проявляется в форме полос и строчек, внутри которых частицы карбидов размещены особенно плотно. Эти полосы и строчки возникают в результате горячего прессования иликовки слитков, когда участки карбидных эвтектик деформируются и вытягиваются вдоль направления течения металла.

Согласно ГОСТ 19265—73 карбидную неоднородность в быстрорежущих сталях оценивают баллами стандартной шкалы. В зависимости от толщины проката карбидную неоднородность оценивают баллами от 1 до 7 при толщинах до 150 мм и баллами от 5 до 8 при толщинах 80...200 мм.

Порошковые быстрорежущие стали (ГОСТ 28393—89) не имеют карбидной неоднородности (распределение карбидов в этих сталях имеет оценку балл 1). Порошковые быстрорежущие стали обрабатываются давлением значительно легче быстрорежущих сталей обычного передела.

Для высоколегированных инструментальных сталей с 4...12 % Cr (6X4M2ФC, 9X5BФ, X12 и др.) карбидную неоднородность оценивают баллами 10-балльной стандартной шкалы.

Горячая обработка давлением инструментальных сталей зависит от легированности аустенита, присутствия карбидов и их расположения. Эта обработка имеет особенности:

1. Пластичность слитков меньше пластичности кововой или прокатанной стали.

2. В интервале 1150...1050 °C из аустенита выделяются вторичные карбиды. Частицы карбидов располагаются на границах зерен аустенита.

3. При нагреве и деформировании поверхностные слои сталей обезуглероживаются.

При горячем деформировании инструментальные стали имеют низкий предел текучести — 30...50 МПа, при-

сутствие карбидов пластичность понижает. Сталь У12 при 1100°C не имеет карбидов в структуре, относительное удлинение равно 90 %. В структуре стали Р18 при этой же температуре содержится около 10 об.% карбидов и относительное удлинение равно 65 %. Затруднения при горячем деформировании связаны с появлением на границах зерен аустенита частиц карбидов. Эти вторичные карбиды начинают выделяться при 1150...1050 °C и могут образовать карбидную сетку вокруг зерен аустенита при дальнейшем охлаждении. Выделение частиц карбидов на границах зерен аустенита затрудняет рост зерен, но снижает качество инструментальной стали. Для удаления карбидной сетки необходима термическая обработка деформированной стали.

Обезуглероживание горячедеформированного металла должно быть в допустимых границах: не более 0,35 мм на сторону при толщинах стали 4...8 мм, не более 1,3 мм на сторону при толщинах 70...100 мм.

Зерно аустенита (выявляемое средствами металлографического анализа) должно быть не крупнее № 9 при толщинах металла до 80 мм и № 8 — при толщинах 80...140 мм.

Многие инструментальные стали являются сталями мартенситного класса. После горячей обработки давлением и охлаждения на воздухе заготовки получают структуру мартенсита и имеют высокую твердость.

Термическая обработка инструментальных сталей после горячей обработки давлением имеет цель понизить твердость до значений, при которых обработка резанием протекает без затруднений, устранить карбидную сетку и уменьшить размер зерна аустенита.

Коррозионно-стойкие стали

Все коррозионно-стойкие стали являются высоколегированными и содержат не менее 13 % Cr.

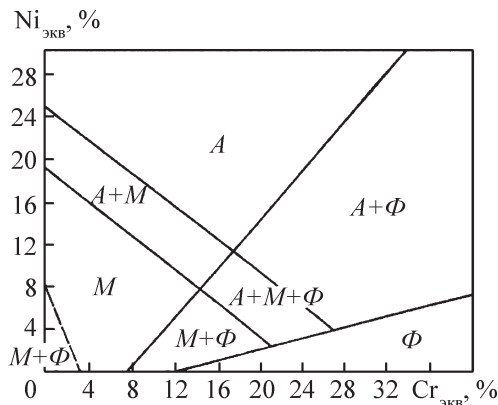


Рис. 1. Структурная диаграмма для коррозионно-стойких сталей. Фазовый состав соответствует состоянию сталей после охлаждения на воздухе от температур выше 1000 °С. Влияние феррито- и аустенитообразующих элементов учитывают эквиваленты хрома $Cr_{экв} = Cr + 2Si + 1,5Mo + 5V + 5,5Al + 1,75Nb + 1,5Ti + 0,75W$ и никеля $Ni_{экв} = Ni + 0,5Mn + 30C + 30N + 0,3Cu$

Химический состав ряда коррозионно-стойких сталей приведен в табл. 31.

По структуре, которую стали имеют после высокотемпературного нагрева и охлаждения на воздухе, стали разделяют на классы (ГОСТ 5632–72): аустенитный; аустенито-ферритный при содержании не менее 10 % феррита; ферритный; мартенситный; мартенситно-ферритный при содержании не менее 10 % феррита; аустенитно-мартенситный (рис. 1).

Структура сталей после высокотемпературного нагрева и охлаждения на воздухе зависит от соотношения между аустенитообразующими (Ni, Mn, N, C, Cu) и ферритообразующими (Si, Cr, Mo, Nb, Ti, Al) элементами. Структурная диаграмма приведена на рис. 1.

Большинство коррозионно-стойких сталей содержит малое количество углерода: 0,03...0,15 %. Содержание углерода ограничивают, так как этот элемент понижает сопротивление коррозии и способствует потере сопротивле-

ния против межкристаллитной коррозии (МКК). Некоторые марки мартенситных сталей содержат более 0,15 % С для обеспечения повышенной прочности и твердости

Коррозионно-стойкие стали имеют удовлетворительную технологическую пластичность. В то же время для деформирования этих сталей необходимы силы на 50...100 % выше по сравнению с деформированием нелегированных низкоуглеродистых сталей. Коррозионно-стойкие стали хуже проводят теплоту, склонны к схватыванию с деформирующим инструментом и имеют повышенное тепловое расширение при сравнении с углеродистыми сталями. В ходе нагрева и охлаждения этих сталей происходят фазовые превращения, отражающиеся на сопротивлении коррозии и других свойствах сталей.

Термическая обработка после обработки давлением становится необходимой для исправления дефектной структуры и восстановления сопротивления коррозии, которое имеет данная марка стали в соответствии со своим химическим составом. Наиболее высокую технологическую пластичность имеют стали с однофазной структурой — аустенитной или ферритной. Стали с многофазной структурой деформируются с затруднениями.

Среди коррозионно-стойких сталей наибольшее распространение имеют аустенитные стали благодаря комплексу технологических свойств, сопротивлению коррозии в большинстве промышленных агрессивных сред и универсальности использования. Комплекс механических свойств аустенитных сталей обеспечил им применение в широком интервале температур. Например, аустенитные стали типа 18–8 можно применять как хладостойкие материалы до –29 °С, как жаропрочные

31. Химический состав некоторых марок высоколегированных коррозионно-стойких, жаростойких и жаропрочных сталей (ГОСТ 5632–72)

Сталь	Массовая доля, %									
	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	V	Mo	Ti	Al
Стали мартенситного класса										
15X5	≤0,15	≤0,5	≤0,5	4,5...6,0	—	—	—	—	—	—
15X5BФ	≤0,15	0,3...0,6	≤0,5	4,5...6,0	—	0,4...0,7	0,4...0,6	—	—	—
12X8BФ	0,08...0,15	≤0,6	≤0,5	7,0...8,5	—	0,6...1,0	0,3...0,5	—	—	—
40X9C2	0,35...0,45	2,0...3,0	≤0,8	8,0...10,0	—	—	—	—	—	—
20X12BНМФ	0,17...0,23	≤0,6	0,5...0,9	10,5...12,5	0,5...0,9	0,7...1,1	0,15...0,30	0,5...0,7	—	—
20X13	0,16...0,25	≤0,8	≤0,8	12,0...14,0	0,5...0,9	—	—	—	—	—
40X13	0,36...0,45	≤0,8	≤0,8	12,0...14,0	—	—	—	—	—	—
25X13H2	0,2...0,3	≤0,5	0,8...1,2	12,0...14,0	1,5...2,0	—	—	—	—	—
20X17H2	0,17...0,25	≤0,8	≤0,8	16,0...18,0	1,5...2,5	—	—	—	—	—
65X13	0,06...0,70	≤0,8	≤0,8	12,0...14,0	≤0,15	—	—	—	—	—
95X18	0,9...1,0	≤0,8	≤0,8	17,0...19,0	—	—	—	—	—	—
Стали мартенситно-ферритного класса										
15X12BНМФ	0,12...0,18	≤0,4	0,5...0,9	11,0...13,0	0,4...0,8	0,7...1,1	0,15...0,30	0,5...0,7	—	—
12X13	0,09...0,15	≤0,8	≤0,8	12,0...14,0	—	—	—	—	—	—
14X17H2	0,11...0,17	≤0,8	≤0,8	16,0...18,0	1,5...2,5	—	—	—	—	—
Стали ферритного класса										
10X13CЮ	0,07...0,12	1,2...2,0	≤0,8	12,0...14,0	—	—	—	—	—	1,0...1,8
08X13	≤0,08	≤0,8	≤0,8	12,0...14,0	—	—	—	—	—	—
08X17T	≤0,08	≤0,8	≤0,8	16,0...18,0	—	—	—	—	—	—
15X18CЮ	≤0,15	1,0...1,5	≤0,8	17,0...20,0	—	—	—	—	—	—
15X25T	≤0,15	≤1,0	≤0,8	27,0...30,0	—	—	—	—	—	0,7...1,2
08X18T1	≤0,08	≤0,8	≤0,7	17,0...19,0	—	—	—	—	0,6...1,0	—
15X28	≤0,15	≤1,0	≤0,8	27,0...30,0	—	—	—	—	—	—

Стали аустенитно-мартенситного класса									
20X13N4T9	0,15...0,30	≤0,8	8,0...10,0	12,0...14,0	3,7...4,7	—	—	—	—
09X15N8Ю1	≤0,09	≤0,8	≤0,8	14,0...16,0	7,0...9,4	—	—	—	0,7...1,3
08X17N5M3	0,06...0,10	≤0,8	≤0,8	16,0...17,5	4,5...5,5	—	3,0...3,5	—	—
Стали аустенитно-ферритного класса									
08X20N14C2	≤0,08	2,0...3,0	≤1,5	19,0...22,0	12,0...15,0	—	—	—	—
20X20N14C2	≤0,20	2,0...3,0	≤1,5	19,0...22,0	12,0...15,0	—	—	—	—
12X21N5T	0,09...0,14	≤0,8	≤0,8	20,0...22,0	4,8...5,8	—	—	0,25...0,50	0,08
08X21N6M2T	≤0,08	≤0,8	≤0,8	20,0...22,0	5,5...6,5	—	1,8...2,5	—	—
08X18Г8Н2Т	≤0,08	≤0,8	7,0...9,0	17,0...19,0	1,8...2,8	—	—	0,20...0,50	—
03X23N6	≤0,03	≤0,04	1,0...2,0	22,0...25,0	5,3...6,3	—	—	—	—
Стали аустенитного класса									
08X10N20T2	≤0,08	≤0,8	≤2,0	10,0...12,0	18,0...20,0	—	—	1,5...2,5	Не более 1,0
10X14Г14Н3	0,09...0,14	≤0,7	13,0...15,0	12,0...14,0	2,8...3,5	—	—	—	—
45X14Н14В2М	0,40...0,50	≤0,8	≤0,7	13,0...15,0	13,0...15,0	2,0...2,8	0,25...0,40	—	—
03X16Н15М3	≤0,03	≤0,6	≤0,8	15,0...17,0	14,0...16,0	—	2,5...3,5	—	—
08X17Н13М2Т	≤0,08	≤0,8	≤2,0	16,0...18,0	12,0...14,0	—	2,0...3,0	5С...0,7	—
12X18Н9	≤0,12	≤0,8	≤2,0	17,0...19,0	8,0...10,0	—	—	—	—
08X18Н10Т	≤0,08	≤0,8	≤2,0	17,0...19,0	9,0...11,0	—	—	5С...0,7	—
20X25Н20С2	≤0,20	2,0...3,0	≤1,5	24,0...27,0	18,0...21,0	—	—	—	—
10X14АГ15	≤0,10	≤0,8	14,5...16,5	13,0...15,0	—	—	—	—	—
12X18Н10Т	≤0,12	≤0,8	≤2,0	17,0...19,0	9,0...11,0	—	—	5С...0,8	—
08X18Н12Б	≤0,08	≤0,8	≤2,0	17,0...19,0	11,0...13,0	—	—	(10С...1,1)Nb	—
03X18Н11	≤0,03	≤0,8	0,7...2,0	17,0...19,0	10,5...12,5	—	—	—	—

Примечания: 1. Для стали 10X14АГ15 добавляют азот в количестве 0,15...0,25 %;

2. Для стали 08X18Н12Б добавляют ниобий в количестве 10С...1,1 (С — массовая доля углерода, %).

материалы до 600...650 °С и как материалы, стойкие в агрессивных средах, при температурах от 20...25 до 100 °С и как жаростойкие материалы — до 700 °С.

Холодная обработка давлением коррозионно-стойких сталей отличается возможными малыми степенями деформации.

Аустенитные стали. Эти стали поставляют в закаленном состоянии начиная с 1050...1150 °С. После закалки стали имеют минимальные значения предела текучести (150...250 МПа) и твердости (~200 НВ) и максимальные значения ударной вязкости ($KCU = 2,5...3,0$ МДж/м²) и относительного удлинения ($\delta > 40$ %). Особенностью холодного деформирования этих сталей является интенсивное упрочнение (рис. 2, рис. 3). Стали, содержащие не более 15 % Ni, упрочняются благодаря наклепу аустенита и образованию мартенсита деформации α' . Стали с содержанием более 15 % Ni упрочняются только благодаря наклепу аустенита. Доля мартенсита деформации α' повышается при уменьшении содержания никеля до 7...8 % и зависит от

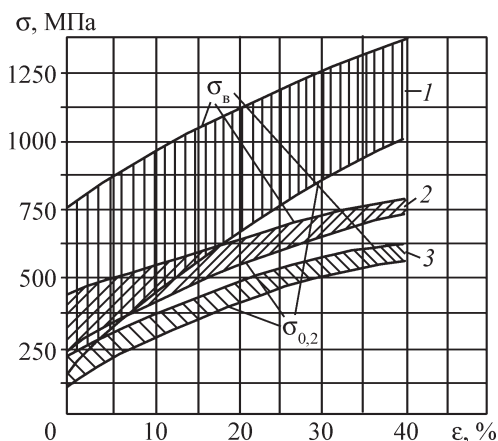


Рис. 2. Изменение механических свойств сталей при холодном деформировании:

1 — аустенитные стали; 2 — низколегированные конструкционные стали; 3 — ферритные стали

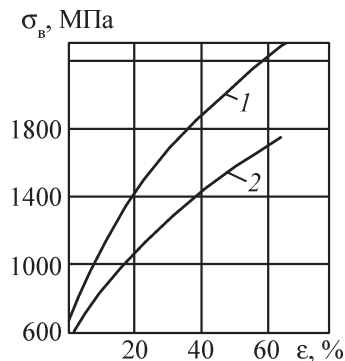


Рис. 3. Зависимость временного сопротивления аустенитных сталей от величины холодной деформации:

1 — хромомарганцевые стали; 2 — хромоникелевые стали

напряженного состояния при деформировании. При сдвиговых деформациях (например, при раскатке) доля мартенсита α' увеличивается до десятков процентов.

Хромомарганцевые аустенитные стали наклепываются более интенсивно, чем хромоникелевые стали. По ходу деформирования часть аустенита превращается в два различных мартенсита деформации: α' с ОЦК-структурой и ϵ с гексагональной структурой.

Ферритные стали обрабатывают в отожженном состоянии. При холодном деформировании они похожи на углеродистые стали и наклепываются менее интенсивно, чем аустенитные стали. Ферритные стали пригодны для всех формообразующих операций холодной обработки давлением. Однако пластичность ферритных сталей меньше, чем аустенитных, поэтому предельные деформации при обработке ферритных сталей меньше по величине.

Аустенитно-ферритные стали по величинам относительного удлинения, вязкости, интенсивности упрочнения занимают промежуточное место между аустенитными и ферритными сталями. По величинам предела текучести они почти вдвое превосходят

аустенитные стали и поэтому необходимы повышенные силы для деформирования. Если деформация изделий превысила 15 % и есть опасность их коррозионного растрескивания при эксплуатации, то необходима термическая обработка для устранения напряжений — закалка начиная от 1010...1100 °C.

Мартенситные стали отжигают перед холодной обработкой давлением. После отжига стали имеют двухфазную структуру: в матрице феррита размещены частицы карбидов. Относительное удлинение отожженных мартенситных сталей невелико, предельные деформации — ограничены, поэтому хотя в таком состоянии мартенситные стали по деформируемости во многом сходны с ферритными сталями, ряд операций, например, глубокую вытяжку или деформирование в вальцах, для них не рекомендуют.

Горячая обработка давлением коррозионно-стойких сталей по сравнению с обработкой углеродистых сталей сложнее по следующим причинам:

1. Силы деформирования на 50...100 % выше; слитки аустенитных сталей типа 18—8 содержат повышенное количество δ -феррита, особенно в центральной части. Ковка слитков начинается с малых обжатий, чтобы не допустить растрескивания.

2. При нагреве и охлаждении сталей из-за пониженной теплопроводности величины термических напряжений выше; в крупных изделиях из мартенситных, ферритных и аустенитно-ферритных сталей возможно растрескивание при быстрой смене температуры.

3. При температурах нагрева выше 1000 °C образуется высокотемпературный δ -феррит.

4. Для предупреждения нежелательных изменений структуры (выделения карбидов из твердых растворов,

образования σ -фазы, развития 475 °C — хрупкости феррита и др.) необходимо ускоренное охлаждение металла после деформирования.

5. Мартенситные стали после горячего деформирования охлаждают медленно.

Аустенитные стали не подвержены растрескиванию при нагреве, заготовки не подогревают ступенчато, их нагревают сразу в печах, нагретых до температуры деформирования.

Аустенитные стали типа 18—8 при температурах выше 1000 °C имеют двухфазную аустенитно-ферритную структуру. Образование δ -феррита, менее прочного, чем аустенит является причиной растрескивания сталей при деформировании. Трещины появляются в δ -феррите или на его границах с аустенитом. Для улучшения пластичности аустенитных сталей температуру нагрева стали ограничивают около 1200 °C, чтобы количество δ -феррита оказалось в допустимых пределах. В интервале 1000...1200 °C количество δ -феррита минимально. Аустенитные стали типа 25—20 сохраняют аустенитную структуру при горячей обработке давлением. Деформирование таких сталей идет при повышенных усилиях из-за более высокого сопротивления высоколегированного аустенита. Труднее, чем сталь 12X18H10T, деформируются аустенитные стали, содержащие медь или молибден. Особенностью аустенитных сталей являются высокие температуры рекристаллизации, горячедеформированные изделия часто оказываются прочными с пониженной пластичностью из-за сохранения наклепа.

Закалка в воду после нагрева до 1050...1150 °C восстанавливает пластичность и вязкость.

Стабилизированные марки аустенитных сталей не нуждаются в ускоренном охлаждении. Нестабилизиро-

ванные марки после окончания деформирования необходимо закалить в воде, чтобы предупредить выделение карбидов хрома из аустенита и не допустить потери стойкости против МКК.

Высокохромистые аустенитные стали также целесообразно охлаждать ускоренно после деформирования, чтобы не допустить образования хрупкой σ -фазы. Аналогично поступают с аустенитными сталями, содержащими молибден.

Наиболее склонны к появлению трещин при нагреве ферритные стали с высоким содержанием хрома (25...28%). Слитки таких сталей нагревают медленно со ступенчатым нагревом до примерно 500 °С, затем 850 °С и, наконец, до температурыковки. Ферритные стали склонны к росту зерен, рост начинается при 800...900 °С, а выше 1000 °С быстро приводит к крупнозернистой структуре и хрупкому состоянию. По этой причине горячую обработку заканчивают при 750...800 °С, чтобы после деформирования и рекристаллизации получить мелкозернистый феррит. Изделия из ферритных сталей с содержанием 17...30 % Cr необходимо охлаждать ускоренно, чтобы исключить образование хрупкой σ -фазы и развития 475 °С хрупкости. Изделия толщиной 10...15 мм охлаждают на воздухе, более крупные — в воде.

Мартенситные стали по содержанию хрома родственны ферритным сталям, отличаясь от них повышенным содержанием углерода. До температур горячего деформирования стали нагревают медленно с подогревом до 650...925 °С. Верхнюю границу интервала температур горячей обработки определяют так, чтобы не допустить появления δ -феррита. После окончания деформирования изделия охлаждают медленно.

В **аустенитно-мартенситных, аустенитно-ферритных и мартенситно-ферритных** сталях массовая доля аустенитообразующих элементов понижена, она меньше, чем в аустенитных сталях. При нагреве этих сталей для горячего деформирования увеличена доля δ -феррита, а с 1250...1300 °С структура становится почти целиком ферритной. Практически однофазная ферритная структура облегчает деформирование. Температуры горячего деформирования этих сталей выбирают с учетом минимального действия δ -феррита на технологическую пластичность.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ, ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Алюминиевые сплавы

В настоящее время используют два вида обозначений марок алюминия и его сплавов по ГОСТ 4784—97 (табл. 32).

Деформируемые алюминиевые сплавы разделяют на две группы:

1) технический алюминий и термически неупрочняемые сплавы алюминия с марганцем и магнием;

2) термически упрочняемые сплавы.

Сплавы первой группы: АД1, АД; сплав системы алюминий-марганец АМц; сплавы системы алюминий-магний-марганец АМг0,5, АМг1, АМг2, АМг3, АМг4, АМг5 и АМг6.

Сплавы этой группы отличаются высокими пластическими, технологическими свойствами, коррозионной стойкостью, хорошей свариваемостью. Для повышения прочностных характеристик сплавы дополнительно упрочняют холодной деформацией. Состояние поставки полуфабрикатов из этих сплавов — отожженное и нагартованное.

32. Алюминий и его сплавы

Обозначение марок		Обозначение марок		
старое	новое (ГОСТ 4784–97)	старое	новое (ГОСТ 4784–97)	
АД000	1080А	В65	1165	
АД00	1070А	Д18	1180	
АД00Е	1370	Д19	1190	
А199,6	1060	АК6	1360	
АД0	1050А	АК8	1380	
АД0Е	1350	АК4	1140	
АД1	1013	АК4-1	1141	
АД	1015	АК4-1ч	2618	
А199,0	1200	Сплавы системы Al–Mn		
Сплавы системы Al–Mg–Si		ММ	1403	
		АМц	1400	
		АМуС	1401	
		Д12	1521	
		Система Al–Zn–Mg		
		1915	1950	
1925				
В95				
В95 _{оч}				
В95 _{пч}				
АВ	1340	В93 _{пч}	Сплавы для изготовления проволоки для холодной высадки	
Система Al–Mg		В95-1		
АМг0,5	1505	Д1П		1117
АМг1	1510	Д16П		1167
АМг1,5	—	Д19П		1197
АМг2	1520	АМг5П	1557	
АМг2,5	—	В95П	1957	
АМг3	1530			
АМг3,5	—			
АМг4	1540			
АМг5	1550			
АМг6	1560			
Д1	1110			
Д16	1160			

Сплавы второй группы: сплавы системы алюминий-медь-магний Д1, Д16; сплав системы алюминий-магний-кремний АВ; сплавы системы алюминий-медь-магний ВД17, Д19, В65; сплавы системы алюминий-медь-магний-железо-никель-кремний АК4, АК4-1; сплавы системы алюминий-медь-маг-

ний-марганец-кремний АК6, АК8; сплавы системы алюминий-цинк-магний-медь В93, В95, В96; сплавы системы алюминий-медь-марганец Д20, Д21.

Сплавы второй группы отличаются удовлетворительной пластичностью и технологическими свойствами, повышенными прочностными свойствами;

их применяют для изготовления различных заготовок, в том числе штампованных, и поковок.

Полуфабрикаты из деформируемых алюминиевых сплавов в зависимости от состояния поставки имеют следующую буквенно-цифровую маркировку:

М — отожженные;

Н — нагартованные;

П — полунагартованные;

Т — закаленные и естественно состаренные;

ТН — нагартованные после закалки;

Т1 — закаленные и искусственно состаренные на максимальную прочность;

Т2, Т3 — закаленные и искусственно состаренные по режимам, приводящим к снижению прочности по сравнению с Т1, но к росту вязкости разрушения и коррозионной стойкости.

Химический состав, физические и механические свойства алюминиевых сплавов приведены в табл. 33–35.

Диаграммы деформирования алюминиевых сплавов приведены на рис. 4–10. Диаграммы рекристаллизации алюминиевых сплавов приведены на рис. 11, 12.

Физико-механические свойства **проволоки для холодной высадки из алюминия и алюминиевых сплавов** указаны в табл. 36 (ГОСТ 14838–78).

33. Химический состав алюминиевых сплавов (ГОСТ 4784–97*)

Сплав	Массовая доля, %								
	Cu	Mg	Mn	Fe	Si	Zn	Ti	Zr, Be	Cr
АД1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
АД	—	—	—	—	—	—	—	—	—
АМц	—	—	1,3	—	—	—	—	—	—
АМг1	—	1,0	—	—	—	—	—	—	—
АМг2	—	2,2	0,4	—	—	—	—	—	—
АМг3	—	3,5	0,45	—	0,65	—	—	—	—
АМг4	—	4,2	0,65	—	—	—	0,06	0,0026 Be	0,15
АМг5	—	5,3	0,55	—	—	—	0,06	0,0026 Be	—
АМг6	—	6,3	0,65	—	—	—	0,06	0,0026 Be	—
Д1	4,3	0,6	0,6	—	—	—	—	—	—
Д16	4,35	1,5	0,6	—	—	—	—	—	—
АВ	0,3	0,7	0,25 или Cr	—	0,85	—	—	—	—
В65	4,2	0,2	0,4	—	—	—	—	—	—
АК4	2,2	1,6	—	1,05	0,85	—	—	1,05Zr	—
АК4-1	2,3	1,5	—	1,1	—	—	—	1,1Zr	—
АК6	2,2	0,6	0,6	—	0,95	—	—	—	—
АК8	4,35	0,6	0,7	—	0,9	—	—	—	—
В95	1,7	2,3	0,4	—	—	6,0	—	—	0,17
В93пч	1,0	1,9	—	0,3	—	6,0	—	—	—

34. Физические свойства алюминия и сплавов на его основе

Сплав	Состояние	Теплопроводность λ при 25 °С, Вт/(м·°С)	Удельное электрическое сопротивление $\rho \cdot 10^8$, Ом·м	Плотность, г/см ³	Коэффициент линейного расширения при 20...100 °С $\alpha \cdot 10^6$, °С ⁻¹	Удельная теплоемкость c при 100 °С, кДж/(кг·°С)	Температура плавления, °С
АД1	М Н	226,1 217,7	2,9 3,0	2,71 —	24 —	922	643...657
АМц	М Н П	180,0 154,9 163,3	3,4 4,1 4,2	— 2,73 —	— 23,2 —	1089	643...654
АМг1	М	184,2	3,4	2,7	23,4	922	638...657
АМг2	М	154,9	4,8	2,68	24,2	964	627...652
АМг3	М	146,5	4,9	2,67	23,5	880	593...643
АМг4	М	133,9	6,1	2,67	23,8	964	585...641
АМг5	М Н	117,2 108,8	5,9 6,4	2,65 —	24,1 —	964 —	571...638 —
АМг6	М	117,2	6,7	2,64	24,7	922	—
Д1	М Т	195,5 134,0	3,4 —	2,79 —	22,9 —	922 —	535...639 —
Д16	М Т Т1	195,5 121,4 150,7	3,4 5,7 4,3	2,77	23,2	922	502...638
АВ	М Т Т1	205,1 163,3 171,2	3,2 4,1 3,8	2,70	23,5	796	588...649
ВД17	М	134,0	5,5	2,75	23,6	838	—
Д19	—	138,2 (100°)	6,1	2,76	—	880	—
В65	Т	146,5	5,0	2,8	—	964	—
АК4	Т1	146,5	5,0	2,77	21,8	838	—
АК4-1	Т1	132,3	5,5	2,8	19,6	764	—
АК6	Т1	175,8	4,1	2,75	—	838	—
АК8	М Т Т1	195,5 133,9 154,9	3,4 5,1 4,3	2,80	22,5	838	507...638
В93	Т1	163,3	4,1	2,84	—	796	—
В95 В96	Т1 Т1	154,9 121,4	4,2 5,8	2,85 2,89	23,1 22,4	796	477...635
Д20	М Т Т1	171,2 113,0 121,4	3,9 6,2 5,7	2,84	22,3	—	543...643

35. Механические свойства алюминия и сплавов на его основе

Сплав (состояние поставки)	Вид полуфабрикатов	Е	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	ψ	$\sigma_{сд}$, МПа	НВ
		МПа			%			
АД1 (М) АД (М)	Прессованные и катаные	71000	30	80	35	80	55	25
АД1 (Н)	Катаные	71000	100	150	6	20	70	35
АМц (М)		71000	50	130	23	70	80	30
АМц (П)		71000	130	180	10	55	100	40
АМц (Н)		71000	180	220	5	50	110	55
АМг1 (М)	Катаные и прессованные	69000	50	120	28	—	110	30
АМг1 (Н)	Катаные	70000	190	210	5	—	120	55
АМг2 (М)		70000	90	190	23	30	125	45
АМг2 (П)		70000	210	250	8	—	140	68
АМг2 (Н)		71000	230	280	5	—	165	77
АМг3 (М)		70000	120	235	22	—	155	58
АМг3 (П)		7000	230	270	8	—	160	75
АМг4 (М)		69000	140	270	23	—	160	—
АМг4 (П)		69000	240	320	12	—	190	—
АМг5 (М)		69000	180	300	20	—	180	65
АМг5 (Н)		70000	320	420	10	—	220	100
АМг6 (М)		70000	170	340	20	25	210	—
АМг6 (Н)		70000	280	380	6	—	—	—
Д1 (Т)	Штампованные заготовки	71000	250	410	15	30	270	110
АД31 (Т1)		71000	220	240	12	50	—	90
АД33 (Т1)		71000	270	330	12	29	—	95
Д16 (Т)	Катаные	69000	290	440	19	—	280	120
Д16 (Т1)		69000	400	450	7	—	270	—
Д16 (Т1П)		69000	460	500	5,5	—	285	—
Д16 (Т)	Прессованные	72000	380	520	12	15	300	130
АВ (Т1)	Прессованные	71000	290	350	12	20	210	95
	Штампованные заготовки	71000	260	310	10	—	195	85
ВД17 (Т1)	Штампованные заготовки	72000	300	440	17	20	—	—
В65 (Т)	Проволока	71000	250	400	20	50	260	—
Д19 (Т)		70000	280	460	23	42	290	—
АК4 (Т1)	Штампованные заготовки и поковки	72000	290	420	6	21	—	—
	Катаные	72000	350	400	8	—	—	—
АК4 (Т1)	Прессованные	73000	360	420	7	30	—	—

Окончание табл. 35

Сплав (состояние поставки)	Вид полуфабрикатов	Е	σ _{0,2}	σ _в	δ	ψ	σ _{сд} , МПа	НВ
		МПа			%			
АК4-1 (Т1)	Штампованные заготовки и поковки	73000	320	420	8* ¹	—	—	115
		—	300	400	6* ²	—	—	115
		—	—	390	5* ³	—	—	115
АК6 (Т1)	Штампованные заготовки и поковки	72000	300	410	12	35	260	105
		72000	280	390	8	—	—	105
		72000	—	370	6	—	—	—
	Катаные	69000	370	440	10	—	—	—
АК8 (Т1)	Штампованные заготовки и поковки	74000	400	480	10* ¹	—	290	130
		—	380	440	8* ²	—	—	130
		—	—	380	6* ³	—	—	—
В93 (Т1)	Штампованные заготовки и поковки	70000	490	520	8* ¹	—	—	140
		—	480	510	6* ²	—	—	140
		—	—	510	4* ³	—	—	140
В93 (Т2)	Штампованные заготовки	—	420	470	6* ²	—	—	—
В93 (Т3)		—	390	450	7	—	—	—
В95 (Т1)	Катаные	67000	480	530	11	—	310	—
В95 (Т2)	Прессованные	72000	550	580	8	12	330	150
		—	500	550	10	—	—	—
В96ц (Т1)	Прессованные	—	630	650	6	—	—	—
Д20 (Т1)	Катаные	69000	300	420	11	—	260	—
Д20 (Т1Н)		69000	360	450	10	—	290	—
Д20 (Т1)	Прессованные	69000	280	420	10	35	270	100
Д21 (Т1)	Штампованные заготовки и поковки	70000	350	430	9* ¹	18	—	—

*1 — продольное направление;

*2 — поперечное направление по ширине;

*3 — поперечное направление по толщине.

Примечание. Направление вырезки образцов из катаных полуфабрикатов поперечное, из прессованных — продольное.

Диаметры проволоки от 1,2 до 12 мм. Проволоку из алюминия и его сплавов, не упрочняемых термической обработкой, поставляют нагартованной, а из термически упрочняемых сплавов — упрочненной при помощи закалки и старения. Гарантированная прочность на срез

указана в табл. 36. Проволока диаметром 12 мм из сплава Д1П после закалки и старения имеет $\sigma_B \geq 370$ МПа, $\delta \geq 2$ %. Проволока должна выдерживать испытание на расплющивание плоской головки, высота которой равна 0,5...0,05 номинального диаметра проволоки.

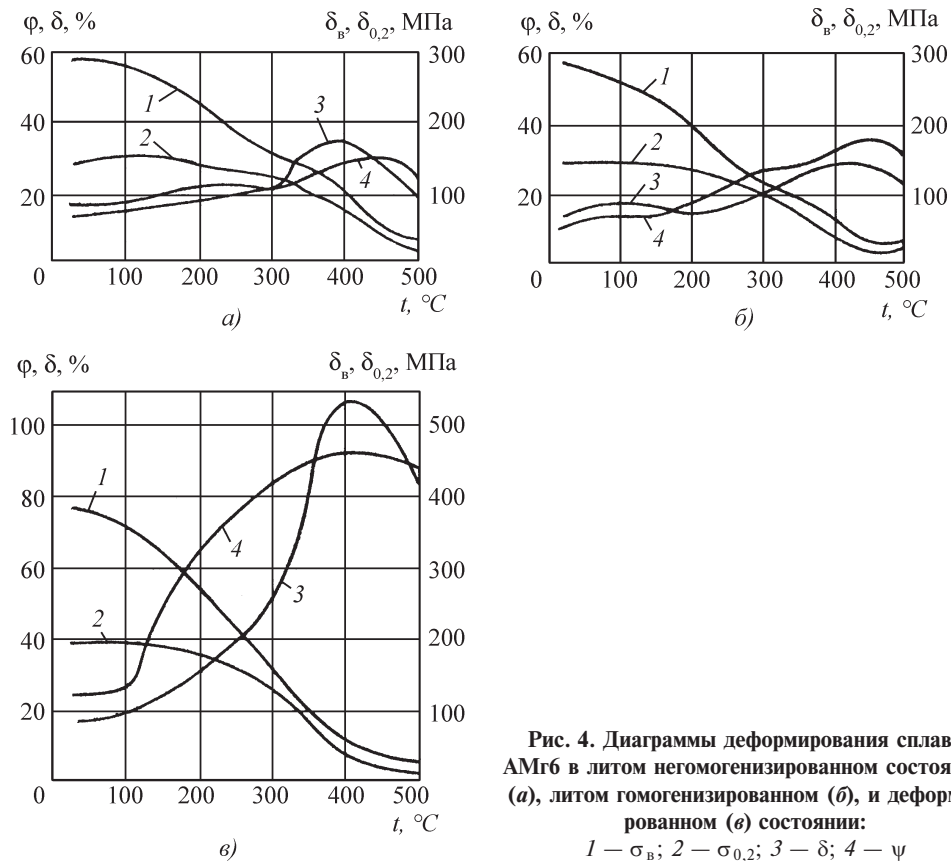


Рис. 4. Диаграммы деформирования сплава АМг6 в литом негомогенизированном состоянии (а), литом гомогенизированном (б), и деформированном (в) состоянии:
1 — $\sigma_{\text{в}}$; 2 — $\sigma_{0,2}$; 3 — δ ; 4 — ψ

36. Прочность на срез проволоки для холодной высадки из алюминия и алюминиевых сплавов

Марка материала	Диаметр, мм	$\tau_{\text{ср}}$, МПа	Марка материала	Диаметр, мм	$\tau_{\text{ср}}$, МПа
АД1 (1013)	1,4...10	60	Д1П (1117)	1,4...10 1,5...7,8	235 265
АМц (1401)	1,4...10	70	Д16П (1167)	1,4...10	185
АМг2 (1520)	1,4...10	120	Д18 (1180)	1,4...7,8	245
АМг5П (1557)	1,4...10	155	В65 (1165)	>7,8...10	240

Магниеые сплавы

Деформируемые магниевые сплавы можно разделить на четыре группы. К первой группе относится сплав невысокой прочности ($\sigma_{\text{в}} = 170...230$ МПа)

МА1; имеет высокую пластичность в интервале температур горячего деформирования; рабочая температура деталей при длительной работе до 150°C, при кратковременной до 200°C; при-

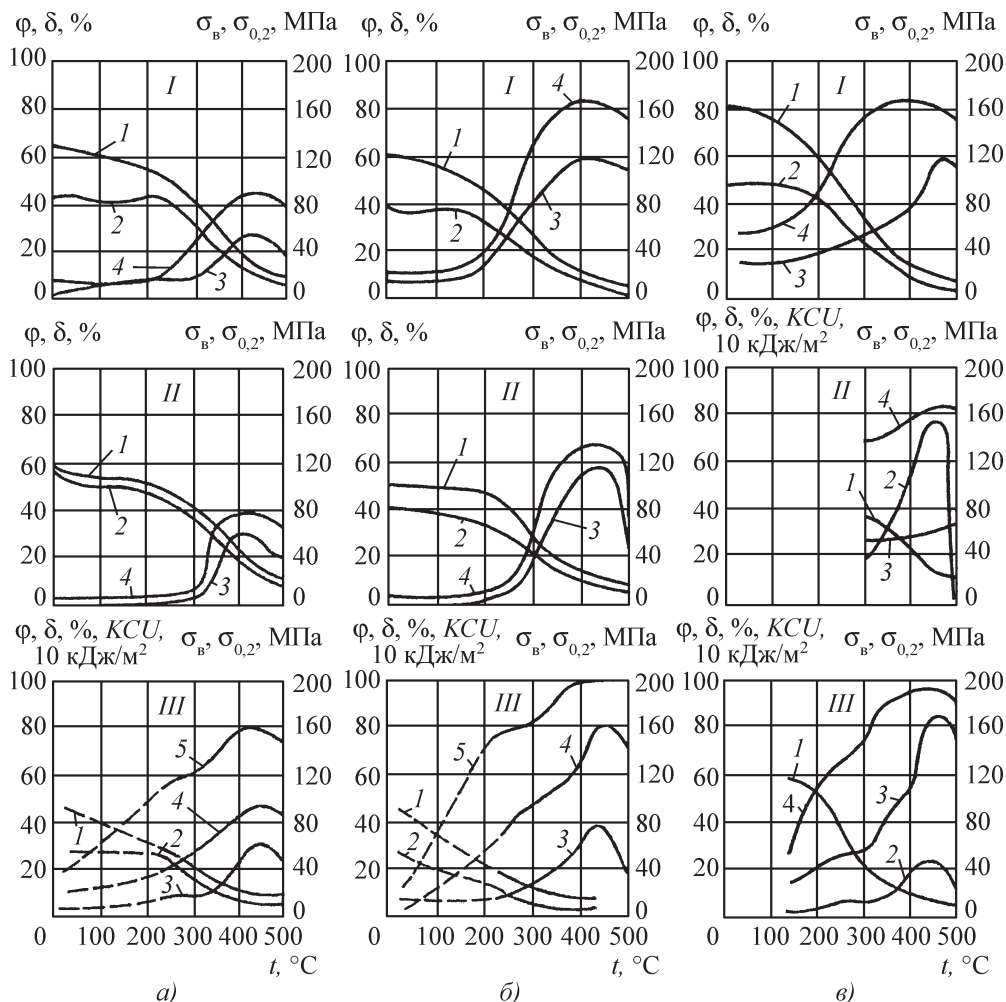


Рис. 5. Диаграммы деформирования сплавов Д1 (I), Д16 (II), Д20 (III) в литом негомогенизированном (а), литом гомогенизированном (б) и деформированном (в) состояниях:

1 — σ_B ; 2 — $\sigma_{0,2}$; 3 — δ ; 4 — ψ

меняют в виде штампованных заготовок несложной конфигурации, не несущих больших нагрузок.

Ко второй группе относятся сплавы средней прочности ($\sigma_B = 230 \dots 260$ МПа) МА8, МА2; характеризуются хорошей пластичностью, рабочая температура деталей до 250 °С; применяют в виде деформируемых полуфабрикатов и штампованных заготовок для деталей средней прочности и сложной формы.

К третьей группе относятся сплавы высокой прочности ($\sigma_B = 260 \dots 340$ МПа) МА2-1, МА5, МА10, имеющие удовлетворительную пластичность, рабочую температуру деталей до 200 °С; применяют в виде штампованных заготовок для нагруженных деталей средней сложности; ковкой не обрабатываются.

К четвертой группе относится жаропрочный сплав МА11, имеющий удовлетворительную пластичность; рабочая

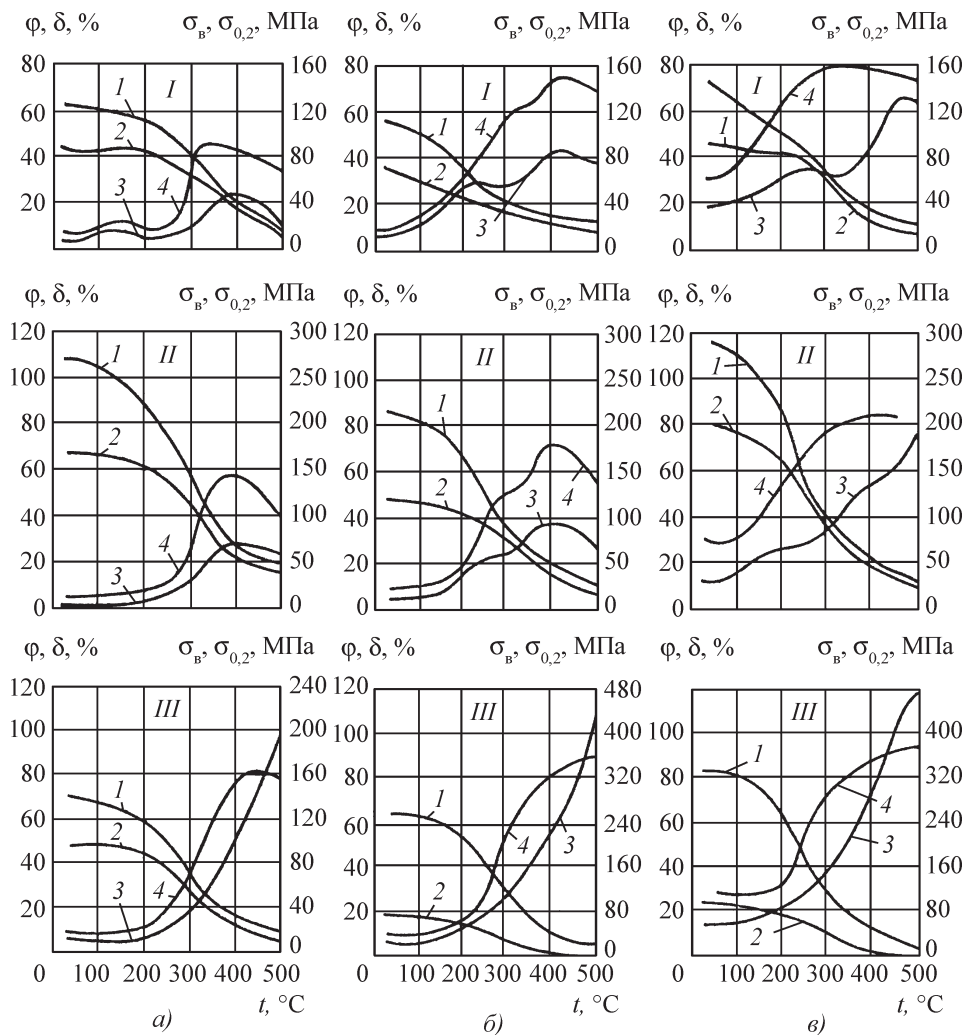


Рис. 6. Диаграммы деформирования сплавов АВ (I), АК8 (II) и АК4-1 (III) в литом негомогенизированном (а), литом гомогенизированном (б) и деформированном (в) состояниях:

1 — $\sigma_{\text{в}}$; 2 — $\sigma_{0,2}$; 3 — δ ; 4 — ψ

температура деталей 200...400°C; применяют для деталей, работающих в условиях повышенных температур; медленное разупрочнение происходит при температурах выше 200°C.

Химический состав, физические и механические свойства магниевых сплавов приведены в табл. 37–40. Диаграммы деформирования магниевых сплавов даны на рис. 13, диаграммы рекристаллизации — на рис. 14–16.

Диаграмма пластичности и прочно-сти сплава МА19 показана на рис. 17.

Медные сплавы

Из деформируемых медных и медно-никелевых сплавов изготавливают детали, отличающиеся высокой электрической проводимостью, теплопроводностью и коррозионной стойкостью.

Латуни — сплавы меди с цинком как основной легирующей добавкой. Вве-

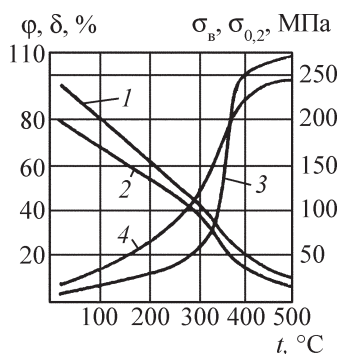


Рис. 7. Диаграммы деформирования сплава АК4 в литом гомогенизированном состоянии:
1 — σ_b ; 2 — $\sigma_{0,2}$; 3 — δ ; 4 — ψ

дение цинка повышает механические свойства меди: возрастают пределы прочности и текучести, а также твердость и относительное удлинение. Латунни отличаются технологичностью, хорошей деформируемостью, легко обрабатываются резанием. Латунные полуфабрикаты поставляют в твердом, полутвердом и мягком состояниях в

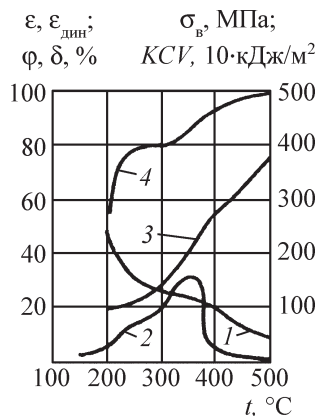


Рис. 8. Диаграммы деформирования сплава В93 в деформированном состоянии:
1 — σ_b ; 2 — $\sigma_{0,2}$; 3 — δ ; 4 — ψ

зависимости от способов изготовления, степени деформации и термообработки.

Физико-механические свойства латунной проволоки для холодной высадки указаны в табл. 41. Проволоку изготавливают из латуни Л63, диаметры проволоки 0,8...11,5 мм (ГОСТ 12920–67). Проволоку изготавливают в

37. Химический состав магниевых сплавов (ГОСТ 14957–76)

Сплав	Массовая доля, %			
	Al, Nd	Mn	Zn, Ce, Ni	
MA1	—	1,3...2,5 Mn		
MA8	—	1,3...2,2 Mn	0,15...0,35 Ce	
MA2	3,0...4,0 Al	0,15...0,5 Mn	0,2...0,8 Zn	
MA2-1	3,8...5,0 Al	0,3...0,7 Mn	0,8...1,5 Zn	
MA5	7,8...9,2 Al	0,15...0,5 Mn	0,2...0,8 Zn	
MA11	2,5...3,5 Nd	1,5...2,5 Mn	0,10...0,22 Ni	

Сплав	Массовая доля примесей, %							
	Al	Cu	Be	Ni	Zn	Si	Fe	Прочие
MA1	0,10	0,05	0,002	0,007	0,3	0,10	0,05	0,2
MA8	0,10	0,05	0,002	0,007	0,3	0,10	0,05	0,3
MA2	—	0,05	—	0,005	—	0,10	0,05	0,3
MA2-1	—	0,05	0,002	0,004	—	0,10	0,04	0,3
MA5	—	0,05	0,002	0,005	—	0,10	0,05	0,3
MA11	0,10	0,03	0,002	—	0,20	0,10	0,03	0,3

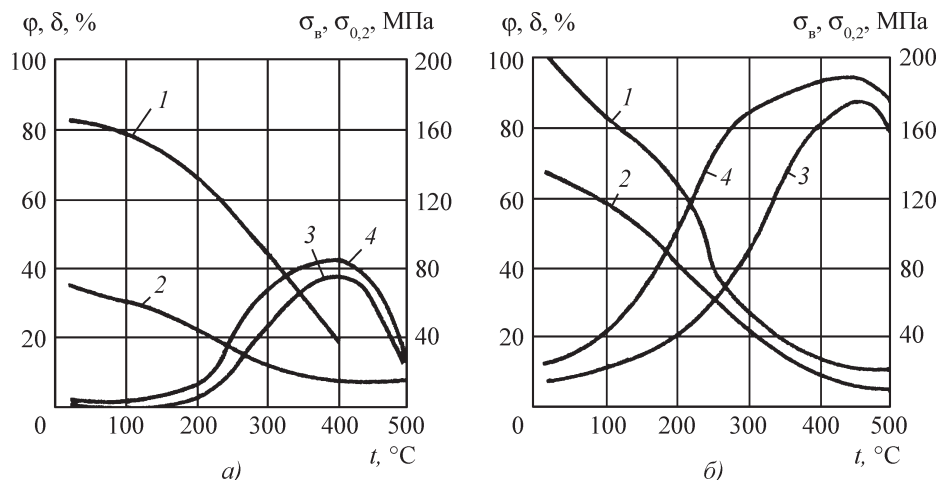


Рис. 9. Диаграммы деформирования сплава В95
в литом гомогенизированном (а) и деформированном (б) состояниях:
1 — $\sigma_{\text{в}}$; 2 — $\sigma_{0,2}$; 3 — δ ; 4 — ψ

трех состояниях: мягкую, полутвердую и твердую.

Бронзы — сплавы меди, содержащие в качестве основной легирующей добавки какой-либо металл, кроме цинка. Бронзы предназначены для изготовления силовых коррозионно-стойких деталей и арматуры, а также для изготовления деталей, работающих на истирание.

Ковку сплавов на медной основе производят преимущественно на молотах. Для объемной штамповки применяют винтовые фрикционные и кривошипные прессы.

Химический состав, физико-механические свойства и классификация медных сплавов приведены в табл. 42—47. Диаграммы деформирования некоторых латуней даны на рис. 18,

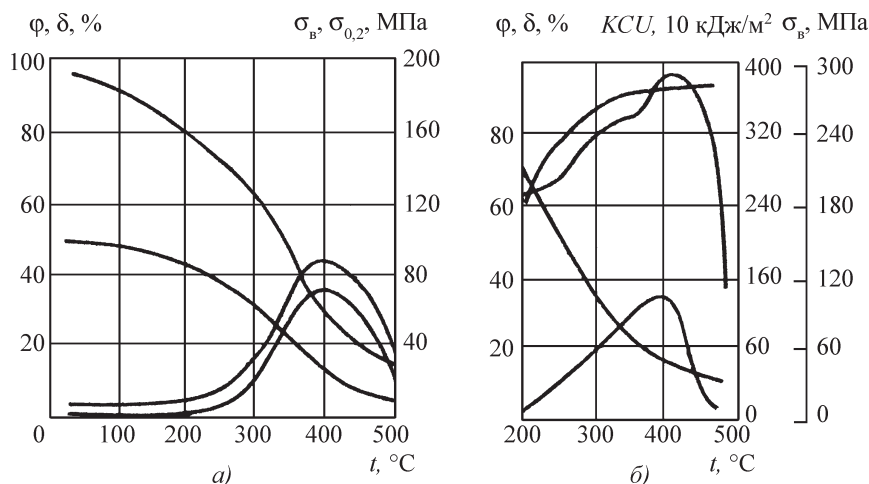


Рис. 10. Диаграммы деформирования сплава В96
в литом негомогенизированном (а) и деформированном (б) состояниях:
1 — $\sigma_{\text{в}}$; 2 — $\sigma_{0,2}$; 3 — КСУ; 4 — δ ; 5 — ψ

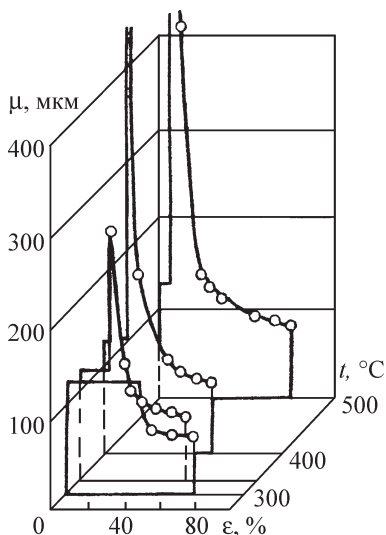


Рис. 11. Диаграмма рекристаллизации алюминия АД1. Прутки прессованные, горячая осадка, отжиг при температуре осадки в течение 20 мин в соляной ванне

диаграммы рекристаллизации электролитической меди и латуни — на рис. 19, 20.

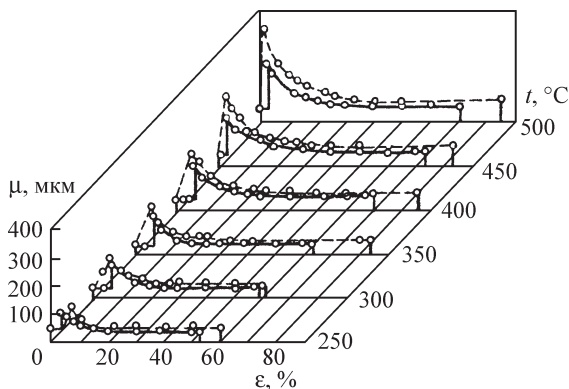


Рис. 12. Диаграмма рекристаллизации сплава Д1. Отжиг при температуре 500 °С в течение 3 ч: — — осадка на копре; - - - - - осадка на прессе

Титановые сплавы

Деформируемые титановые сплавы в зависимости от назначения и физико-механических свойств разделяют на четыре группы.

К первой группе относятся сплавы малой прочности ($\sigma_b \leq 600$ МПа): технический титан ВТ1-0, ВТ1-00 и низколегированный сплав ОТ4-1. Эти

38. Механические свойства магниевых сплавов (температура 20 °С)

Сплав	Полуфабрикат	Состояние	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ , %	ψ , %	КСУ, кДж/м ²	σ_{-1}^*	Сжатие		Кручение		Сдвиг
			МПа						σ_B	$\sigma_{-0,2}$	$\tau_{0,3}$	τ_B	
									МПа				
МА2	Пруток Ø260 мм	Горяче- прессованный	280	180	10	10	120	100	400	110	60	190	160
МА2-1				195	—	—	—	—	—	—	—	—	—
МА5	Плита 30 мм		260 (270)	150 (170)	12 (12)	20	80	105	390	85	60	175	150
	Пруток Ø260 мм		285	215	7	—	—	—	—	—	—	—	—
	То же		Зака- ленный	320	220	8	20	—	140	460	140	65	210
МА8	Пруток до Ø130 мм	Горяче- прессованный	260	150	7	—	—	—	—	—	—	—	—
	Полоса 5 мм		—	160	10	—	—	80	—	—	60	190	—

* На базе $5 \cdot 10^7$ циклов.

Примечание. Направление вырезки образцов во всех случаях — вдоль, в скобках — поперек.

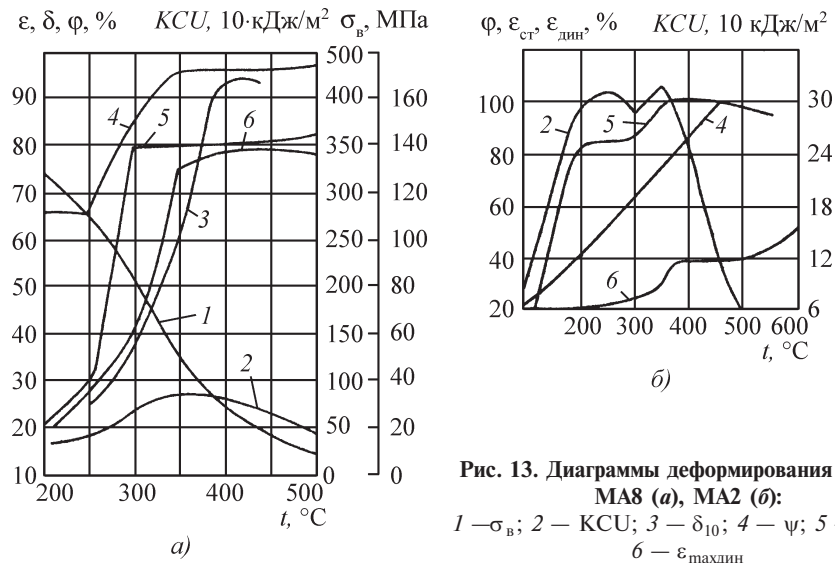


Рис. 13. Диаграммы деформирования сплавов МА8 (а), МА2 (б):
1 — σ_B ; 2 — KCU ; 3 — δ_{10} ; 4 — ψ ; 5 — ϵ_{max} ; 6 — ϵ_{max}

39. Физические свойства магниевых сплавов

Свойства	MA1	MA2	MA2-1	MA5	MA8	MA11
Плотность, г/см ³	1,78	1,78	1,79	1,80	1,78	1,80
Температура, °C:						
ликвидус	650	630	625	600	650	645
солидус	645	565	560	430	645	470
Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$, 1/°C, при температуре, °C:						
20...100	23,7	26,0	26,0	26,1	23,7	25,7
100...200	26,1	27,8	—	27,1	26,1	29,3
200...300	32,1	29,5	—	28,5	32,1	30,1
Удельная теплоемкость, кДж/ (кг·°C) при температуре, °C:						
100	1004	1130	1088	1130	1046	—
200	1046	1172	1130	1213	1130	—
300	1130	1213	1213	1255	1213	—
400	1172	1255*	1255*	1297*	—	—
Теплопроводность, Вт/(м·°C), при температуре, °C:						
30	125,6	96,3	96,3	59	134	108,85
200	138,2	104,7	—	—	134	117,2
300	134,0	108,8	—	—	134	117,2
400	134,0	113,0	—	—	—	117,2

* При 350 °C.

Примечание. Скрытая теплота плавления для всех сплавов — 293,3 кДж/кг.

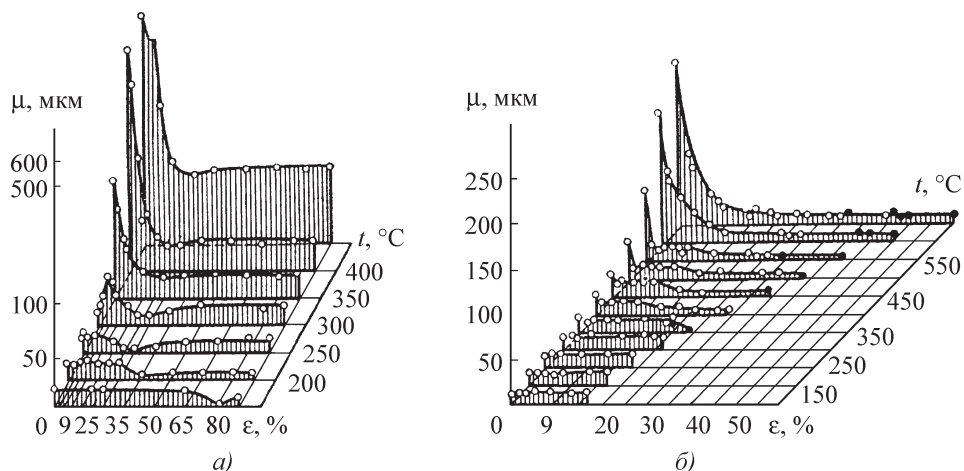


Рис. 14. Диаграммы рекристаллизации магния; осадка на гидравлическом прессе (а), на копре (б):
○ — боек массой 35 кг; ● — боек массой 50 кг

сплавы применяют для изготовления деталей сложной конфигурации, не испытывающих больших нагрузок.

Вторая группа — сплавы средней прочности (временное сопротивление 600...1000 МПа): среднелегированные титановые сплавы ОТ4, ВТ6, а также сплавы ВТ5-1 и ВТ5. Эти сплавы обладают удовлетворительной технологичностью; их применяют без термической обработки. Сплав ОТ4 нашел наибольшее применение для изготовления поковок и штампованных заготовок.

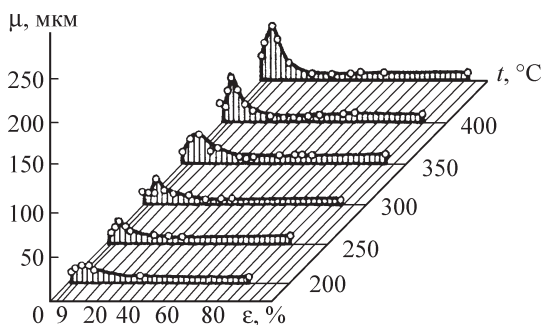


Рис. 15. Диаграммы рекристаллизации сплава МА2, осадка на гидравлическом прессе

Третья группа — высокопрочные сплавы (временное сопротивление

40. Механические свойства магниевых сплавов

Сплав	Полуфабрикат	Состояние	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
			Не менее		
МА1	Листы толщиной, мм:	Отожженные 30 мин при 320...350 °С			
	0,8...2,5		190	110	5,0
	2,6...10,0		170	90	3,0
	Прутки \varnothing до 130 мм	Горячепрессованные	180	90	2,0
	Профили	—	260	—	4,0
	Поковки и штампованные заготовки	Без термообработки	180	—	2,0

Окончание табл. 40

Сплав	Полуфабрикат	Состояние	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
			Не менее		
МА8	Листы толщиной, мм: 0,8...2,5	Отожженные 30 мин при 320...350 °С	230	170	18,0
	2,6...10,0		220	110	10,0
	1,0...2,5		250	160	8,0
	2,6...5,0	Полунагартованные, отожженные 30 мин при 260...290 °С	240	140	6,0
	Прутки \varnothing до 130 мм	Горячепрессованные	220	—	4,0
МА9	Прутки	Горячепрессованные	260	240	5,0
	Листы толщиной до 2 мм		260	200	16,0
МА19	Прутки	Горячепрессованные	343	—	5,0
МА2	Прутки \varnothing до 130 мм	Горячепрессованные	260	—	5,0
	Поковки и штампован- ные заготовки	Без термообработки	240	—	5,0
МА2-1	Листы толщиной 0,8...3,0 мм	Отожженные 30 мин при 250...300 °С	260	160	10,0
	Плиты толщиной 12...30 мм	Горячекатаные	250	140	6,0
МА5	Прутки прессованные	Закаленные	300	—	8,0
	Поковки и штампован- ные заготовки		270	—	6,0
МА11	Листы толщиной, мм:				
	0,8...3,0	Отожженные 30 мин при 250 °С	240	160	5,0
	0,8...3,0	Закаленные и искусст- венно состаренные	250	120	7,0
ВМ17	Прутки	Прессованные	260	—	22

41. Механические свойства проволоки для холодной высадки из латуни Л63

Проволока	Диаметр, мм	σ_B , МПа	δ , %
Мягкая	0,8...1,0	340	26
	>1,0...4,8	340	30
	>4,8...11,5	310	34
Полутвердая	0,8...11,5	360	18
Твердая	0,8...10	690...880	—
	1,2...4,8	540...880	—
	4,8...11,5	540...740	—

42. Химический состав деформируемых латуней
(ГОСТ 527–70)

Сплав	Массовая доля, %		Массовая доля примесей, %						
	Cu	Al, Si, Sn, Pb, Mn, Fe, Ni	Pb	Fe	Sb	Bi	P	Sn, As	Всего
Простые (двойные)									
Л96	95...97	—	0,03	0,10	0,005	0,002	0,01	—	0,20
Л90	88...91	—	0,03	0,10	0,005	0,002	0,01	—	0,20
Л85	84...86	—	0,03	0,10	0,005	0,002	0,01	—	0,30
Л80	79...81	—	0,03	0,10	0,005	0,002	0,01	—	0,30
Л70	69...72	—	—	0,07	0,002	0,002	0,005	0,005 As	0,20
Л68	67...70	—	—	0,10	0,005	0,002	0,01	0,005 As	0,30
Л63	62...65	—	0,2	0,07	—	0,002	0,01	—	0,50
Л60	59...60	—	0,3	0,2	—	0,003	0,01	—	1,0
Многокомпонентные (специальные)									
Алюминиевые									
ЛА77-2	76...79	1,70...2,50 Al	0,07	0,07	0,005	0,002	0,01	—	—
ЛАЖ60-1-1	58...61	0,70...1,50 Al	—	0,75	0,1...0,6 Mn	—	—	—	—
ЛАН59-3-2	57...60	2,5...3,5 Al 2,0...3,0 Ni	0,10	0,50	0,005	0,003	0,01	—	0,9
ЛЖМп59-1-1	57...60	0,6...1,2 Fe 0,5...0,8 Mn 0,1...0,4 Al 0,3...0,7 Sn	0,2	—	0,01	\$0,003	0,01	—	0,25
Кремниевые									
ЛК80-3	79...81	2,5...4,0 Si	0,1	0,6	0,05	0,003	0,02	0,2 Sn	1,5
Марганцевые									
ЛМп58-2	57...60	0,5 Fe 1,0...2,0 Mn	0,1	0,5e	0,005	0,002	0,01	—	1,2
ЛМпА57-3-1	55...58,5	2,5...3,5 Mn 0,5...1,5 Al	0,2	1,0	0,005	0,002	0,01	—	1,3

Окончание табл. 42

Сплав	Массовая доля, %		Массовая доля примесей, %						
	Cu	Al, Si, Sn, Pb, Mn, Fe, Ni	Pb	Fe	Sb	Bi	P	Sn, As	Всего
ЛН65-5	64...67	5...6,5 Ni	0,03	Никелевые 0,15	0,005	0,002	0,01	—	0,3
ЛО90-1	88...91	0,25...0,75 Sn	0,03	Оловянные 0,10	0,005	0,002	0,01	—	0,2
ЛО70-1	69...71	1,0...1,5 Al	0,07	0,07	0,005	0,002	0,01	—	0,3
ЛО62-1	61...63	0,7...1,1 Al	0,10	0,10	0,005	0,002	0,01	—	0,3
ЛО60-1	59...61	1,0...1,5 Al	0,3	0,10	0,005	0,002	0,01	0,2 Sn	1,0
ЛС74-3	72...75	2,4...3,0 Pb	—	Свинцовые 0,10	0,005	0,002	0,01	—	0,25
ЛС64-2	63...66	1,5...2,0 Pb	—	0,10	0,005	0,002	0,01	—	0,30
ЛС63-3	62...65	2,4...3,0 Pb 0,10 Sn	—	0,10	0,005	0,002	0,01	—	0,25
ЛС60-1	59...61	0,6...1,0 Pb	—	0,15	0,005	0,002	0,01	—	0,50
ЛС59-1	57...60	0,8...1,9 Pb	—	0,5	0,010	0,003	0,02	—	0,75

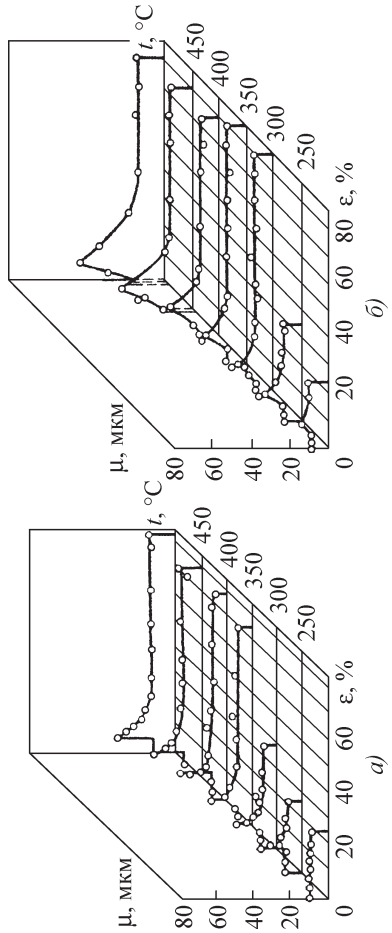


Рис. 16. Диаграммы рекристаллизации сплава МА8, осадка на гидравлическом прессе (а), на копре (б)

Рис. 17. Диаграммы пластичности и прочности сплава МА8 в горячштампованном состоянии

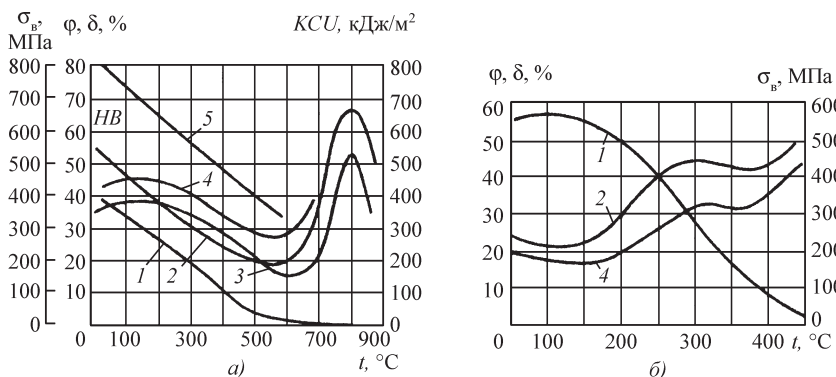
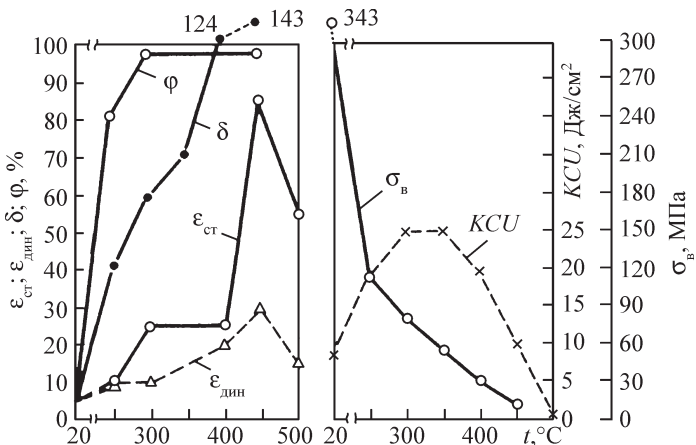


Рис. 18. Диаграммы деформирования латуней Л96 (а), Л90 (б):
1 — σ_b ; 2 — ψ ; 3 — KCU ; 4 — δ ; 5 — HB

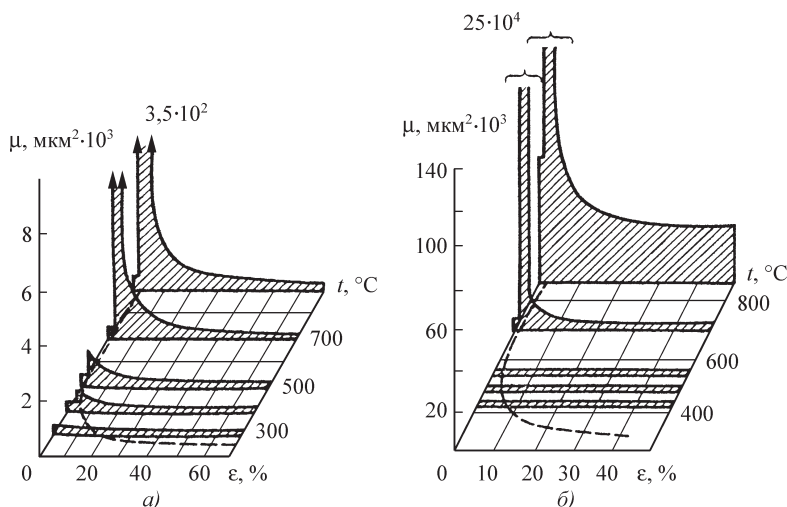


Рис. 19. Диаграммы рекристаллизации:
электролитической меди (а), латуни Л68 (б)

43. Химический состав бронз (ГОСТ 18175–78)

Сплав	Массовая доля*, %			
	Al, Be, Si	Fe	Mn	Ni
Алюминиевые				
БрА5	4...6 Al	—	—	—
БрА7	6...8 Al	—	—	—
БрАЖ9-4	8...10 Al	2,0...4,0	—	—
БрАЖМц10-3-1,5	9...11 Al	2...4	1...2	—
БрАЖН10-4-4	9,5...11 Al	3,5...5,5	—	3,5...5,5
БрАМц9-2	8...10 Al	—	1,5...2,5	—
Бериллиевые				
БрБ2	1,8...2,1 Be	—	—	0,2...0,5
Кремниевые				
БрКМц3-1	2,7...3,5 Si	—	1,0...1,4	—
БрКН1-3	0,6...1,1 Si	—	0,1...0,4	2,4...3,4
Марганцевые				
БрМц5	—	—	4,5...5,5	—

Сплав	Массовая доля примесей, %										
	Sb	Sn	Si	Ni	Pb	P	Fe	Zn	Mn	Al	Всего
Алюминиевые											
БрА5	—	0,1	0,1	—	0,03	0,01	0,5	0,5	0,5	—	1,1
БрА7	—	0,1	0,1	—	0,03	0,01	0,5	0,5	0,5	—	1,1
БрАЖ9-4	—	0,1	0,1	—	0,01	0,01	—	1,0	0,5	—	1,7
БрАЖМц10-3-1,5	0,002	0,1	0,1	—	0,03	0,01	—	0,5	—	—	0,70
БрАЖН10-4-4	—	0,1	0,1	—	0,02	0,01	—	0,3	0,3	—	0,60
БрАМц9-2	—	0,1	0,1	—	0,03	0,01	0,5	1,0	—	—	1,50
Бериллиевые											
БрБ2	—	—	0,15	—	0,005	—	0,15	—	—	—	0,5
Кремниевые											
БрКМц3-1	0,002	0,25	—	0,2	0,03	—	0,3	0,5	—	—	1,0
БрКН1-3	—	0,1	—	—	0,15	—	0,1	0,1	—	0,02	0,4
Марганцевые											
БрМц5	0,002	0,1	0,1	—	0,03	0,01	0,35	0,4	—	—	0,9

* Остальное медь.

44. Физические свойства латуней

Сплав	Плотность, г/см ³	Теплопроводность λ, Вт/(м·°C)	Коэффициент линейного расширения α·10 ⁶ , °C ⁻¹ при		Удельная теплоемкость, кДж/(кг·°C)	Удельное электрическое сопротивление ρ·10 ⁸ , Ом·м	Температурный коэффициент сопротивления, °C ⁻¹
			20...300 °C	20 °C			
Простые (двойные)							
Л96	8,85	240	18	17	389	4,3	0,0027
Л90	8,73	—	18,2	—	377	4,0	0,0019
Л85	8,75	—	18,7	—	—	4,7	0,0016
Л80	8,66	110	—	18,8	389	5,4	0,0015
Л68	8,60	71	19	—	389	7,1	0,0015
Л63	8,46	—	—	19	—	7,0	0,0014
Л60	8,51	—	—	21	—	7,1	0,0016
Многокомпонентные (специальные)							
Алюминиевые							
ЛА77-2	8,60	105	18,3	18,3	—	7,5	—
ЛАЖ60-1-1	8,20	96	—	21,6	—	9,0	—
ЛАН59-3-2	8,40	84	—	19	—	7,8	—
ЛЖМц59-1-1	8,50	84	—	22	—	9,3	—
Кремниевые							
ЛК80-3	8,60	42	17	—	—	20,0	—
Марганцевые							
ЛМц58-2	8,50	70	—	21,2	—	11,8	—
ЛМцА57-3-1	8,54	67	—	21,4	—	11,9	—
Никелевые							
ЛН65-5	8,65	59	—	18,2	—	14,3	—
Оловянные							
ЛО90-1	8,80	126	18,4	—	—	05,4	—
ЛО70-1	8,58	117	19,7	—	—	07,2	—
ЛО62-1	8,54	109	—	—	—	07,2	—
ЛО60-1	8,45	100	21,4	—	—	07,0	—
Свинцовые							
ЛС74-3	8,7	121	19,8	17,5	—	07,8	—
ЛС64-2	—	117	—	20,3	—	06,6	—
ЛС60-1	8,5	105	20,8	—	—	06,4	—
ЛС59-1	—	105	—	20,6	—	06,5	0,0026

45. Физические свойства бронз

Сплав	Плотность, г/см ³	Теплопроводность λ, Вт/ (м·°C)	Коэффициент линейного расширения α·10 ⁶ , °C ⁻¹ при		Удельное электрическое сопротивление ρ·10 ⁸ , Ом·м
			25...300 °C	20 °C	
Алюминиевые					
БрА5	8,2	83	—	18,2	9,95
БрА7	7,8	79,7	17,8	—	—
БрАЖ9-4	7,5	75	16,2	—	12,0
БрАЖМц10-3-1,5	—	59	—	16	18,9
БрАЖН10-4-4	—	42	—	17,1	19,3
БрАМц9-2	7,6	71,3	17	—	11,0
Бериллиевые					
БрБ2* ; БрБ2,5*	8,23	75...100	16,6	—	10,0
Кремниевые					
БрКМц3-1	8,40	42	—	15,8	15,0
БрКН1-3	8,6	104	—	18	4,6
Марганцевые					
БрМц5	8,6	79,3	20,4	—	19,7

46. Механические свойства латуней

Сплав	σ _в	σ _{0,2}	E	δ	ψ	НВ
	МПа			%		
Простые (двойные)						
Л96	400	390	114000	2	—	—
Л90	600	300	91500	4	60	130
Л85	525	504	105000	—	—	120...130
Л80	560	360	153500	10	40	145
Л70	520	—	—	21	58	—
Л68	520	—	115000	12	52	150
Л63	680	480	100000	3...4	—	140
Л60	500	200	106000	10	40	163
Многокомпонентные (специальные)						
Алюминиевые						
ЛА77-2	580	—	—	10	—	50
ЛАЖ60-1-1	760	—	105000	9	30	170
ЛАН59-3-2	700	—	100000	10	20	182
ЛЖМц59-1-1	600	—	106000	—	15	160

Окончание табл. 46

Сплав	$\sigma_{\text{в}}$	$\sigma_{0,2}$	E	δ	ψ	НВ
	МПа					
Кремниевые						
ЛК80-3	300...500	105	98000	15...40	—	90...110
Марганцевые						
ЛМц58-2	600	—	100000	10	—	120
ЛМцА57-3-1	—	—	—	—	—	—
Никелевые						
ЛН65-5	800	—	112000	1,5	—	—
Оловянные						
ЛО90-1	280	90	105000	40	55	55
ЛО70-1	580	—	106000	10	28	142
ЛО62-1	440	380	105000	25	—	146
ЛО60-1	560	420	—	—	—	—
Свинцовые						
ЛС74-3	600...700	520...610	—	2...5	—	—
ЛС64-2	580...670	450...500	—	4...6	—	100...120
ЛС60-1	650	560	—	5	—	—

47. Механические свойства бронз

Сплав	$\sigma_{\text{в}}$	$\sigma_{0,2}$	E	δ	ψ	НВ
	МПа			%		
Алюминиевые						
БрА5	800	500	110000	4	—	200
БрА7	1000	—	115000	3...10	40	154
БрАЖ9-4	550	350	116000	5	—	160...200
БрАЖМц10-3-1,5	600	190	100000	20	—	120...140
БрАЖН10-4-4	770	—	130000	9	11	225
БрАМц9-2	600	500	92000	25	—	160
Бериллиевые						
БрБ2	950	850...900	117000	1...2	—	350...400
Кремниевые						
БрКМц3-1	900	540	120000	0,5	—	—
Марганцевые						
БрМц5	600	500	105000	2	—	160

1000 МПа) ВТ14, ВТ16 и ВТ20; их применяют в термически обработанном состоянии.

Четвертая группа — жаропрочные сплавы ВТ3-1, ВТ9, ВТ18, ВТ18У. Более высокой жаропрочностью обладает сплав ВТ18У, который отличается более высокой прочностью и термической стабильностью (при t до 600 °С).

Химический состав и физико-механические свойства титановых сплавов приведены в табл. 48–50, диаграммы деформирования некоторых титановых сплавов — на рис. 21, диаграммы рекристаллизации — на рис. 22–24. Диаграммы влияния наклепа на механические свойства сплава ВТ6 показаны на рис. 25.

48. Химический состав титановых сплавов

Сплав	Массовая доля, %					Si	Fe
	Al	Mn, Sn, Mo	V, Cr				
ОТ4-0	0,2...1,4	0,2...1,3 Mn	—	—	—		
ОТ4-1	1,0...2,5	0,7...2,0 Mn	—	—	—		
ОТ4	3,5...5,0	0,8...2,0 Mn	—	—	—		
ВТ5-1	4,3...6,0	2,0...3,0 Sn	—	—	—		
ВТ5	4,3...6,2	—	—	—	—		
ВТ6	5,3...6,8	—	3,5...5,0 V	—	—		
ВТ3-1	5,5...7,0	2,0...3,0 Mo	0,8...2,3 Cr	0,15...0,40	0,2...0,7 Fe		
ВТ9	5,8...7,0	2,8...3,8 Mo	0,8...2,0 Cr	0,20...0,35	—		
ВТ14	3,5...6,3	2,5...3,8 Mo	0,9...1,9 V	—	—		
ВТ16	1,8...3,8	4,5...5,5 Mo	4,0...5,5 V	—	—		
ВТ20	5,5...7,5	0,5...2,0 Mo	1,5...2,5 V	—	—		

Сплав	Массовая доля, %							
	C	Fe	Si	Zr	O	N	H	Прочие
ОТ4-0	0,05	0,20	0,08	—	0,10	0,04	0,008	0,10
ОТ4-1	0,10	0,30	0,15	0,30	0,15	0,05	0,012	0,30
ОТ4	0,10	0,30	0,15	0,30	0,15	0,05	0,012	0,30
ВТ5-1	0,10	0,30	0,15	0,30	0,15	0,05	0,015	0,30
ВТ5	0,10	0,30	0,15	0,30	0,20	0,05	0,015	0,30
ВТ6	0,10	0,30	0,15	0,30	0,20	0,05	0,015	0,30
ВТ3-1	0,10	—	—	0,50	0,18	0,05	0,015	0,30
ВТ9	0,10	0,25	—	—	0,15	0,05	0,015	0,30
ВТ14	0,10	—	—	0,30	—	—	—	—
ВТ16	0,10	0,25	0,15	0,30	0,15	0,05	0,015	0,30
ВТ20	0,10	0,30	0,15	—	0,15	0,05	0,015	0,30

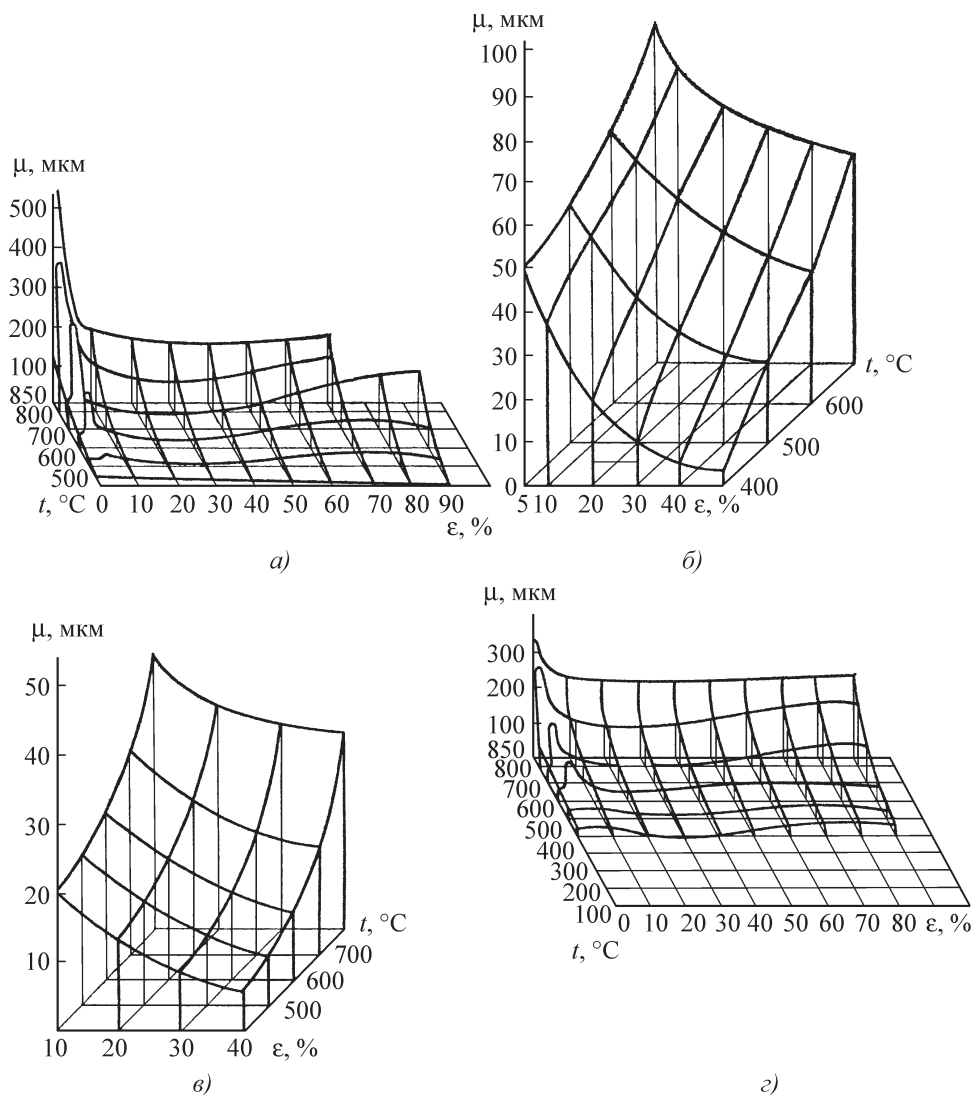


Рис. 20. Диаграммы рекристаллизации латуней:
Л70 (а), ЛО70-1 (б), Л59 (в), Л85 (г)

49. Физические свойства титановых сплавов

Сплав	Плотность, г/см^3	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6, ^{\circ}\text{C}^{-1}$	Теплопроводность, $\text{Вт/(м} \cdot ^{\circ}\text{C)}$	Удельное электрическое сопротивление $\rho \cdot 10^8, \text{Ом} \cdot \text{м}$	Удельная теплоемкость, $\text{кДж/(кг} \cdot ^{\circ}\text{C)}$
ОТ4-1	4,55	8,0 (20...100)	9,6 (20)	—	—
		8,6 (100...200)	10,4 (100)	—	—
		9,4 (200...300)	12,1 (300)	—	—
		9,6 (300...400)	13,3 (400)	—	—

Продолжение табл. 49

Сплав	Плотность, г/см ³	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$, °C ⁻¹	Теплопроводность, Вт/(м·°C)	Удельное электрическое сопротивление $\rho \cdot 10^8$, Ом·м	Удельная теплоемкость, кДж/(кг·°C)
ОТ4-1	4,55	9,6 (400...500)	14,6 (500) 12,6 (600)	— —	— —
ОТ4	4,55	8,0 (20...100)	9,6 (20)	—	—
		8,6 (100...200)	—	—	—
		9,1 (200...300)	—	—	—
		9,6 (300...400)	—	—	—
		9,4 (400...500)	—	—	—
		9,8 (500...600)	—	—	—
ВТ5	4,40	8,3 (20...100)	8,8 (25)	108 (20)	544 (100)
		8,9 (100...200)	9,6 (100)	115 (200)	586 (200)
		9,5 (200...300)	10,4 (200)	118 (300)	628 (300)
		10,4 (300...400)	11,3 (300)	12 (500)	669 (400)
		10,6 (400...500)	12,6 (400)	—	712 (500)
		10,8 (500...600)	14,2 (500)	—	753 (600)
			15,5 (600)	—	—
			16,7 (700)	—	—
			18,0 (800)	—	—
			19,6 (900)	—	—
ВТ5-1	4,42	8,3 (20...100)	8,8 (25)	138 (20)	502 (100)
		8,9 (20...200)	9,6 (100)		544 (200)
		9,1 (20...300)	10,9 (200)		565 (300)
		9,3 (20...400)	12,1 (300)		586 (400)
		9,5 (20...500)	13,4 (400)		628 (500)
		9,6 (20...600)	14,6 (500)		669 (600)
		9,8 (20...700)	15,9 (600)		712 (700)
		10,1 (20...800)	17,2 (700)		795 (800)
		10,5 (20...900)	18,4 (800)		—
ВТ3-1	4,50	8,6 (20...100)	7,9 (25)	136 (20)	461 (100)
		11,6 (400...500)	8,4 (100)		502 (200)
			10,0 (200)		544 (300)
			11,3 (300)		628 (400)
			15,5 (600)		669 (500)
			16,7 (700)		795 (600)
ВТ9	4,51	8,3 (20...100)	7,5 (25)		544 (100)
		8,93 (20...200)	8,4 (100)		—

Окончание табл. 49

Сплав	Плотность, г/см ³	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$, °C ⁻¹	Теплопроводность, Вт/(м·°C)	Удельное электрическое сопротивление $\rho \cdot 10^8$, Ом·м	Удельная теплоемкость, кДж/(кг·°C)
ВТ9	4,51	9,13 (20...300)	9,6 (200)	161 (20)	—
		9,28 (20...400)	10,9 (300)		—
		9,5 (20...500)	12,1 (400)		—
		9,6 (20...600)	13,8 (500)		—
			15,0 (600)		—
			16,3 (700)		—
			18,0 (800)		—
ВТ6	4,43		19,7 (900)		—
		8,41 (20...100)	8,4 (25)	160 (20)	544 (100)
		8,96 (100...200)	9,2 (100)	182 (200)	586 (200)
		10,1 (200...300)	10,5 (200)	202 (400)	669 (300)
		10,12 (300...400)	11,3 (300)	212 (600)	712 (400)
			12,6 (400)	214 (700)	795 (500)
			13,8 (500)	214 (800)	837 (600)
ВТ14	4,52		15,5 (600)	—	—
			16,8 (700)	—	—
		8 (20...100)	8,3 (25)	—	502 (100)
		8,2 (20...200)	9,2 (100)	—	544 (200)
		8,5 (20...300)	10,5 (200)	—	586 (300)
		8,8 (20...400)	11,7 (300)	—	628 (400)
		8,9 (20...500)	13,0 (400)	—	669 (500)
		8,7 (20...600)	13,8 (500)	—	712 (600)
		8,8 (20...700)	15,5 (600)	—	837 (700)
		9,1 (20...800)	16,7 (700)	—	005 (800)
ВТ20	4,45	8,6 (20...900)	18,4 (800)	—	—
			20,1 (900)	—	—
		8 (20...100)	8,8 (100)	163	544 (100)
		8,2 (20...200)	10,0 (200)		586 (200)
		8,5 (20...300)	10,9 (300)		628 (300)
		8,8 (20...400)	12,1 (400)		669 (400)
		8,9 (20...500)	13,8 (500)		712 (500)
		8,7 (20...600)	15,0 (600)		753 (600)
		8,8 (20...700)	16,7 (700)		837 (700)
		9,1 (20...800)	18,0 (800)		879 (800)
		8,6 (20...900)	19,7 (900)		921 (900)

Примечание. В скобках указана температура испытания, °C.

50. Механические свойства поковок и штампованных заготовок из титановых сплавов при нормальной температуре

Полуфабрикат	Сплав	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	KCU, кДж/м ²
Поковки, штампованные заготовки и прутки кованые диаметром до 100 мм, отожженные	BT1-0	450...600	—	45,0	7000
	OT4-0	600...750	15	35,0	4500
	OT4	700...900	10	30,0	3500
	BT4	850...1050		25,0	3000
	BT5	750...950			4000
	BT5-1	800...1000		30,0	3000
	BT6	950...1100		35,0	5000
	BT14	900			
Диски и кольца, штампованные и кованые, отожженные	BT14	850	8	25,0	4000

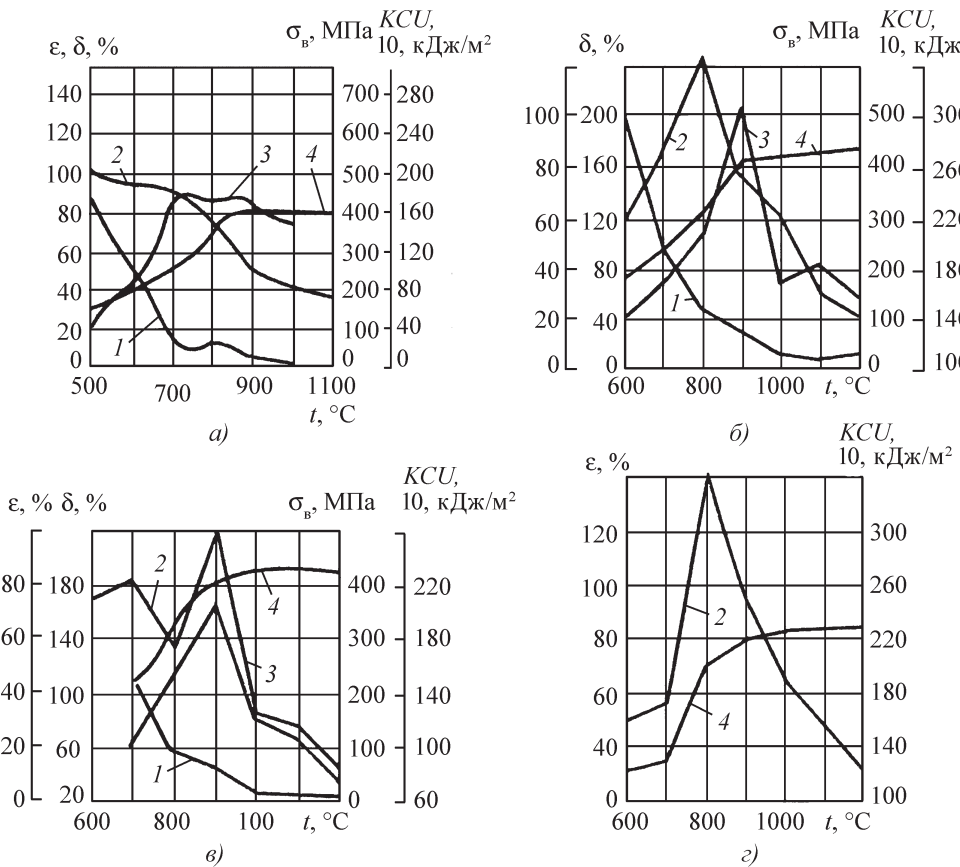


Рис. 21. Диаграммы деформирования титановых сплавов: OT4 (а); BT3-1 (б); BT5-1 (в); BT6 (г); BT8 (д); BT9 (е); BT18 (ж): 1 — σ_B ; 2 — KCU; 3 — δ ; 4 — ϵ

Продолжение табл. 50

Полуфабрикат	Сплав	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	KCU, кДж/м ²
Прутки прессованные диаметром до 100 мм, отожженные	BT14	900	10	35,0	5000
Прутки прессованные диаметром до 100 мм, закаленные и состаренные	BT14	1100	4	8	2000
Прутки и поковки диаметром 100 мм, закаленные	BT15	900	12	—	4000
Прутки и поковки закаленные и состаренные	BT15	1350	4	—	—
Прутки диаметром 10...20 мм, отожженные	BT16	900...1000	12	40,0	—
Прутки диаметром 10...100 мм, закаленные и состаренные	BT16	1050...1250	5	20,0	—
Штампованные заготовки, поковки и кованые прутки диаметром до 100 мм после изотермического отжига при 870...650°C, охлаждаемые на воздухе	OT4-2	950...1000	8	25,0	3000
	BT3-1	1000	10	25,0	

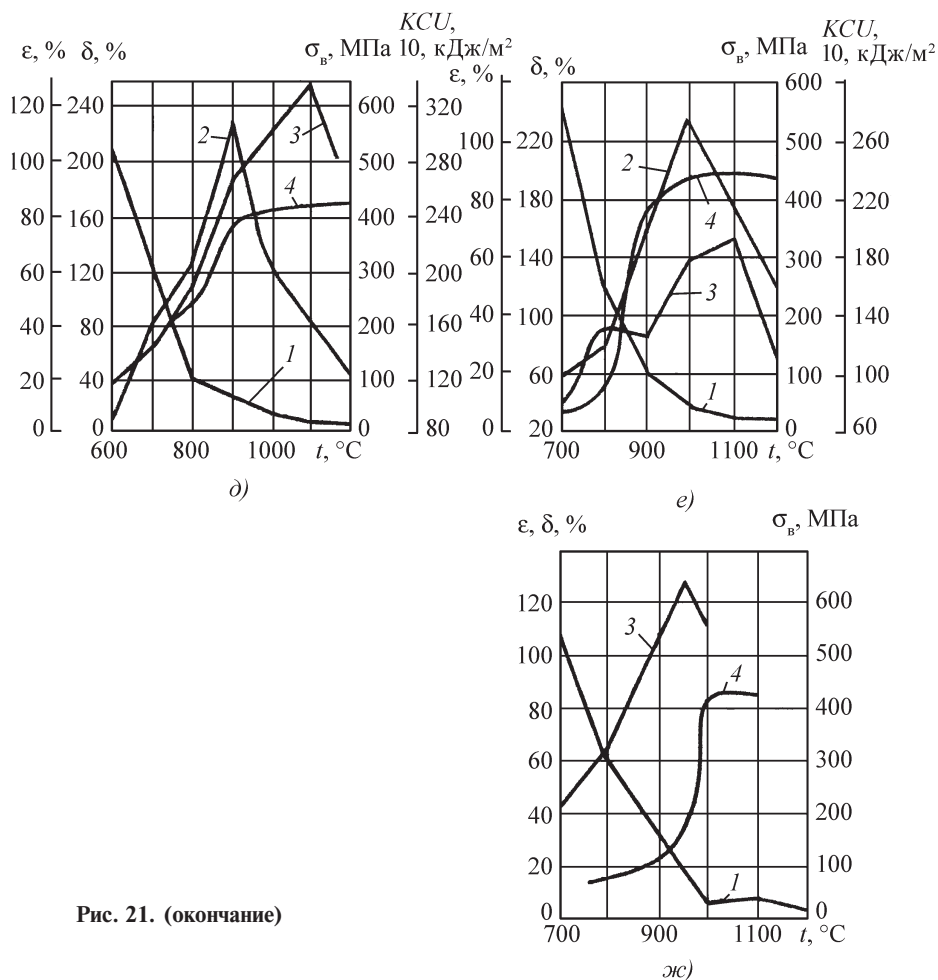


Рис. 21. (окончание)

Окончание табл. 50

Полуфабрикат	Сплав	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, кДж/м ²
Прутки кованные диаметром более 100 мм после изотермического отжига при 870...650 °С, охлаждаемые на воздухе	BT3-1	900	8	20,0	3000
Диски и кольца	BT3-1	900	8	20,0	3000
	BT3-1	1000	10	30,0	3000
Поковки, штампованные заготовки, прутки кованные, отожженные	BT8	1050	9	30,0	3000
Заготовки для изготовления лопаток отожженные	BT8	1050	9	30,0	3000
Прутки, полосы, поковки, штампованные заготовки, отожженные	BT9	1050	9	25,0	3000
Прутки, полосы, поковки, штампованные заготовки, отожженные	BT18	950	8	20,0	2000
Прутки, поковки, отожженные	BT18У	1100	9	25,0	—

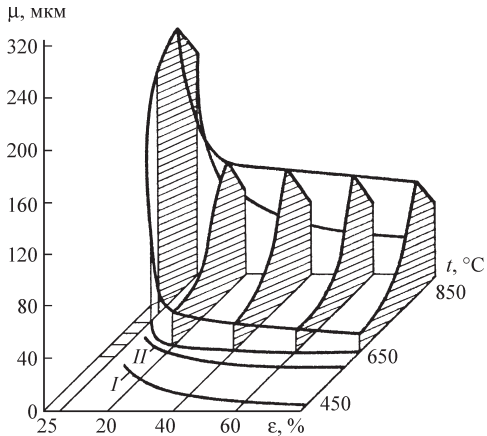


Рис. 22. Диаграммы рекристаллизации титана:
I — начало; II — окончание

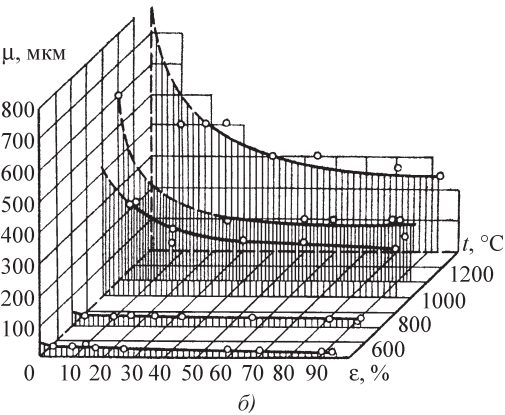
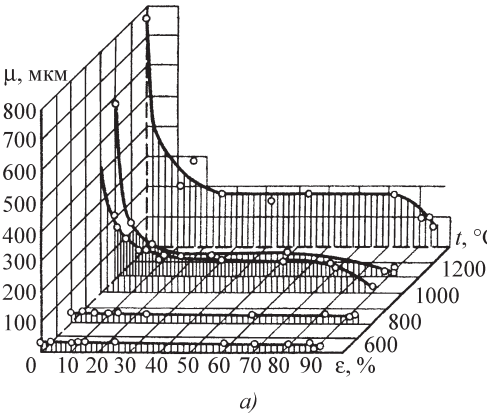
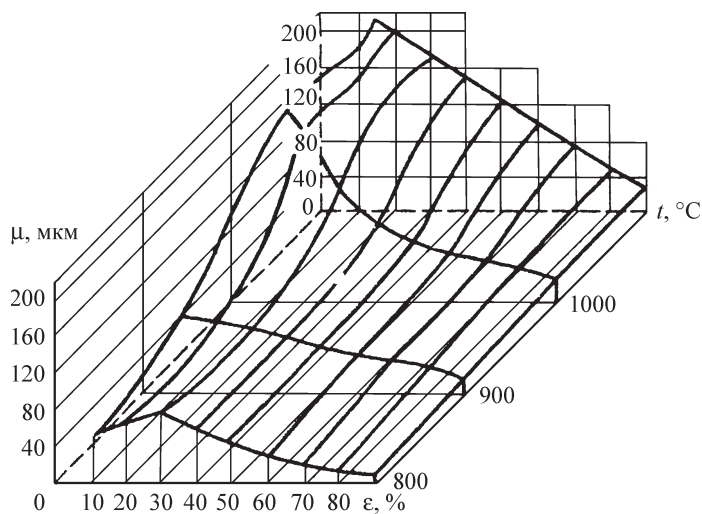
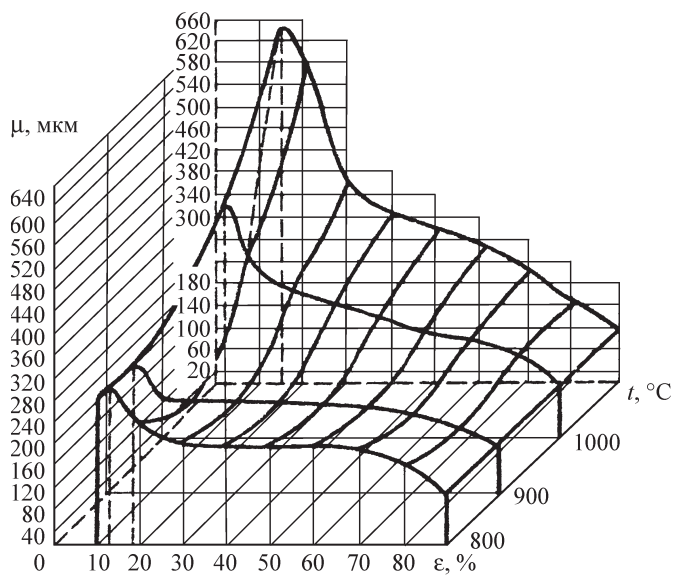


Рис. 23. Диаграммы рекристаллизации сплава BT10:
а — послековки; б — послековки и отжига



а)



б)

Рис. 24. Диаграммы рекристаллизации сплава ВТ3-1:

а — после осадки; б — после осадки с последующим нагревом до 1050 °С в течение 1,5 ч

3. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОРОШКИ ДЛЯ ПРЕССОВАНИЯ

Порошковая технология представляет собой процесс изготовления материалов и изделий из порошков. Эта

технология включает следующие основные операции: изготовление порошков, получение порошковых шихт смешиванием порошка-основы с другими добавками, формование порошковых шихт, спекание заготовок, до-

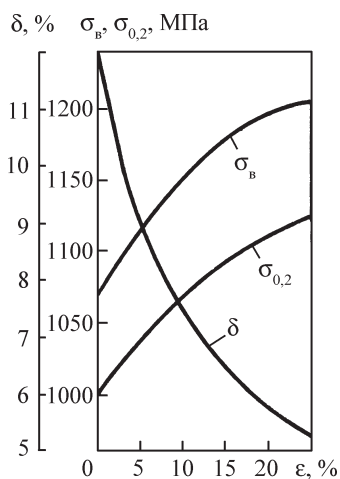


Рис. 25. Влияние наклепа на механические свойства сплава ВТ6

полнительную обработку спеченных заготовок.

Преимуществами порошковой технологии являются высокий коэффициент использования материала, сокращение операций по изготовлению изделия по сравнению с другими технологиями, возможность изменения свойств порошкового материала благодаря изменению состава шихт и условий компактирования, однородность материала и отсутствие в нем дефектов, например, металлургического происхождения. Недостатками технологии являются ограничения по массе и форме изделий, а также остаточная пористость материала. Использование горячего компактирования вместо холодного формования порошков дает возможность увеличить массу изделий и уменьшить пористость. Горячее компактирование обходится дороже: необходимо специальное оборудование и защита порошка от окисления. В основном горячее компактирование осуществляют в вакуумированных оболочках, используя горячее изостатическое прессование, экструдирование, прокатку. Для достижения максимальной плотности и, соответственно, высокой прочности и надежности изделий спеченные заготовки, сохранившие остаточную пористость, куют в штампах (пример — шатуны автомобильных двигателей). Применяют также горячее формование порошков в особых прессформах, где порошок защищен от окисления потоком нейтрального газа.

К основным материалам, используемым при производстве порошковых деталей, относятся порошки металлов и сплавов, к вспомогательным — смазывающие вещества, которые должны обеспечить хорошую уплотняемость порошковой смеси, часто называемой шихтой. В качестве

смазочного материала для порошковых смесей на основе железа обычно применяют стеариновокислый смешанной цинк ($C_{36}H_{70}O_4Zn$) [1], также называемый стеаратом цинка. Свойства основных материалов зависят от их химического состава и способа получения.

Большинство изготавливаемых в мире порошковых деталей относится к материалам на железной основе. Железные порошки (ГОСТ 9849–86) выпускают металлургические комбинаты.

Основными технологическими свойствами порошков являются гранулометрический и химический составы порошка, насыпная плотность, текучесть и прессуемость. Методики оценки свойств стандартизированы.

Независимо от способа производства порошок содержит частицы разных размеров. Гранулометрический состав характеризует форму частиц порошка и его фракционный состав, т.е. долю каждой фракции, содержащей частицы определенных размеров. Большинство перерабатываемых порошков содержит частицы от 630 до менее 50 мкм.

По химическому составу металлические порошки разделяют на элементарные; частично легированные; полностью легированные. Элементарные порошки хорошо формуруются, при смешивании этих порошков легко получить шихту требуемого химического состава. Однако однородность порошкового материала в микромасштабе при спекании обеспечить трудно из-за медленной диффузии. Спекание при высоких температурах около 1300... 1350 °C слишком дорого для широкого применения. Полностью легированные (гомогенолегированные) порошки имеют тот же химический состав, который должен иметь порошковый материал. При переработке таких порошков

основную трудность представляет пониженная формуемость.

Частично легированные порошки занимают промежуточное положение между элементарными и полностью легированными порошками. Они сравнительно легко формуются, при спекании достигается однородность химического состава. Содержание вредных примесей в порошках снижает качество порошковых материалов. Наиболее вредной примесью является кислород, его содержание не должно превышать 0,2 %.

Насыпную плотность обозначают числом, которое получают, умножая на 10 фактически измеренную насыпную плотность порошка: 22 соответствует ее значениям св. 2,1 до 2,3 г/см³; 24 — св. 2,3 до 2,5 г/см³; 26 — св. 2,5 до 2,7 г/см³; 28 — св. 2,7 до 2,9 г/см³; 30 — св. 2,9 г/см³.

Текучесть порошков характеризуют временем (с), за которое 50 г порошка протекает через калиброванное отверстие. Чем больше насыпная плотность, тем быстрее протекает порошок.

Прессуемость характеризуют прочностью на изгиб сырой заготовки, полученной под давлением 700 МПа, или же плотностью этой заготовки.

Уплотняемость металлического порошка — его способность уменьшить занимаемый объем под воздействием давления. Эта характеристика оценивается по плотности образцов, изготовленных в цилиндрической матрице при давлениях 400, 500, 600, 700 и 800 МПа. Отметим недостаток этого технологического свойства, поскольку рассматривается только способность уменьшать объем под действием давления осевого сжатия, т.е. предполагается, что частицы порошка уплотняются без изменения первоначальной их формы только вследствие уменьшения пустот между ними. В то же время

специалисты по обработке металлов давлением имеют возможность создавать такие схемы деформирования засыпанной в матрицу порции порошка, при которых все частицы принимают лепешкообразную или нитеобразную форму для порошков с различными исходными формами частиц.

Обычно применяют следующие способы получения металлических порошков: механическое измельчение твердых металлов, распыление жидких металлов, восстановление оксидов металлов.

Для механического измельчения металлов применяют вихревые мельницы, в которых вращаются била с частотой примерно 3000 мин⁻¹. В мельницы засыпают отрезки проволоки, имеющие форму цилиндра, у которого длина незначительно превышает его диаметр. Дробление производится ударами вращающихся бил, отчасти — отбрасыванием кусков подвергаемого дроблению материала на ударные плиты и раздавливанием, а также истиранием на колосниковой решетке.

Другой высокопроизводительный и эффективный метод получения железных порошков — это диспергирование расплавов распылением. За рубежом основными являются RZ-процесс (распыление жидкого синтетического чугуна воздухом), WP-процесс (распыление стального расплава водой высокого давления) и Домар-процесс (распыление жидкого чугуна водой высокого давления).

При получении порошков железа методами восстановления сырьем служат оксиды железа или его хлористое соединение FeCl₂. Химически чистые оксиды железа применяют редко, так как в этом случае железный порошок очень дорог. Одним из распространенных и эффективных способов является восстановление окалина или богатой окисленной железной руды твердым углеродом.

Обозначение железного порошка включает указание на способ его получения, например, «В» — восстановленный, марку по химическому составу, например 2 или 4, предельную крупность частиц в микрометрах, например 160, и насыпную плотность, например $2,4 \text{ г/см}^3$, обозначение такого порошка — ПЖВ.160.24. Если марка ПЖР — это железный порошок, полученный распылением. Последующие числа в марке — аналогично восстановленным порошкам.

Подготовка шихты перед формованием [3] ставит своей задачей получение порошков с определенным химическим составом и физическими свойствами. Для разделения порошков на фракции (по размеру частиц) крупнее 50 мкм применяют просеивание через шелковые или металлические сита; для выделения более тонких фракций используют воздушную сепарацию.

Металлические сита изготавливают из сеток, сплетенных из латунной или бронзовой проволоки. Ситовые полотна различаются по размеру отверстий и толщине проволочек, из которых они выполнены.

Сита могут быть подвесными или смонтированными на металлической раме. В зависимости от способа сообщения вибраций различают инерционные, ударные, качающиеся и электромагнитные сита. Сита с помощью шлангов или сильфонов простыми и надежными уплотнителями могут быть соединены с приемными устройствами. Это позволяет полностью герметизировать процесс просева или использовать в случае необходимости просев под давлением, в вакууме, в среде защитных газов.

Измельчение стеарата цинка, применяемого в качестве смазочного материала, осуществляется на протирачном сите, в котором порошок через сито продвигается протиром.

Далее следует перемешивание порошков, которое осуществляется преимущественно в смесителях периодического действия сухим способом. Механическое перемешивание осуществляется в барабанах, конусных смесителях, шнековых, шаровых и вибромашинах, которые заполняют порошками обычно на $1/2 \dots 1/3$ объема. Частота вращения смесителя обычно равна $30 \dots 60 \text{ мин}^{-1}$. Длительность перемешивания — от $10 \dots 15$ мин до $2 \dots 3$ ч.

Поскольку каждый из смесителей периодического действия имеет ограниченный объем, каждая из перемешанных в них порций порошковой шихты немного отличается от других. Поэтому, чтобы на протяжении одной или нескольких рабочих смен шихта была неизменной, применяют усреднение шихты. Для этого порции шихты из смесителей засыпают в усреднитель. В усреднителе шихта движется по бункеру подобно потоку, без перемещения частиц относительно друг друга. Перемешивание осуществляется за счет неравномерности движения частиц по сечению бункера. Если выгружаемый из нижнего отверстия материал снова возвращается в бункер, то после нескольких подобных проходов он может быть достаточно хорошо перемешан. Такой принцип перемешивания используется в пересыпных бункерах усреднителей, которые нашли применение в практике подготовки шихты на основе железных порошков.

Предварительная термическая или механическая (либо та и другая) обработка порошков применяется для изменения их физических характеристик и в ряде случаев сочетается с операциями измельчения, смешения или просеивания. Так, например, применяют обработку в шаровых мельницах для измельчения и одновременно утяжеления (в результате как уплотнения

отдельных частиц, так и их укладки), а также смещения порошков; восстановительный отжиг — для повышения пластичности и улучшения формоустойчивости (в результате восстановления оксидов и снятия наклепа), а также для образования однородных твердых растворов (гомогенизация шихты).

Порошковые конструкционные детали из легированных материалов на железной основе являются основным видом продукции порошковой металлургии. Свойства порошковых сталей, как и сталей, получаемых традиционным металлургическим переделом, определяются составом, технологией получения и структурой. Причем для порошковых сталей структурными факторами являются не только фазовый состав, размер зерна и параметры субструктуры, но и пористость, а также строение межчастичных контактов [4].

Порошковые материалы на железной основе могут быть углеродистыми (в зависимости от содержания углерода — низко-, средне- и высокоуглеродистые) или легированными (низколегированные, легированные или сложнолегированные).

Для обозначения марок порошковых конструкционных материалов на железной основе разработана система, в которой использованы принципы действующей маркировки сталей, производимых традиционными методами. В то же время введены обозначения, характерные для порошковых конструкционных материалов (метод производства изделий и их плотность).

Марку порошкового конструкционного материала характеризуют буквенные индексы и цифры. Первая буква «С» указывает на класс материала (сталь), вторая буква «П» — на метод производства (порошковая). После буквы «П» записывается среднее содержание углерода в сотых долях процента. Как и в случае сталей, произво-

димых традиционными методами, легирующим элементам присвоены символы. Наиболее часто в качестве легирующих элементов в порошковых сталях используются следующие: Г — марганец, Д — медь, М — молибден, Н — никель, К — сера, Ф — фосфор, Х — хром, Гр — графит. Символы легирующих элементов следуют за числом, указывающим среднее содержание углерода. Числа, идущие за символом элементов, указывают примерное содержание данного легирующего элемента. При содержании его менее 1 % число отсутствует. Число после дефиса характеризует группу плотности. Порошковым конструкционным материалам на железной основе присвоены следующие группы плотности: 1 — пористость 25...16 % (плотность 5,9...6,6 г/см³), 2 — пористость 15...10 % (плотность 6,7...7,1 г/см³), 3 — пористость 9...2 % (плотность 7,15...7,70 г/см³), 4 — пористость менее 2 % (плотность более 7,70 г/см³). Буква «А» после числа указывает на повышенное качество материала.

Наиболее распространенным для железных порошков является легирование углеродом, при достаточном содержании которого изделие приобретает способность упрочняться при закалке.

В РФ стандарты распространены на железные и медные порошки, порошки низко- и высоколегированных сталей. Другие металлические порошки производят и поставляют по техническим условиям.

Химический состав железных порошков указан в табл. 51.

К марочному обозначению ПЖВ или ПЖР добавляют числа от 1 до 5. Чем больше число, тем больше углерода содержит данная марка порошка.

Гранулометрический состав порошков приведен в табл. 52.

Порошковые нелегированные стали получают переработкой смесей же-

51. Химический состав железных порошков

Марка порошка	Массовая доля, %, не более					Потери массы после прокаливания, %	Нерастворимый остаток, %
	C	Si	Mn	S	P		
ПЖВ1	0,02	0,08	0,10	0,15	0,15	0,15	0,20
ПЖВ2	0,02	0,10	0,35	0,02	0,02	0,25	0,30
ПЖВ3	0,05	0,15	0,40	0,02	0,02	0,50	0,40
ПЖВ4	0,12	0,15	0,45	0,03	0,03	1,1	0,50
ПЖВ5	0,25	0,25	0,45	0,05	0,05	2,0	—
ПЖР2	0,02	0,05	0,15	0,02	0,02	0,20	0,20...0,25
ПЖР3	0,05	0,08	0,20	0,02	0,02	0,50	0,30
ПЖР5	0,10	0,10	0,30	0,03	0,03	1,6	—

лезных порошков с необходимым количеством углерода (графита).

Порошковые легированные стали получают:

1) переработкой смесей железных порошков с порошками легирующих элементов или ферросплавов и графита;

2) переработкой гомогенно-легированных порошков такого же химического состава, какой должна иметь сталь;

3) переработкой частично легированных порошков с добавлением в шихту необходимого количества углерода (графита).

Химический состав частично легированных порошков подбирают так, чтобы выполнить три условия:

1) обеспечить формуемость порошка без нагрева при умеренных давлениях;

2) получить химически однородный аустенит с необходимой концентрацией углерода при спекании;

3) получить структуру нижнего бейнита и, соответственно, повышенную прочность при охлаждении от температуры спекания.

Химический состав ряда порошков указан в табл. 53. Эти порошки в качестве основных легирующих элементов содержат в разных сочетаниях никель, молибден и медь и характеризуются

очень низким содержанием углерода и кремния. Необходимое количество углерода попадает в порошковую сталь через шихту.

Порошки высолегированных коррозионно-стойких сталей получают преимущественно восстановлением смеси оксидов и металлических порошков гидридом кальция или распылением. Главная особенность этих порошков — недостаточная формуемость из-за тонкой оксидной пленки сложного состава на частицах порошков. Эти порошки перерабатывают в изделия преимущественно способами горячего компактирования, получая максимальную плотность. Повышение плотности порошковых сталей улучшает сопротивление коррозии. Согласно ГОСТ 13084—88 изготавливают восстановленные порошки ПХ17Н2; ПХ18Н15; ПХ23Н18; ПХ18Н9Т; ПХ30; ПХ20Н80; ПХ13М2; ПХН28М2Т; ПХ40Н60. По гранулометрическому составу производят порошки следующих классов крупности: 280, 160 и 56 мкм. Содержание углерода в порошках не превышает границ, установленных для соответствующих марок сталей и сплавов обычного передела.

Медные порошки получают электролизом (ГОСТ 4960—75). Производят шесть марок порошка с содержа-

52. Гранулометрический состав железных порошков

Способ изготовления	Крупность	Выход фракции, %, при размере частиц, мкм										
		0,630...0,450	0,450...0,315	0,315...0,250	0,250...0,200	0,200...0,160	0,160...0,100	0,100...0,071	0,071...0,045			
Восстановле- ние	450	—	10...30		Остальное		10...25		0...20			
	160	—	—	—	0...10		10...30	20...40	20...40	10...30		
	71	—	—	—	—	—	—	0...10	Остальное			
Распыление	450	0...5	Остальное							10...30		0...10
	315	—	0...10	5...20	Остальное			30...35		0...15		
	200	—	—	—	0...1,5	0...15	Остальное					10...25

53. Химический состав частично легированных порошков

Марка порошка	Страна	Массовая доля, %								Плотность, г/см ³ , после прессования <i>p</i> = 700 МПа
		C	Mn	Si	Ni	Mo	Cr	S	P	
ПЖН2Д2М*	Россия	0,02	0,2	0,05	1,7	0,5	—	0,02	0,02	6,98
ПЖН4Д2М*	Россия	0,02	0,2	0,05	4	0,5	—	0,02	0,02	6,9
ПР-НМ	Россия	0,1	≤0,15	0,05	0,6	0,5	<0,1	0,03	0,03	6,5
ПР-Н2М	Россия	0,1	≤0,15	0,05	1,6	0,5	<0,1	0,03	0,03	6,5
ПР-ХН2Г	Россия	0,1	0,5	0,05	1,8	—	0,5	—	—	6,5
Astaloy	Швеция	0,1	0,5	—	2	—	0,3	0,025	0,02	—
Distaloy*	Швеция	0,1	—	—	1,75	0,5	—	—	—	7,1
Ultrapac*	ФРГ	0,03	0,75	0,05	1,7	0,5	0,5	—	—	—
Sumiron	Япония	<0,1	—	—	—	0,2	1,0	—	—	6,8...7,4

* 1,5 Cu.

нием не менее 99,5 % Cu. Химический состав порошков нормируется, основной примесью является кислород (0,1...0,2 %). По требованию потребителя содержание меди в порошке марки МПС-В может быть повышено до 99,8 %. Этот порошок используется в машиностроении. Насыпная плотность порошка при пористости 25 % —

не менее 26, текучесть — не более 36 с. Прочность на изгиб прессовки до спекания при плотности 6,67 г/см³ должна быть не менее 6 МПа.

Все медные порошки, полученные электролизом, имеют дендритную форму частиц.

Гранулометрический состав порошка МПС-В следующий:

Размер частиц, мм	<0,045	+0,045...–0,063	+0,063...–0,100
Содержание, %	10...25	25...35	35...45
Размер частиц, мм	+0,100...–0,140	+0,140...–0,224	>0,224
Содержание, %	5...15	≤1,0	≤0,1

Список литературы

1. Кипарисов С.С., Либенсон Г.А. Порошковая металлургия. М.: Металлургия, 1980. 416 с.

2. Порошковая металлургия и напыленные покрытия: Учебник для вузов / В.Н. Анциферов, Г.В. Бобров, Л.К. Дружинин и др. М.: Металлургия, 1987. 792 с.

3. Прогрессивные технологические процессы штамповки деталей из порошков и оборудования / Г.М. Волкогон, А.М. Дмитриев, Е.П. Добряков и др. Под общ. ред. А.М. Дмитриева, А.Г. Овчинникова. М.: Машиностроение, 1991. 320 с.

4. НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ЛИСТОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Листы и пленки из неметаллических материалов имеют разнообразное применение в машиностроении. Эти листовые материалы используют как конструкционные материалы для деталей машин и приборов, для электроизоляции и электротехнических изделий, для тепло- и звукоизоляции, для изготовления прокладок, как декоративные материалы для отделки.

Наибольшее применение в машиностроении имеют неметаллические материалы на основе полимеров, стек-

ла, растительных волокон (бумага, картон, фибра), древесины, технических тканей, кожи.

Листы и рулоны из этих материалов перерабатывают штамповкой. Хрупкость стекол при нормальных условиях исключает применение операций штамповки, поэтому свойства листового стекла в дальнейшем не рассматриваются.

Свойства неметаллической основы и других составляющих в сумме определяют свойства листов. Кроме того, свойства листов зависят от технологии их изготовления.

Характерной особенностью неметаллических листов является их анизотропия. Как правило, в машинном направлении изготовления листов и рулонного материала прочность выше, чем в поперечном направлении. Пониженная прочность в Z направлении является причиной расщепления листов при изготовлении изделий.

Пластмассы представляют собой смеси полимеров с наполнителями, пластификаторами, противостарителями и другими добавками для получения материала с нужным комплексом свойств.

Пластмассы в зависимости от сил связи между молекулами полимера разделяют на термопластичные и термореактивные. У термопластичных пласт-

масс молекулы притягиваются друг к другу относительно слабыми силами Ван-дер-Ваальса, у термореактивных пластмасс к этим силам добавлены химические связи. Такие связи называют поперечными, а процессы их образования называют отверждением. Как правило, отверждение окончательно определяет свойства термореактивной пластмассы.

Термопластичные пластмассы при нагреве становятся пластичными и даже плавятся, переходя в вязкотекучее состояние. При охлаждении изменения пластмассы происходят в обратном порядке. Принципиально такой цикл изменения состояний материала при нагреве-охлаждении можно повторять многократно.

Термореактивные пластмассы после отверждения при нагреве остаются твердыми вплоть до температур термического разрушения. Термореактивные пластмассы отличаются лучшим постоянством свойств при эксплуатации изделий по сравнению с термопластичными.

Резины представляют собой сложные смеси на основе полимеров-каучуков. У сырой резины нет поперечных связей между молекулами. Эти связи образуются при нагреве изделий из сырой резины под влиянием веществ-вулканизаторов, заранее добавленных в сырую резину. Вулканизация преобразует сырую резину в новое вещество — полимерный материал, сохраняющий высокоэластичное состояние. Это достигается регулированием количества вулканизатора. С увеличением плотности поперечных связей повышаются жесткость и твердость резины. В отличие от сырой резины резина (после вулканизации) имеет более высокую прочность, лучше противостоит истиранию и не способна растворяться в растворителях.

Кроме резин универсального назначения используют специальные резины, отличающиеся повышенной теплостойкостью, не набухающие в топливе и смазках и не теряющие поэтому своей прочности.

Термопластичные пластмассы имеют высокую технологическую гибкость, из них относительно просто изготовить листы или пленку. Ряд полимеров перерабатывают в листы без добавления других составляющих.

Листы термопластичных пластмасс перерабатывают в изделия штамповкой-вытяжкой. Эта штамповка по своей сути отличается от штамповки металлических листов. Для получения изделия заготовку переводят при помощи нагрева в высокоэластичное состояние, деформируют ее, и полученное изделие охлаждают, не снимая деформирующих нагрузок. Охлаждение «замораживает» форму изделия, после этого нагрузки снимают и выполняют отделочные операции. Полученное изделие сохраняет неравновесную структуру, в материале изделия в большей или меньшей степени сохраняется ориентация вытянутых полимерных молекул.

При штамповке листов термопластичных пластмасс заготовку закрепляют по всему периметру и деформируют пуансоном после нагрева. В качестве пуансона часто используют давление воздуха. При вакуумном формировании лист вдавливается в матрицу этим избыточным давлением. Матрица определяет форму изделия. Если заготовка закреплена по кругу или овалу, то, используя избыточное давление воздуха, вместо пуансона получают колпак (отказавшись заранее от каких-либо формирующих матриц).

Преимуществами штамповки пластмассовых листов (и пленок) является экономичность технологии, низкая стоимость деформирующих инстру-

ментов и оснастки, небольшие силы деформирования и низкие температуры нагрева заготовок, малое количество отходов. Экономические преимущества переработки листов пластмасс возрастают при изготовлении крупных изделий.

Недостатком штамповки листов термoplastичных пластмасс является разнотолщинность стенок изделий. Ее удается уменьшить, разделяя процесс формования изделий на несколько операций.

Листы термoplastичных пластмасс становятся анизотропными, если их при изготовлении растягивали по одному или двум направлениям, создавая таким образом структуру растянутых полимерных молекул. Эта структура неравновесная, и при нагреве листов выше температуры стеклования растянутые молекулы возвращаются к более равновесным формам. Определенная анизотропия благодаря фиксации вытянутых молекул характерна для листов, изготовленных с использованием каландра или экструдера.

Листы термoplastичных пластмасс обычно не штампуют с вырубкой изделия из-за трудностей разделения материала. Материал может тянуться за пуансоном без разрушения на десятки процентов.

Листы термореактивных пластмасс малопластичны. Для успеха штамповки требуется повысить точность инструмента и оснастки и обеспечить минимальный зазор между пуансоном и матрицей. Зазор должен быть равномерным по всему контуру вырубемого изделия. Кроме того, листы перед штамповкой подогревают для улучшения штампваемости и предупреждения растрескивания. Температура подогрева 50...70 °C и выше зависит от свойств связующего полимера и наполнителя пластмассы.

Наиболее распространенными термореактивными пластмассами, изготавливаемыми в виде листов, являются гетинакс (наполнитель — бумага), текстолит (наполнитель — ткань), стеклотекстолит (наполнитель — стеклянная ткань). Каждый термин объединяет группу пластмасс, различающихся полимерным связующим и наполнителем. На основе бумаги кроме гетинакса изготавливают картон и фибру.

Штампваемость листов из гетинакса, текстолита и стеклотекстолита оценивают по специальной методике (ГОСТ 24649—81). Согласно этой методике, в образце листа пробивают пуансоном ряд круглых отверстий, увеличивая перемычки между отверстиями от 0,5 до 1,5 мм. Диаметр пуансона равен толщине листа, радиус скругления кромок пуансона должен быть не более 0,02 мм. Перед пробивкой отверстий образцы листов подогревают и выдерживают при определенной температуре 10...60 мин. Критерием потери штампваемости является растрескивание перемычки. Если общая длина видимых трещин меньше 1/3 ширины перемычки, то ее считают неповрежденной.

Критерием штампваемости называют отношение средней ширины неповрежденной перемычки к толщине материала. Для листов из некоторых пластмасс оценка штампваемости не требуется, например, не нужна проверка штампваемости для листов пластифицированного поливинилхлорида (ГОСТ 5960—72).

Критерии штампваемости слоистых пластиков (толщиной 0,2...2,5 мм) электротехнического назначения содержит ГОСТ 25500—82. Информация учитывает различия штампваемости листов разной толщины и разных полимерных связующих.

Резина и резинотехнические материалы получили широкое применение. Листовую резину и резиноткане-

вые пластины (ГОСТ 7338–77) выпускают толщиной 2...60 мм. Пластина резиновая трансформаторная (ГОСТ 12855–77) имеет толщину 1..25 мм, предназначена для уплотнения электрооборудования и является масло- и морозостойкой. Ленты резинотканевые (ГОСТ 20–76) используют в конвейерах. Резиновые листы в силу обратимости высокоэластичной деформации непригодны для штамповки фасонных изделий.

Резиновые листы используют как сырье для производства прокладок, мембран и других плоских деталей, которые получают разрезкой и вырубкой.

Массивные резиновые заготовки используют для инструментов обработки металлов эластичной средой вместо обычных штампов, для деталей амортизаторов, для замены пружин в штампах и других целей.

Гетинакс является распространенным слоистым пластиком на основе бумаги. Его используют, главным образом, в электротехнике для деталей высоковольтной аппаратуры, панельных щитов, тонкие листы гетинакса нашли применение в виде основы для печатных плат. Электротехнический гетинакс (ГОСТ 2718–74) производят в виде листов (600...2480)(450...1060) мм толщиной 0,4...50 мм.

Предусмотрено четыре типа гетинакса, которые различаются полимер-

ным связующим, качеством бумаги и другими особенностями. В частности, гетинакс типа 112 отличается улучшенной штампруемостью. Гетинакс рассчитан на эксплуатацию при температурах –65...+105 °С.

Листы фольгированного гетинакса применяют для печатных и монтажных схем, используемых затем в условиях повышенной влажности, листы радиотехнического гетинакса — для изделий, работающих при повышенных частотах. Недостатком гетинакса является легкость растрескивания вдоль листов наполнителя. Свойства гетинакса представлены в табл. 54.

Текстолит представляет собой слоистый пластик на основе хлопчатобумажной ткани, пропитанной термоактивным полимером. Текстолит производят в виде листов толщиной 1...100 мм, как правило, соотношение объемов ткани и полимера близко к 1:1. Кроме хлопчатобумажной ткани используют синтетические ткани и нетканые листы из нитепрошитого материала, а также асбестовые ткани.

Водопоглощение электротехнического текстолита определяют согласно ГОСТ 4650–80 (метод А) и ГОСТ 25500 — на образцах размером 50×50 мм с выдержкой в воде 24 ч. При толщинах 0,8...20 мм текстолит типа 171 поглощает 133...177 мг/образец, текстолит типа

54. Электротехнические текстолит и гетинакс

Параметры	Текстолит, тип, марка				Гетинакс (интервал значений для всех типов)
	171, А	172, Б	173, ВЧ	241, ЛТ	
Толщина	0,5...50	0,5...50	0,5...8,0	0,3...50	0,4...50
$\sigma_{\text{н}}$, МПа	90/90	100/90	110/90	110/110	80...135
$\sigma_{\text{в}}$, МПа	35/35	45/45	70/45	50/50	65...120
Ударная вязкость КСУ, кДж/м ²	7,8/6,8	7,8/6,8	7,0/6,0	—	—

Примечание. В числителе — высший сорт, в знаменателе — первый сорт.

172 — 201...406 мг/образец. Текстолит типа 173 при толщине 0,4...20 мм поглощает 186...406 мг/образец.

Текстолит типа 241 с эпоксидной связкой при толщинах 0,4...20 мм поглощает 17...52 мг/образец.

Для листов электротехнического текстолита толщиной 20...50 мм поглощение воды не предусмотрено.

Стеклотекстолиты характеризуются высокой прочностью благодаря применению в них тканей из стеклянных волокон. В табл. 55, 56 приведены свойства текстолитов, асботекстолитов и стеклотекстолитов.

Фибра — материал, получаемый из бумаги-основы, обработанной пергаментирующим реагентом (в частности, $ZnCl_2$). Технические условия для фибры сформулированы ГОСТ 14613—83. Предусмотрено применение технической фибры ФТ, электротехнической ФЭ, специальной высокопрочной ФСВ, прокладочной кислородостойкой ФПК, касторово-глицериновой КГФ, склеенной ФКДГ для уплотнительных колец к гидравлическим системам прессового оборудования. Размеры листов фибры: в машинном направ-

55. Свойства текстолита и асботекстолита

Параметры	Текстолит					Асботекстолит		
	ПТК	ПТ	ПТК-С	ПТМ-1	ПТМ-2	А	Б	Г
Толщина Δ , мм	0,5...80		30...50	15...70	20...70	5,0...35		30...110
Прочность, МПа:								
на изгиб	132/137	42/108	149	—	117	108	90	83
на сжатие	160/130	144/20	147	118	118	—	—	—
Ударная вязкость, кДж/м^2	36/64	36/64	36	—	29	29	26	24
Поглощение воды за 24 ч, %	0,7/0,9	0,7/1,0	0,75	1,0	1,0	2	2	2

Примечание. В числителе — высший сорт, в знаменателе — первый сорт.

56. Свойства стеклотекстолита

Параметры	ВФТ-С	КАСТ-В	КАСТ-Р	КАСТ
Толщина Δ , мм	0,8...35	0,5...90	1,5	0,5...0,8; 1,2
Прочность, МПа:				
на растяжение:				
по основе	392...314, $\Delta < 10$ мм	289...211, $\Delta = 0,5...14$ мм	294	294...304
по утку	157, $\Delta < 10$ мм	157...118, $\Delta = 0,5...14$ мм	167	162...167
на сжатие параллельно слоям на изгиб по основе	88, $\Delta = 11...35$ 245, $\Delta = 11...35$ мм	178, $\Delta = 1,2...1,5$ мм, 132...127, $\Delta = 15...90$ мм	Не определяется	
Ударная вязкость, кДж/м^2	88, $\Delta = 11...3,0$; 123, $\Delta = 3,5...5,0$ мм	88...113 по основе, 64...88 по утку, $\Delta = 3...4$ мм		
Поглощение воды за 24 ч, %	2,1...0,8	2,1...0,8	1,4	3,0...2,1

лении — от 800 до 2300 мм, в поперечном направлении — от 400 до 1500 мм.

Фибра не должна трескаться, выкрашиваться и расслаиваться при штамповке и обработке резанием. Для улучшения штампуемости заготовки прогревают в горячей воде.

Прочность фибры максимальна в машинном направлении и понижается при увеличении толщины листов. В машинном направлении $\sigma_b = 90...50$ МПа, в поперечном направлении — от 46 до 30 МПа. Аналогично понижается электрическая прочность при увеличении толщины листов от 9 до 3 кВ/мм. Фибра гигроскопична, нормально содержит 6...10 % влаги, но поглощает от 65 до 30 % влаги при выдержке в воде. Листы толщиной 0,4...1,2 мм выдерживают в воде 2 ч, листы толщиной более 1,2 мм — 24 ч.

Фибра для шлифовальных дисков (ГОСТ 12456–83) имеет толщину 0,7...1,0 мм и содержит не более 0,1 % $ZnCl_2$. Эта фибра имеет пониженную гигроскопичность, впитывает не более 8 % влаги. Средняя прочность фибры 59...54 МПа, но к ней предъявляют высокие требования по сопротивлению расслаивания, оно должно быть не менее 1000 Н/м. Фибру производят в рулонах шириной до 1400 мм и длиной 600...800 м, в виде листов 1250×

1000 мм и лент шириной 200 и 250 мм, намотанных на бобины.

Прочность тонких листов фибры немного выше толстых листов этой же фибры. Фибра анизотропна, ее прочность в машинном направлении примерно в 2 раза выше прочности в поперечном направлении. Листы фибры имеют среднюю электрическую прочность 9...3 кВ/мм, уступая в этом отношении большинству пластмасс. Специальная высокопрочная фибра имеет прочность на растяжение всего 95...90 МПа, что меньше прочности даже текстолита ПТ. Большим недостатком фибры является ее гигроскопичность. Свойства листов фибры представлены в табл. 57.

Картон представляет собой материал из растительных волокон. Согласно ГОСТ 30675–2000 картон разделяют на группы: технический картон; строительный; для легкой промышленности; для полиграфического производства; для фильтрования. Технический картон имеет наибольшее применение в машиностроении. В зависимости от особенностей производства выделяют листовой картон, рулонный, каландрированный, прессованный, лощеный.

Толщина картона составляет 0,1...8,0 мм. Рекомендуемые предпочтительные размеры листов — от 1000 до

57. Свойства фибры

Параметры	Марки фибры						
	ФТ	ФЭ	ФСВ	ФП	ФПК	КГФ	ФКД
Толщина, мм	0,40...25	0,60...30	1...3	0,6...2	6...2 4...3	0,6...2,5	15...30
Прочность на разрыв:							
в машинном направлении	90/70	90/75	95/90	65/60	65/60	30	55/50
в поперечном направлении	55/50	55/50	—	—	—	—	32/30

Примечание. Для всех марок фибры установлена влажность 6...10 %. Для фибры марки ФСВ установлено поглощение бензина 1,5 %, а масла — 1,3 %.

3200 мм по ширине и от 1020 до 6300 мм по длине. Ширина рулонного картона — 1000 мм. Листовой и рулонный картон пригодны для пробивания отверстий без рваных краев при толщинах картона до 3 мм.

Технический картон включает обивочный водостойкий картон (ГОСТ 6659–83), прокладочный (ГОСТ 9347–74), термоизоляционный (ГОСТ 2824–86), электроизоляционный картон (ГОСТ 2824–86), картон асбестовый (ГОСТ 2850–95, ГОСТ 4194–88) и ряд других разновидностей.

Механические свойства приведены в табл. 58.

Техническую кожу (ГОСТ 20830–75) разделяют по видам кож, сырья, конфигурации, методам дубления и толщине. Кожу используют для манжет и прокладок и по толщине разделяют на тяжелую с толщинами свыше 2,5 и свыше 4 мм и легкую с толщинами 1,5...2,5 мм и 1,5...2,2 мм. Применение кожи ограничено конкуренцией с более доступными и лучшими по свойствам резинами и пластмассами.

Древесину используют в виде шпона толщиной 0,55...1,55 мм. Шпон склеивают полимерными клеями, получая листы древесных слоистых ластиков.

Примером служит пластик ДСП-Б-а (ГОСТ 20966–75). Это прочный анизотропный материал, отличающийся повышенным содержанием влаги.

Технические текстильные материалы применяют в виде прокладок, для уплотнения, для поглощения звука и в иных целях. К ним относят domestik (ГОСТ 1104–69) — хлопчатобумажная ткань для прокладок; двунитки (ГОСТ 11302–78) — льняное суровое полотно для противопыльных шайб железнодорожных вагонов; миткаль суровый (ГОСТ 9858–75) — для противоскрипных прокладок в автомобилях. Войлок технический делится на три группы: грубошерстный (ГОСТ 9236–74), полугрубошерстный (ГОСТ 6308–71), тонкошерстный (ГОСТ 288–72). Войлок используют для сальников, прокладок, фильтров, изоляции. Ткани с полимерным покрытием с одной или с обеих сторон представляют собой искусственные кожи.

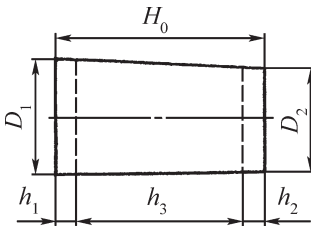
Листы термореактивных пластмасс при толщинах до 3 мм успешно штампуются. Одним из способов проверки качества листов является изгиб на 180° вокруг оправки, диаметр которой в 10 раз больше толщины листа. Критерий качества — отсутствие изломов или трещин после такого испытания.

Глава 2

ЗАГОТОВКИ ДЛЯ КОВКИ И ШТАМПОВКИ

1. СТАЛЬНЫЕ СЛИТКИ. СОРТАМЕНТ. СЛИТКИ ЭШП, ВДП И ДРУГИЕ

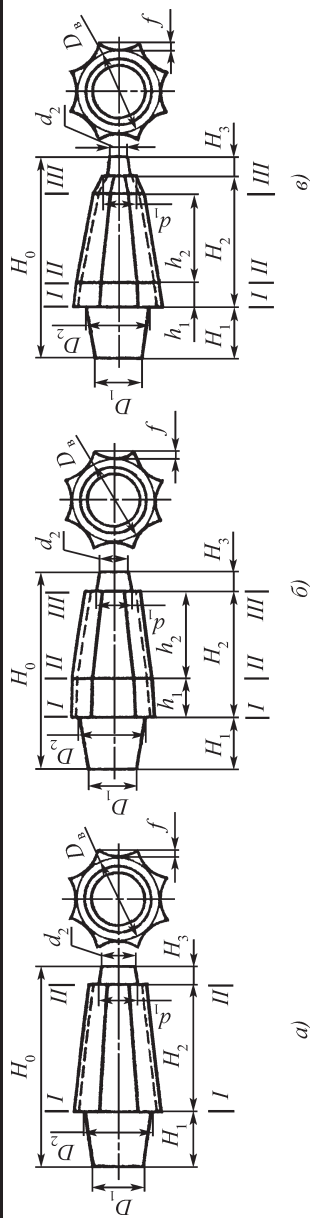
1. Параметры слитков электрошлакового переплава (АО «Ижорские заводы»)

	Масса, т				Размеры, мм					
	слитка полная	годной части	донной обреси (не менее)	головной обреси (не менее)	D_1	D_2	H_0	h_1	h_2	h_3
	18,0	15,3	0,9	1,8	1130	1020	2550	120	280	2150
	30,0	25,5	1,5	3,0	1320	1210	3050	150	330	2570
	40,0	34,0	2,0	4,0	1530	1420	3000	150	320	2530
	60,0	49,8	3,0	7,2	1680	1560	3750	180	470	3100

2. Параметры слитков вакуумно-дугового переплава (АО «Ижорские заводы»)

Масса, т					Размеры, мм					
слитка после отливки	слитка после облирки	годной части слитка	головной обреси	донной обреси	Диаметр слитка		Длина			
					после отливки	после облирки	слитка полная	годной части	головной обреси	донной обреси
10,0	8,8	7,5	0,65	0,65	620	580	4250	3610	320	320
15,7	14,2	12,0	1,10	1,10	780	740	4200	3560	320	320
29,2	26,5	22,5	2,00	2,00	975	930	5000	4260	370	370
37,0	34,0	29,0	2,50	2,50	1095	1050	5000	4260	370	370
41,0	37,5	30,0	3,75	3,75	1310	1250	3900	3120	390	390
42,0	38,5	31,0	3,75	3,75	1310	1250	4000	3220	390	390
43,0	39,5	32,0	3,75	3,75	1310	1250	4100	3320	390	390

3. Параметры кузнечных слитков (ООО «Объединенные машиностроительные заводы (УралМаш)»)



Масса, т				Размеры, мм												Эскиз			
СЛИТКА ПОЛНАЯ	ГОЛОВОЙ ЧАСТИ	ПРИБЫЛЬНОЙ ЧАСТИ	ДОННОЙ ЧАСТИ	головой части слитка						прибыли			донной части				H_0	f	
				H_2	h_1	h_2	D_{cp}	D_B в сечении			D_1	D_2	H_1	d_1	d_2				H_3
								I—I	II—II	III—III									
1,8	1,283	0,468	0,049	772	238	428	511	558	544	477	479	540	333	380	180	150	1255	15	\varnothing
2,1	1,77	0,256	0,074	1550	—	—	441	475	390	—	335	405	350	380	188	210	2110	10	a
3,35	2,685	0,551	0,114	1276	—	—	588	602	550	—	425	580	390	490	221	240	1906	18	a
3,9	3,21	0,556	0,134	1950	—	—	521	580	445	—	506	570	355	435	218	270	2575	16	a
4,3	3,433	0,700	0,167	1340	—	—	648	660	606	—	472	640	410	580	308	225	1975	20	a
4,9	3,91	0,823	0,167	1405	—	—	676	686	630	—	492	666	422	580	308	225	2052	25	a
5,0	3,640	1,235	0,125	1074	333	592	736	787	769	676	691	770	430	607	285	167	1671	25	\varnothing
6,5	5,057	1,140	0,303	1540	—	—	737	750	688	—	487	730	570	650	352	285	2395	25	a
7,0	5,11	1,715	0,175	1187	355	665	830	895	875	765	819	875	465	690	260	164	1816	22	\varnothing
7,6	6,032	1,265	0,303	1630	—	—	783	790	740	—	565	770	490	650	352	285	2405	25	a

8,75	7,065	1,382	0,303	1672	—	—	836	860	776	—	609	830	492	650	352	285	2449	25	a
9,5	7,01	2,25	0,24	1324	393	745	922	990	967	854	890	966	500	762	350	187	2011	25	e
10,3	8,26	1,6	0,44	1592	—	—	926	940	876	—	655	820	550	880	430	350	2492	25	a
11,8	9,54	1,82	0,44	1870	—	—	920	940	865	—	628	820	640	880	430	350	2860	25	a
13,5	9,95	3,23	0,32	1515	448	845	1025	1113	1088	954	770	950	815	770	335	235	2565	30	e
14,0	11,215	2,345	0,44	1912	—	—	984	1008	924	—	696	943	650	880	430	350	2912	26	a
17,5	13,708	3,212	0,58	2095	—	—	1040	1060	980	—	722	1025	768	910	410	350	3213	28	a
19,0	15,208	3,212	0,58	2325	—	—	1040	1060	980	—	722	1025	768	910	410	350	3443	28	a
22,0	17,32	3,89	0,79	2285	—	—	1119	1140	1060	—	816	1105	826	1010	475	395	3506	28	a
23,5*	17,31	5,4	0,79	1920	—	—	1238	1338	1110	—	911	1185	915	1010	475	395	3230	20	a
25,0	19,9	4,31	0,79	2420	680	1740	1172	1170	1170	1092	844	1003	960	1010	475	395	3775	30	b
25,0	19,95	4,26	0,79	2204	—	—	1224	1246	1158	—	786	1064	925	1010	475	395	3524	30	a
27,5	22,45	4,26	0,79	2455	—	—	1229	1256	1158	—	786	1064	925	1010	475	395	3775	30	a
28,5*	20,853	6,724	0,923	1995	—	—	1332	1434	1200	—	1005	1290	950	1100	450	460	3405	20	a
29,5	24,14	4,57	0,79	2485	715	1770	1273	1260	1260	1225	805	1090	945	1010	475	395	3825	30	b
31,5	25,69	4,887	0,923	2650	715	1935	1272	1260	1260	1222	782	1090	1025	1100	450	460	4080	0	b
31,5	25,69	4,887	0,923	2430	—	—	1322	1347	1250	—	878	1148	900	1100	450	460	3790	32	a
34,0*	24,868	8,031	1,101	2120	—	—	1411	1521	1273	—	1076	1375	997	1188	480	480	3597	20	a
34,5	28,23	5,347	0,923	2650	—	—	1326	1356	1250	—	848	1148	1000	1100	450	460	4110	32	a
37,5*	27,021	9,270	1,209	2185	—	—	1451	1560	1310	—	1075	1410	1117	1270	520	520	3822	22,5	a
39,0	31,85	6,049	1,101	2720	770	1950	1397	1392	1392	1314	884	1196	1040	1188	480	480	4280	34	b
42,5	34,54	6,859	1,101	2600	285	2315	1501	1500	1500	1400	962	1262	1000	1188	480	480	4080	36	b
43,0**	31,331	10,46	1,209	2395	—	—	1497	1626	1340	—	1091	1466	1250	1270	520	520	4165	20	a

Окончание табл. 3

Масса, т				Размеры, мм													Эскиз		
Слитка полая	Головой части	прибыльной части	Донной части	головой части слитка						прибыли			донной части						
				H ₂	h ₁	h ₂	D _{ср}	D _В в сечении			D ₁	D ₂	H ₁	d ₁	d ₂	H ₃		H ₀	f
								I—I	II—II	III—III									
46,0	37,66	7,131	1,209	2824	514	2310	1501	1500	1500	1400	934	1262	1100	1270	520	520	4444	36	
50,0	40,8	7,991	1,209	3046	736	2310	1501	1500	1500	1400	960	1300	1130	1270	520	520	4696	36	
51,0*	37,35	12,2	1,45	2435	—	—	1620	1750	1455	—	1253	1600	1106	1415	458	560	4101	25	
56,0	45,87	8,68	1,45	3046	521	2525	1597	1600	1600	1478	996	1350	1175	1415	458	560	4889	38	
61,0	49,47	10,08	1,45	3270	745	2525	1597	1600	1600	1478	1040	1400	1200	1415	458	560	5030	38	
67,5	55,16	10,46	1,88	3220	600	2620	1702	1705	1705	1580	1060	1436	1250	1400	445	630	5100	40	
79,0	61,97	14,73	2,3	3280	325	2955	1796	1800	1800	1670	1370	1620	1250	1550	470	665	5170	40	
79,0*	61,97	15,05	1,98	3369	714	2655	1826	1920	1870	1558	1352	1720	1226	1520	500	560	5155	30	
89,0	70,47	16,23	2,3	3700	740	2960	1796	1800	1800	1670	1340	1620	1400	1550	470	665	5765	40	
89,0*	70,47	16,55	1,98	3741	1086	2655	1833	1946	1870	1558	1285	1720	1450	1520	500	560	5751	30	
104,0	82,28	18,72	3,0	3856	876	2980	1897	1900	1900	1760	1240	1720	1600	1650	470	775	6231	44	
104,0**	82,28	18,72	3,0	3884	—	—	1909	2020	1748	—	1396	1832	1453	1650	470	775	6087	35	
120,0	94,44	22,02	3,54	4018	758	3260	1992	1990	1990	1860	1527	1815	1440	1750	585	820	6278	46	
120,0**	94,44	22,02	3,54	3884	—	—	2049	2160	1888	—	1571	1985	1410	1750	585	820	6114	49	
137,0	108,84	23,96	4,2	4232	872	3360	2103	2100	2100	1970	1444	1890	1640	1900	690	710	6582	50	
142,0	113,84	23,96	4,2	4380	1020	3360	2103	2100	2100	1970	1444	1890	1640	1900	690	710	6730	50	

* 12 граней.

** 16 граней, остальные слитки — 8 граней.

Примечание. Разливка слитков массой 23 500 кг и более осуществляется под вакуумом.

4. Параметры восьмигранных слитков (ОАО «Металлургический завод «Электросталь»)

Общая масса слитка, кг	Размеры, мм		
	Диаметр головной части	Диаметр хвостовой части	Высота
1350	450	340	1170
2550	642	480	990
4700	850	600	1320

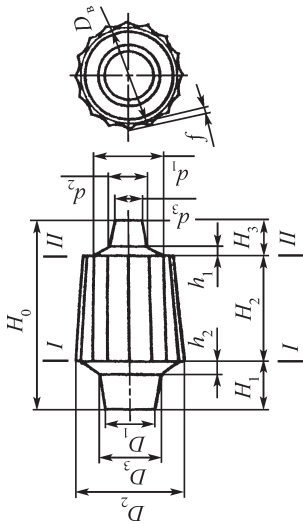
5. Параметры слитков плазменно-дугового переплава (ОАО «Металлургический завод «Электросталь»)

Масса, кг					Размеры, мм					
слитка после отливки	слитка после обдирки	годовой части слитка	головной обреза	донной обреза	Диаметр слитка		Длина			
					после отливки	после обдирки	слитка полная	годовой части	головной обреза	донной обреза
135	112	93	11,2	7,8	148	135	1000	830	100	70
376	341	283,1	34,1	23,8	247	235	1000	830	100	70

6. Параметры слитков электронно-лучевой плавки (ОАО «Металлургический завод «Электросталь»)

Масса, кг					Размеры, мм					
слитка после отливки	слитка после обдирки	годовой части слитка	головной обреза	донной обреза	Диаметр слитка		Длина			
					после отливки	после обдирки	слитка полная	годовой части	головной обреза	донной обреза
451	392	320,2	39,2	32,6	247	230	1200	980	120	100
1040	932	761,2	93,2	77,6	375	355	1200	980	120	100

7. Слитки, отливаемые в вакууме, с соотношением высоты к диаметру, равным единице
(АО «Ижорские заводы»)



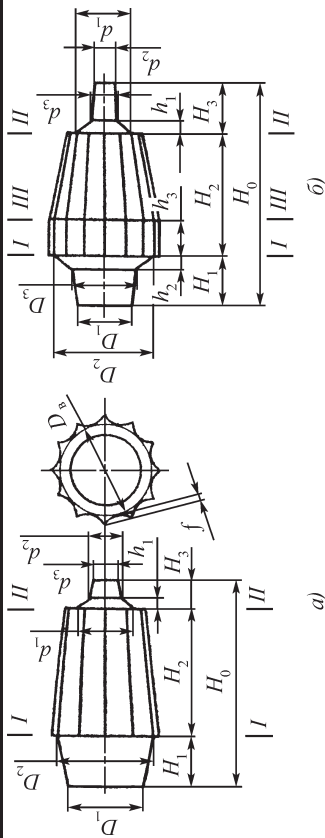
Масса, т				Размеры, мм															
СЛИТКА ПОЛНАЯ	ГОДНОЙ ЧАСТИ	ПРИБЫЛЬНОЙ ЧАСТИ	ИТОГ	ГОДНОЙ ЧАСТИ СЛИТКА в сечении			ПРИБЫЛЬНОЙ ЧАСТИ						ДОННОЙ ЧАСТИ					H ₀	f
	ГОДНОЙ ЧАСТИ	ПРИБЫЛЬНОЙ ЧАСТИ	ИТОГ	I—I	II—II	H ₂	D ₁	D ₂	D ₃	H ₁	h ₂	d ₁	d ₂	d ₃	H ₃	h ₁			
60,6	42,2	15,9	2,5	2030	1710	2050	1110	1830	1300	1390	490	1480	835	710	490	225	3930	25	
87,0	60,18	23,61	3,21	2300	1940	2200	1435	2155	1645	1450	530	1430	935	760	580	255	4230	30	
136,5	95,97	36,1	4,43	2700	2300	2530	1595	2610	1800	1720	730	1675	1085	835	600	275	4850	30	
142,0	95,97	36,1	9,93	2700	2300	2530	1595	2610	1800	1720	730	2070	815	730	1575	490	5825	30	

Примечания: 1. Размеры слитков даны по размерам излохниц с учетом недолива металла и усадки в период кристаллизации (приблизительно 1,5 %).

2. Длина прибыли может колебаться в пределах ±10 %.

3. Число граней — 16.

8. Роторные слитки, отливаемые в вакууме (АО «Ижорские заводы»)



Масса, т				Размеры, мм												Эскиз					
СЛИТКА	ГОДНОЙ ЧАСТИ	ПРИБЫЛЬНОЙ ЧАСТИ	ДОННОЙ ЧАСТИ	годной части слитка				прибыльной части				донной части					H ₀	f			
				в сечении			H ₂	H ₃	D ₁	D ₂	D ₃	H ₁	h ₂	d ₁	d ₂	d ₃			H ₃	h ₁	
				I—I	II—II	III—III															
34,5*	25,368	8,031	1,101	1500	1250	—	2135	—	1105	1385	—	1020	—	1085	670	570	520	205	3675	20	a
37,5*	27,021	9,27	1,209	1530	1290	—	2150	—	1150	1440	—	1000	—	1250	590	510	520	235	3670	22,5	a
51,0*	37,35	12,2	1,45	1720	1430	—	2400	—	1420	1700	—	1100	—	1395	715	450	550	115	4050	25	a
65,3*	45,5	17,9	1,9	1830	1510	—	2650	—	1410	1675	—	1320	—	1330	690	540	570	180	4540	30	a
180**	119,66	50,5	9,84	2760	2360	—	3000	—	1720	2550	1905	1990	995	2130	1330	1130	810	375	5800	35	a
205**	144,66	50,5	9,84	2760	2360	2760	3560	560	1720	2550	1905	1990	995	2130	1330	1130	810	375	6360	35	б
235**	174,66	50,5	9,84	2760	2360	2760	4200	1200	1720	2550	1905	1990	995	2130	1330	1130	810	375	7000	35	б
300**	190	90	20	3370	2930	3150	3180	1600	1950	3150	2220	2480	885	2680	1200	1080	1670	500	7330	35	б

* 12 граней.

** 16 граней.

Примечания: 1. Размеры слитков даны по размерам изложниц с учетом усадки в период кристаллизации (приблизительно 1,5 %).

2. Длина прибыли может колебаться в пределах ±10 %.

2. СОРТОВОЙ ПРОКАТ. СОРТАМЕНТ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПРОКАТА

9. Сталь кованая круглая и квадратная, мм (ГОСТ 1133–71)

Диаметр или сторона квадрата	Предельные отклонения
40, 42, 45, 48, 50	+2,0
52, 55, 58, 60, 63, 65, 68, 70	+2,5
73, 75, 78, 80, 83, 85	+3,0
90, 95, 100, 105	+3,5
110, 115	+4,0
120, 125, 130, 135, 140, 145	+4,5
150	+5,0
155, 160, 165	+6,0
170, 175, 180	+7,0
185, 190, 195, 200	+8,0

1. Овальность (разность между наибольшим и наименьшим диаметрами в одном сечении) круглой стали и ромбичность (разность между диагоналями в одном сечении) квадратной стали не должны превышать 0,6 предельного отклонения по диаметру или стороне квадрата.

2. Прутки поставляют длиной не менее 1,5 м при диаметре круга или стороне квадрата до 50 мм; 1,0 м — св. 50 до 75 мм; 0,75 м — св. 75 мм.

3. Предельные отклонения по длине прутков мерной длины и длины, кратной мерной, не должны превышать +70 мм для прутков диаметром или со стороной квадрата от 40 до 80 мм; +100 мм — св. 80 до 150 мм; +150 мм — св. 150 мм.

4. Квадратная сталь поставляется с острыми кромками. Допускается поставка квадратной стали с притупленными кромками; притупление не должно превышать 0,15 стороны квадрата.

5. Кривизна прутка не должна превышать 0,5 % длины.

Примеры условных обозначений стали круглой марки У10 диаметром 40 мм:

$$\text{Круг } \frac{40\text{ГОСТ1133-71}}{\text{У10ГОСТ1435-90}}$$

квадратной марки У12 со стороной квадрата 60 мм:

$$\text{Квадрат } \frac{60\text{ГОСТ1133-71}}{\text{У12ГОСТ1435-90}}$$

10. Сталь горячекатаная квадратная, мм (ГОСТ 2591–88)

Сторона квадрата	Предельные отклонения при точности прокатки	
	повышенной	обычной
5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19	+0,1 –0,5	+0,3 –0,5

Окончание табл. 10

Сторона квадрата	Предельные отклонения при точности прокатки	
	повышенной	обычной
20, 21, 22, 23, 24, 25	+0,2 -0,5	+0,4 -0,5
26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42,	+0,2 -0,7	+0,4 -0,7
45, 46, 48, 50, 52, 55, 58	+0,2 -1,0	+0,4 -1,0
60, 63, 65, 70, 75	+0,3 -1,1	+0,5 -1,1
80, 85, 90, 93, 95	+0,3 -1,3	+0,5 -1,3
100, 105, 110, 115	+0,4 -1,7	+0,6 -1,7
120, 125, 130, 135, 140, 145, 150	+0,6 -2,0	+0,8 -2,0
160, 170, 180, 190, 200	—	+0,9 -2,5

Примечание. По требованию потребителя допускается изготовление квадратной стали промежуточных размеров.

1. По точности прокатки сталь изготовляют: повышенной точности — Б; обычной точности — В.

2. По требованию потребителя квадратная сталь поставляется со следующими отклонениями, мм:

Сторона квадрата	Предельные отклонения, не более
От 6 до 9 вкл.	+0,5
Св. 10 » 19 »	+0,6
» 19 » 25 »	+0,8
» 25 » 30 »	+0,9
» 30 и выше	Суммы предельных отклонений для стали обычной точности прокатки (см. выше)

3. По требованию потребителя квадратная сталь должна поставляться следующих размеров, мм:

Сторона квадрата	Диагональ
75±0,8	93±1,1
85±1,0	97±1,1
85±1,0	102±1,1
105±1,4	121±2,0
115±1,4	136±2,0

Окончание табл. 10

Сторона квадрата	Диагональ
120±1,4	141±2,0
127±1,4	166±2,4
154±2,0	182±3,0
180±2,5	204±3,5
200±5,0	230±7,0

4. Разность диагоналей в одном сечении не должна превышать:

а) стали со стороной квадрата до 20 мм вкл. — удвоенной суммы предельных отклонений по стороне квадрата;

б) стали со стороной квадрата св. 20 мм — суммы предельных отклонений по стороне квадрата.

5. Квадратная сталь поставляется в прутках. По соглашению сторон допускается поставлять сталь размером до 14 мм включительно в мотках.

6. Прутки поставляются длиной от 2 до 12 м — из углеродистой обыкновенного качества и низколегированной стали; от 2 до 6 м — из качественной углеродистой и легированной стали; от 1,0 до 6 м — из высоколегированной стали.

7. Предельные отклонения по длине прутков мерной длины и кратной ей не должны превышать +30 мм для прутков длиной до 4 м вкл.; +50 мм — св. 4 до 6 м вкл.; +70 мм — св. 6 м.

8. Прутки должны быть с острыми углами. Допускается притупление углов стали со стороной квадрата до 12 мм радиусом не более 0,6 мм; св. 12 до 20 мм — 1 мм; св. 20 до 30 мм — 1,5 мм; св. 30 до 50 мм — 2,5 мм. Прутки со стороной квадрата св. 50 мм должны быть с углами, закругленными радиусом, не превышающим 0,15 стороны квадрата.

9. Кривизна прутка не должна превышать 0,5 % длины. По требованию потребителя должны поставляться прутки, кривизна которых не превышает 0,2 % длины.

10. Допускаемая косина реза не должна превышать: при стороне квадрата до 30 мм — 0,1а; св. 30 мм — 5 мм.

11. Сталь калиброванная квадратная, мм (ГОСТ 8559–75)

Сторона квадрата, мм	Предельные отклонения при поле допуска		
	h10	h11	h12
3,0	–0,04	–0,06	–0,10
3,2; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6	–0,048	–0,75	–0,12
6,3; 7; 8; 9; 10	–0,058	–0,09	–0,15
11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18	–0,07	–0,11	–0,18
19; 20; 21; 22; 24; 25; 26; 27; 28; 30	–0,084	–0,13	–0,21
32; 34; 36; 38; 40; 41; 42; 45; 46; 48; 50	–0,100	–0,160	–0,25
53; 55; 56; 60; 63; 65	–0,120	–0,190	–0,300
70; 75; 80	–	–0,190	–0,300
85; 90; 95; 100	–	–0,220	–0,350

Окончание табл. 11

Предельная кривизна прутков в зависимости от поля допуска

Сторона квадрата, мм	На 1 м длины, мм		На полную длину, %	
	h10 и h11	h12	h10 и h11	h12
До 25	2	3	0,2	0,3
Св. 25 до 50	1	2	0,1	0,2
Св. 50	1	1	0,1	0,1

1. Квадратную сталь изготавливают в прутках, по требованию потребителя — в мотках.

2. Прутки изготавливают длиной 2... 6,5 м. По требованию потребителя прутки изготавливают больших длин.

3. Предельные отклонения по длине прутков мерной длины и кратной ей не должны превышать +30 мм при длине прутков до 4 м; +50 мм — св. 4 м.

4. Допустимая косина реза не должна превышать 0,17 стороны квадрата при стороне квадрата до 16 мм; 3 мм — св. 16 до 30 мм; 5 мм — св. 30 мм.

5. Кривизна прутков в зависимости от поля допуска на 1 м длины составит: для квадрата со стороной до 25 мм — 2 мм для h10 и h11; 3 мм для h12; для квадрата св. 25 до 50 мм — 1 мм для h10 и h11; 2 мм для h12; для квадрата св. 50 мм — 1 мм для h10, h11 и h12.

**12. Сталь горячекатаная круглая, мм
(ГОСТ 2590–88)**

Диаметр	Предельные отклонения при точности прокатки		
	высокой	повышенной	обычной
5; 5,5; 6; 6,3; 6,5; 7; 8; 9	+0,1 –0,2	+0,1 –0,3	+0,3 –0,5
10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19	+0,1 –0,3	+0,1 –0,5	+0,3 –0,5
20; 21; 22; 23; 24; 25	+0,1 –0,4	+0,2 –0,5	+0,4 –0,5
26; 27; 28; 29; 30; 31; 32; 33; 34; 35; 36; 37; 38; 39; 40; 41; 42; 43; 44; 45; 46; 47; 48	+0,1 –0,5	+0,2 –0,7	+0,4 –0,7
50; 52; 53; 54; 55; 56; 58	+0,1 –0,7	+0,2 –1,0	+0,4 –1,0
60; 62; 63; 65; 67; 68; 70; 72; 75; 78	+0,1 –0,9	+0,3 –1,1	+0,5 –1,1
80; 82; 85; 90; 95; 97	+0,3 –1,1	+0,3 –1,3	+0,5 –1,3
100; 105; 110; 115	—	+0,4 –1,7	+0,6 –1,7
120; 125; 130; 135; 140; 150; 155	—	+0,6 –2,0	+0,8 –2,0

Окончание табл. 12

Диаметр	Предельные отклонения при точности прокатки		
	высокой	повышенной	обычной
160; 170; 180; 190; 200	—	—	+0,9 –2,5
210; 220; 230; 240; 250	—	—	+1,2 –3,0

Примечания. Для стали диаметром 5...9 мм, поставляемой в мотках с линейных проволочных станков, допускается отклонение по диаметру в пределах $\pm 0,5$ мм.

6. Видимое скручивание прутка вокруг продольной оси не допускается.

По требованию потребителя допускается изготовление круглой стали промежуточных размеров.

1. По точности прокатки сталь изготавливают высокой точности — А, повышенной точности — Б; обычной точности — В.

2. По требованию потребителя круглую сталь поставляют со следующими отклонениями:

Диаметр	Предельное отклонение, не более
5...9	+0,5
10...19	+0,6
20...25	+0,8
26...31	+0,9
32 и выше	Суммы предельных отклонений для стали обычной точности прокатки (см. выше)

3. Овальность прутка не должна превышать 0,5 суммы предельных отклонений по диаметру. Допускается поставка прутков из инструментальной легированной и быстрорежущей стали с овальностью, не превышающей 0,6 суммы предельных отклонений по диаметру.

4. Сталь диаметром до 9 мм поставляют в мотках, св. 9 мм — в прутках. По соглашению сторон в мотках допускается поставлять сталь диаметром более 9 мм, в прутках — диаметром менее 9 мм.

5. Прутки поставляют длиной от 3 до 10 м из углеродистой обыкновенного качества и низколегированной стали; от 2 до 6 м из качественной углеродистой и легированной стали; от 1,5 до 6 м из высоколегированной стали.

6. Качественную углеродистую, легированную и высоколегированную сталь для изготовления мелких изделий допускается поставлять длиной не менее 0,5 м.

7. Предельные отклонения по длине прутков мерной длины и кратной ей, не должны превышать +30 мм для прутков длиной до 4 м вкл.; +50 мм для прутков длиной св. 4 до 6 м вкл.; +70 мм для прутков длиной св. 6 м.

8. Кривизна прутка не должна превышать 0,5 % длины. По требованию потребителя должны поставляться прутки с кривизной, не превышающей 0,2 % длины.

13. Сталь калиброванная круглая, мм (ГОСТ 7417–75)

Диаметр	Предельные отклонения для стали классов точности			
	h9	h10	h11	h12
3,0	–0,025	–0,040	–0,060	–0,110
3,1; 3,2; 3,3; 3,4; 3,5; 3,6; 3,7; 3,8; 3,9; 4,0; 4,1; 4,2; 4,4; 4,5; 4,6; 4,8; 4,9; 5,0; 5,2; 5,3; 5,5; 5,6; 5,8; 6,0	–0,030	–0,048	–0,075	–0,12
6,1; 6,3; 6,5; 6,7; 6,9; 7,0; 7,1; 7,3; 7,5; 7,7; 7,8; 8,0; 8,2; 8,5; 8,8; 9,0; 9,2; 9,3; 9,5; 9,8; 10,0	–0,036	–0,058	–0,090	0,15
10,2; 10,5; 10,8; 11,0; 11,2; 11,5; 11,8; 12,0; 12,2; 12,5; 12,8; 13,0; 13,2; 13,5; 13,8; 14,0; 14,2; 14,5; 14,8; 15,0; 15,2; 15,5; 15,8; 16,0; 16,2; 16,5; 16,8; 17,0; 17,2; 17,5; 17,6; 17,8; 18,0	–0,043	–0,070	–0,110	–0,180
18,5; 19,0; 19,5; 20,0; 20,5; 21,0; 21,5; 22,0; 23,0; 24,0; 25,0; 26,0; 27,0; 28,0; 29,0; 30,0	–0,052	–0,084	–0,130	–0,210
31,0; 32,0; 33,0; 34,0; 35,0; 36,0; 37,0; 38,0; 39,0; 40,0; 41,0; 42,0; 44,0; 45,0; 46,0; 48,0; 49,0; 50,0	–0,062	–0,100	–0,160	–0,250
52,0; 53,0; 55,0; 56,0; 58,0; 60,0; 61,0; 62,0; 63,0; 65,0	–0,074	–0,120	–0,190	–0,300
67,0; 69,0; 70,0; 71,0; 73,0; 75,0; 78,0; 80,0	—	—	–0,190	–0,300
82,0; 85,0; 88,0; 90,0; 92,0; 95,0; 98,0; 100,0	—	—	–0,220	–0,350

Примечания: Калиброванная сталь, предназначенная для холодной высадки, с техническими требованиями по ГОСТ 10702–78, кроме размеров, предусмотренных табл. 13, должна поставляться следующих размеров (диаметров), мм: 4,35; 4,42; 4,70; 5,27; 5,70; 7,27; 7,4; 8,94; 9,10; 9,65; 10,72; 11,1; 11,6; 12,56; 12,9; 13,6; 14,56; 14,9; 15,6; 16,24; 16,9; 18,24; 18,9; 19,55; 20,24; 21,55; 21,9; 22,55; 22,8; 23,55; 24,9; 25,2; 25,55; 26,55; 27,4; 27,58; 28,55; 29,55; 33,25; 33,9; 34,6; 35,55; 38,93; 39,9; 44,6; 45,89.

Кривизна прутков в зависимости от поля допуска

Диаметр, мм	Предельная кривизна					
	на 1 м длины, мм			на полную длину, %		
	h9	h10, h11	h12	h9	h10, h11	h12
До 25	1,00	2,00	3,00	0,10	0,20	0,30
Св. 25 до 50	0,75	1,00	2,00	0,075	0,10	0,20
Св. 50	0,50	1,00	1,00	0,050	0,10	0,10

По согласованию изготовителя с потребителем величина предельной кривизны может быть уменьшена.

1. Овальность сечения не должна превышать предельных отклонений по диаметру, указанных в табл. 13. По требованию потребителя должна изготавливаться сталь, у которой овальность не превышает половины предельного отклонения по диаметру.

2. Сталь диаметром 5 мм и выше должна изготавливаться в прутках, диаметром менее 5 мм — в прутках по согласованию изготовителя с потребителем. По требованию потребителя сталь диаметром до 25 мм включительно должна изготавливаться в мотках.

Окончание табл. 13

3. Прутки поставляются длиной 2...6,5 м из качественной углеродистой, автоматной, низколегированной и легированной стали и 1,5...6,5 м — из высоколегированной стали. По согласованию изготовителя с потребителем допускается изготавливать прутки больших длин.

4. Предельные отклонения по длине прутков мерной длины и кратной ей не должны превышать +30 мм — при длине прутков до 4 м и +50 мм — при длине прутков св. 4 м.

5. Допустимая косина реза не должна превышать 0,2 диаметра для прутков диаметром до 15 мм; 3 мм — св. 15 до 30 мм; 5 мм — св. 30 мм.

14. Сталь качественная круглая со специальной отделкой поверхности (ГОСТ 14955–77)

Диаметр стали	Предельные отклонения по диаметру (калиту)у							
	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12
0,2; 0,25; 0,3	—	–0,005	–0,010	–0,014	–0,025	—	—	—
0,35; 0,4; 0,45; 0,5; 0,55; 0,6	—	–0,006	–0,010	–0,014	–0,025	—	—	—
0,65; 0,7; 0,75; 0,8; 0,85; 0,9; 0,95	—	–0,006	–0,010	–0,014	–0,025	—	—	—
1,0; 1,05; 1,1; 1,15; 1,2; 1,25; 1,3; 1,35; 1,4; 1,45; 1,5; 1,55; 1,6; 1,65; 1,7; 1,75; 1,8; 1,85; 1,9; 1,95; 2,0; 2,05; 2,1; 2,15; 2,2; 2,25; 2,3; 2,35; 2,4; 2,45; 2,5; 2,55; 2,6; 2,65; 2,7; 2,75; 2,8; 2,85; 2,9; 2,95; 3,0	–0,004	–0,006	–0,010	–0,014	–0,025	–0,040	–0,060	—
3,1; 3,2; 3,3; 3,4; 3,5; 3,6; 3,7; 3,8; 3,9; 4,0; 4,1; 4,2; 4,3; 4,4; 4,5; 4,6; 4,7; 4,8; 4,9; 5,0; 5,1; 5,2; 5,3; 5,4; 5,5; 5,6; 5,7; 5,8; 5,9; 6,0	–0,005	–0,008	–0,012	–0,018	–0,030	–0,048	–0,075	–0,120
6,1; 6,2; 6,3; 6,4; 6,5; 6,6; 6,7; 6,8; 6,9; 7,0; 7,1; 7,2; 7,3; 7,4; 7,5; 7,6; 7,7; 7,8; 7,9; 8,0; 8,1; 8,2; 8,3; 8,4; 8,5; 8,6; 8,7; 8,8; 8,9; 9,0; 9,1; 9,2; 9,3; 9,4; 9,5; 9,6; 9,7; 9,8; 9,9; 10,0	—	—	–0,015	–0,022	–0,036	–0,058	–0,090	–0,150
10,25; 10,5; 10,75; 11,0; 11,25; 11,5; 11,75; 12,0; 12,25; 12,5; 12,75; 13,0; 13,25; 13,5; 13,75; 14,0; 14,5; 15,0; 15,5; 16,0; 16,5; 17,0; 18,0	—	—	—	–0,027	–0,043	–0,070	–0,110	–0,180
18,5; 19,0; 19,5; 20,0; 21,0; 22,0; 23,0; 24,0; 25,0; 26,0; 27,0; 28,0; 29,0; 30,0	—	—	—	–0,033	–0,052	–0,084	–0,130	–0,210
31,0; 32,0; 33,0; 34,0; 35,0; 36,0; 37,0; 38,0; 39,0; 40,0; 41,0; 42,0; 43,0; 44,0; 45,0; 46,0; 47,0; 48,0; 49,0; 50,0	—	—	—	—	–0,062	–0,100	–0,160	–0,250

Примечания: 1. По требованию потребителя допускается изготавливать сталь промежуточных диаметров с предельными отклонениями по ближайшему меньшему диаметру.

2. Сталь подразделяют по качеству отделки поверхности на группы: А — $Ra \leq 0,32$; Б — $Ra \leq 0,63$; В — $Ra \leq 1,25$; Г — $Ra \leq 2,5$; Д — допускаются отдельные дефекты механического происхождения, максимальная глубина залегания которых не превышает предельное отклонение по диаметру; Е — допускаются продольные риски глубиной, не превышающей половины предельного отклонения по диаметру; по виду продукции — на прутки, мотки; по состоянию материала — на термически обработанную — Т и нагартованную — Н.

Окончание табл. 14

Рекомендуемые размеры и виды продукции в зависимости от группы отделки поверхности

Группа отделки поверхности стали	Диаметр, мм	Вид продукции
А, Б, В	0,6...5,0	Прутки
	Св. 5,0 до 2,0	Прутки, мотки
Г	2,0...5,0 20...50	Прутки
	Св. 5,0 до 20	Прутки, мотки
Д	5,0...20,0	
	Св. 20 до 50	Прутки
Е	0,2...0,4	
	0,4...0,6	Прутки, мотки, катушки
	Св. 0,6 до 0,95	Мотки, катушки

1. Овальность стали не должна превышать половины предельного отклонения по диаметру.

2. По требованию потребителя огранка сечения (отклонение от профиля круга) стали диаметром до 2 мм включительно не должна превышать половины предельного отклонения по диаметру, а для диаметров более 2 мм — предельного отклонения по диаметру.

3. Прутки изготавливают следующей длины:

немерные: 0,7...1 м при диаметре 0,2...0,6 мм вкл.; 1,0...1,5 м — св. 0,6 до 2,0 мм вкл.; 1,5...2,0 м — св. 2,0 до 3,0 мм вкл.; 1,9...3,5 м — св. 3,0 до 9,0 мм вкл.; 1,9...4,0 м — св. 9,0 мм;

мерной длины или кратные ей с предельными отклонениями по длине +50 мм.

4. По соглашению изготовителя с потребителем сталь диаметром 10 мм и более изготавливают в прутках длиной до 6 м вкл.

5. Местная кривизна прутков диаметром до 30 мм вкл. не должна превышать на 1 м длины 0,5 мм, а для прутков диаметром св. 30 мм для групп: Г — 0,8 мм и Д — 1,0 мм.

Примеры условных обозначений. Сталь диаметром 5 мм, в прутках, группы В, качества h9, термически обработанная марки 20Х:

Пруток 5–В–h9–Т–20Х ГОСТ 14955–77

То же, в мотках, нагартованная:

Моток 5–В–h9–Н–20Х ГОСТ 14955–77

Сталь диаметром 10 мм, в прутках, группы Б, качества h8, термически обработанная марки У8:

Пруток 10–Б–h8–Т–У8 ГОСТ 14955–77

15. Полоса стальная горячекатаная

Ширина по- лосы b , мм	Масса 1 м полосы, кг, при толщине a , мм											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	18
11	—	0,43	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	0,38	0,47	0,56	0,66	0,75	—	—	—	—	—	—	—
14	0,44	0,55	0,66	0,77	0,88	—	—	—	—	—	—	—
16	0,50	0,63	0,75	0,88	1,00	1,13	1,26	—	1,51	—	—	—
18	0,56	0,71	0,85	0,99	1,13	1,27	1,41	—	1,70	—	—	—
20	0,63	0,78	0,94	1,10	1,26	1,41	1,57	1,73	1,88	2,2	2,51	—
22	0,69	0,86	1,04	1,21	1,38	1,55	1,73	1,90	2,07	2,42	2,76	3,11
25	0,78	0,98	1,18	1,37	1,57	1,77	1,96	2,16	2,36	2,75	3,14	3,53
28	0,88	1,10	1,32	1,54	1,76	1,98	2,20	2,42	2,64	3,08	3,52	3,96
30	0,94	1,18	1,41	1,65	1,88	2,12	2,36	2,59	2,83	3,30	3,77	4,24
32	1,02	1,26	1,51	1,76	2,01	2,26	2,51	2,76	3,01	3,52	4,02	4,52
36	1,13	1,41	1,70	1,98	2,26	2,54	2,83	3,11	3,39	3,96	4,52	5,09
40	1,26	1,57	1,88	2,20	2,51	2,83	3,14	3,45	3,77	4,40	5,02	5,65
45	1,41	1,77	2,12	2,47	2,83	3,18	3,53	3,89	4,24	4,95	5,65	6,36
50	1,57	1,96	2,36	2,75	3,14	3,53	3,92	4,32	4,71	5,50	6,28	7,06
55	1,73	2,16	2,59	3,02	3,45	3,89	4,32	4,75	5,18	6,04	6,91	7,77
60	1,88	2,36	2,83	3,30	3,77	4,24	4,71	5,18	5,65	6,59	7,54	8,48
63	1,98	2,47	2,97	3,46	3,96	4,45	4,95	5,44	5,93	6,92	7,91	8,90
65	2,04	2,55	3,06	3,57	4,08	4,59	5,10	5,61	6,12	7,14	8,16	9,18
70	2,20	2,75	3,30	3,85	4,40	4,95	5,50	6,04	6,59	7,69	8,79	9,89
75	2,36	2,94	3,53	4,12	4,71	5,30	5,89	6,48	7,06	8,24	9,42	10,60
80	2,51	3,14	3,77	4,40	5,02	5,65	6,28	6,91	7,54	8,79	10,05	11,30
85	2,67	3,34	4,00	4,67	5,34	6,00	6,67	7,34	8,01	9,34	10,68	12,01
90	2,83	3,53	4,24	4,95	5,65	6,36	7,06	7,77	8,48	9,89	11,30	12,72
95	2,98	3,73	4,47	5,22	5,97	6,71	7,46	8,20	8,95	10,44	11,93	13,42
100	3,14	3,92	4,71	5,50	6,28	7,06	7,85	8,64	9,42	10,99	12,56	14,13
105	3,30	4,12	4,95	5,77	6,59	7,42	8,24	9,07	9,89	11,54	13,19	14,84
110	3,45	4,32	5,18	6,04	6,91	7,77	8,64	9,50	10,36	12,09	13,82	15,54
120	3,77	4,71	5,65	6,59	7,54	8,48	9,42	10,36	11,30	13,19	15,07	16,96
125	3,92	4,91	5,89	6,87	7,85	8,83	9,81	10,79	11,78	13,74	15,70	17,66
130	4,08	5,10	6,12	7,14	8,16	9,18	10,20	11,23	12,25	14,29	16,33	18,37
140	4,40	5,50	6,59	7,69	8,79	9,89	10,99	12,09	13,19	15,39	17,58	19,78
150	4,71	5,89	7,06	8,24	9,42	10,60	11,78	12,95	14,13	16,48	18,84	21,20
160	5,02	6,28	7,54	8,79	10,05	11,30	12,56	13,82	15,07	17,58	20,10	22,61
170	5,34	6,67	8,01	9,34	10,68	12,01	13,34	14,68	16,01	18,68	21,35	24,02
180	5,65	7,06	8,48	9,89	11,30	12,72	14,13	15,54	16,96	19,78	22,61	25,43
190	5,97	7,46	8,95	10,44	11,93	13,42	14,92	16,41	17,90	20,88	23,86	26,85
200	6,28	7,85	9,42	10,99	12,56	14,13	15,70	17,27	18,84	21,98	25,12	28,26

Примечания: Масса 1 м полосы вычислена по номинальным размерам. Плотность стали

(ГОСТ 103–76)

Масса 1 м полосы, кг, при толщине a , мм											
20	22	25	28	30	32	36	40	45	50	56	60
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3,92	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4,40	4,84	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4,71	5,16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5,02	5,53	6,28	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5,65	6,22	7,06	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6,28	6,91	7,85	8,79	9,42	10,05	—	—	—	—	—	—
7,06	7,77	8,83	9,89	10,60	11,30	12,72	—	—	—	—	—
7,85	8,64	9,81	10,99	11,78	12,56	14,13	15,70	—	—	—	—
8,64	9,50	10,79	12,09	12,95	13,82	15,54	17,27	—	—	—	—
9,42	10,36	11,78	13,19	14,13	15,07	16,96	18,84	21,20	—	—	—
9,89	10,88	12,36	13,85	14,84	15,83	17,80	19,78	22,25	24,73	—	—
10,20	11,23	12,76	14,29	15,31	16,33	18,37	20,41	22,96	25,51	—	—
10,99	12,09	13,74	15,39	16,48	17,58	19,78	21,98	24,73	—	—	—
11,78	12,95	14,72	16,48	17,66	18,84	21,20	23,55	26,49	—	—	—
12,56	13,82	15,70	17,58	18,84	20,10	22,61	25,12	28,26	31,40	35,17	—
13,34	14,68	16,68	18,68	20,02	21,35	24,02	26,69	30,03	33,36	37,36	40,04
14,13	15,54	17,66	19,78	21,20	22,61	25,43	28,26	31,79	35,32	39,56	42,39
14,92	16,41	18,64	20,88	22,37	23,86	26,85	29,83	33,56	37,29	41,76	44,74
15,70	17,27	19,62	21,98	23,55	25,12	28,26	31,40	35,32	39,25	43,96	47,10
16,48	18,13	20,61	23,08	24,73	26,38	29,67	32,97	37,09	41,21	46,16	49,46
17,27	19,00	21,59	24,18	25,90	27,63	31,09	34,54	38,86	43,18	48,35	51,81
18,84	20,72	23,55	26,38	28,26	30,14	33,91	37,68	42,39	47,10	52,75	56,52
19,62	21,59	24,53	27,48	29,44	31,40	35,32	39,25	44,16	49,06	54,95	58,88
20,41	22,45	25,51	28,57	30,62	32,66	36,74	40,82	45,92	51,02	57,14	61,23
21,98	24,18	27,48	30,77	32,97	35,17	39,56	43,96	49,46	54,95	61,54	65,94
23,55	25,90	29,44	32,97	35,32	37,68	42,39	47,10	52,99	58,88	65,94	70,65
25,12	27,63	31,40	35,17	37,68	40,19	45,22	50,24	56,52	62,80	70,33	75,36
26,69	29,36	33,36	37,37	40,04	42,70	48,04	53,38	60,05	66,72	74,73	80,07
28,26	31,09	35,32	39,56	42,39	45,22	50,87	56,52	63,58	70,65	79,12	84,78
29,83	32,81	37,29	41,76	44,74	47,73	53,69	59,66	67,12	74,58	83,52	89,49
31,40	34,54	39,25	43,96	47,10	50,24	56,62	62,80	70,65	78,50	87,92	94,20

принята равной $7,85 \text{ г/см}^3$.

Продолжение табл. 15

По требованию потребителя полосы изготавливают толщиной 4,5 мм всех ширины; шириной 56 мм при толщине до 36 мм вкл.; размерами 8×17, 12×27, 13×22, 13×25, 15×25, 17×25, 17×30, 19×25, 19×28, 19×34, 23×27, 23×36, 24×32, 24×39, 26×36, 26×44, 27×34, 28×17, 32×39, 34×24.

**Предельные отклонения по ширине и толщине полос, мм,
общего назначения и полос для горячей штамповки гаек**

Толщина полосы	Предельные отклонения по толщине полосы		Ширина полосы	Предельные отклонения по ширине полосы	
	повышенной точности	нормальной точности		повышенной точности	нормальной точности
4...6	+0,2 -0,3	+0,3 -0,5	11...60	+0,3 -0,9	+0,5 -1,0
			63; 65	+0,3 -1,1	+0,5 -1,3
Св. 6 до 16	+0,2 -0,4	+0,2 -0,5	70; 75	+0,3 -1,3	+0,5 -1,4
			80; 85	+0,5 -1,4	+0,7 -1,6
Св. 16 до 25	+0,2 -0,6	+0,2 -0,8	90; 95	+0,6 -1,6	+0,9 -1,8
			100; 105	+0,7 -1,8	+1,0 -2,0
Св. 25 до 32	+0,2 -0,7	+0,2 -1,2	110	+0,8 -2,0	+1,0 -2,2
			120; 125	+0,9 -2,4	+1,1 -2,2
36; 40	+0,2 -1,0	+0,2 -1,6	130...150	+1,0 -2,4	+1,2 -2,8
			Св. 150 до 180	+1,2 -2,5	+1,4 -3,2
45; 50	+0,2 -1,5	+0,3 -2,0	» 180 » 200	+1,4 -2,8	+1,7 -4,0
Св. 50 до 60	+0,2 -1,8	+0,3 -2,4			

1. По точности прокатки полосы изготавливают повышенной точности — Б и обычной точности — В.

2. Полосы изготавливают длиной от 3 до 10 м — из углеродистой стали обыкновенного качества, низколегированной и фосфористой; от 2 до 6 м — из углеродистой качественной и легированной стали; по требованию потребителя — до 12 м.

3. Предельные отклонения по длине полос мерной длины и кратной ей, не должны превышать +30 мм для полос длиной до 4 м, +50 мм — св. 4 до 6 м, +70 мм — для полос длиной св. 6 м, +200 мм — для полос, получаемых со штрипсовых станков.

Окончание табл. 15

Предельные отклонения по толщине и ширине*
полос, мм, для холодной штамповки гаек

Толщина полосы	Предельные отклонения по толщине полосы
5	$\pm 0,2$
От 6 до 12	$\pm 0,3$
14; 16	$+0,3$ $-0,4$
18	$\pm 0,4$

* При ширине полосы 11...36 мм предельные отклонения по ширине $\pm 0,4$.

4. По соглашению изготовителя с потребителем полосы изготавливают в рулонах.

5. Притупление углов полос не должно превышать 0,2 толщины, но не более 3 мм.

6. Серповидность полосы не должна превышать 0,2 % длины — для полос класса 1 и 0,5 % длины — для полос класса 2. По соглашению изготовителя с потребителем допускается изготавливать полосы с серповидностью до 0,8 % любой измеряемой длины.

Примеры условных обозначений.

Полоса стальная горячекатаная толщиной 10 мм и шириной 22 мм обычной точности прокатки (В), для холодной штамповки гаек (Ш), с серповидностью по классу 2 по ГОСТ 103–76 стали марки Ст 3кп:

$$\text{ПОЛОСА} \frac{10 \times 22 - \text{В} - \text{Ш} - 2\text{ГОСТ}103 - 76}{\text{Ст}3\text{кпОСТ}14 - 2 - 208 - 87}$$

То же, повышенной точности прокатки (Б), с серповидностью по классу 1, из стали марки 09Г2:

$$\text{ПОЛОСА} \frac{10 \times 22 - \text{Б} - 1\text{ГОСТ}103 - 76}{09\text{Г}2\text{ГОСТ}19281 - 73}$$

16. Сталь полосовая горячекатаная и кованая инструментальная, мм (ГОСТ 4405–75)

Размеры сечения полосы (s×b)	Предельные отклонения (плюсовые) горячекатаной полосы		Размеры сечения полосы (s×b)	Предельные отклонения (плюсовые) горячекатаной полосы		Размеры сечения полосы (s×b)	Предельные отклонения (плюсовые) горячекатаной полосы		Размеры сечения полосы (s×b)	Предельные отклонения (плюсовые) горячекатаной полосы	
	по толщине	по ширине		по толщине	по ширине		по толщине	по ширине		по толщине	по ширине
3×12	0,4	0,8	4×12	0,4	0,8	4×20	0,4	1,0	4×45	0,4	1,8
3×20	0,4	1,0	4×14	0,4	0,8	4×25	0,4	1,3	5×10	0,5	0,8
3×25	0,4	1,3	4×15	0,4	0,8	4×30	0,4	1,3	5×12	0,5	0,8
3×30	0,4	1,3	4×16	0,4	1,0	4×35	0,4	1,8	5×14	0,5	0,8
4×10	0,4	0,8	4×18	0,4	1,0	4×40	0,4	1,8	5×15	0,5	0,8

Продолжение табл. 16

Разме- ры сече- ния полосы ($s \times b$)	Предельные отклонения (плюсовые) го- рячекатаной полосы		Разме- ры сече- ния полосы ($s \times b$)	Предельные отклонения (плюсовые) го- рячекатаной полосы		Разме- ры сече- ния полосы ($s \times b$)	Предельные отклонения (плюсовые) го- рячекатаной полосы		Разме- ры сече- ния полосы ($s \times b$)	Предельные отклонения (плюсовые) го- рячекатаной полосы	
	по тол- щине	по ши- рине		по тол- щине	по ши- рине		по тол- щине	по ши- рине		по тол- щине	по ши- рине
5×16	0,5	1,0	8×16	0,5	1,0	10×90	0,6	3,0	15×40	0,7	1,8
5×20	0,5	1,0	8×18	0,5	1,0	10×100	0,6	3,2	16×20	0,8	1,0
5×25	0,5	1,3	8×20	0,5	1,0	10×120	0,6	3,5	16×22	0,8	1,0
5×30	0,5	1,3	8×22	0,5	1,0	10×140	0,6	4,0	16×25	0,8	1,3
5×35	0,5	1,8	8×25	0,5	1,3	10×160	0,6	4,5	16×30	0,8	1,3
5×40	0,5	1,8	8×27	0,5	1,3	12×16	0,6	1,0	16×32	0,8	1,8
5×45	0,5	1,8	8×30	0,5	1,3	12×20	0,6	1,0	16×35	0,8	1,8
6×10	0,5	0,8	8×35	0,5	1,8	12×22	0,6	1,0	16×38	0,8	1,8
6×12	0,5	0,8	8×40	0,5	1,8	12×25	0,6	1,3	16×40	0,8	1,8
6×14	0,5	0,8	8×45	0,5	1,8	12×28	0,6	1,3	16×45	0,8	2,0
6×16	0,5	1,0	8×50	0,5	2,0	12×30	0,6	1,3	16×50	0,8	2,0
6×18	0,5	1,0	8×60	0,5	2,2	12×35	0,6	1,8	16×60	0,8	2,2
6×20	0,5	1,0	8×65	0,5	2,6	12×40	0,6	1,8	16×65	0,8	2,6
6×22	0,5	1,0	8×80	0,5	2,8	12×45	0,6	2,0	16×80	0,8	2,8
6×25	0,5	1,3	8×100	0,5	3,0	12×50	0,6	2,0	16×100	0,8	3,2
6×28	0,5	1,3	8×120	0,5	3,5	12×60	0,6	2,2	16×130	0,8	3,7
6×35	0,5	1,8	9×25	0,5	1,3	12×65	0,6	2,6	16×160	0,8	4,5
6×30	0,5	1,3	9×30	0,5	1,3	12×75	0,6	2,8	18×22	0,8	1,0
6×40	0,5	1,8	10×14	0,6	0,8	12×90	0,6	3,0	18×25	0,8	1,3
6×45	0,5	1,8	10×16	0,6	1,0	12×100	0,6	3,2	18×27	0,8	1,3
6×50	0,5	2,0	10×18	0,6	1,0	12×120	0,6	3,5	18×30	0,8	1,3
6×60	0,5	2,2	10×20	0,6	1,0	12×140	0,6	4,0	18×34	0,8	1,8
6×65	0,5	2,6	10×25	0,6	1,3	12×160	0,6	4,5	18×35	0,8	1,8
7×12	0,5	0,8	10×30	0,6	1,3	14×160	0,6	1,0	18×42	0,8	1,8
7×14	0,5	0,8	10×35	0,6	1,8	14×20	0,6	1,0	18×60	0,8	2,2
7×18	0,5	1,0	10×40	0,6	1,8	14×22	0,6	1,0	20×22	0,8	1,3
7×30	0,5	1,3	10×45	0,6	1,8	14×25	0,6	1,3	20×25	0,8	1,3
7×35	0,5	1,8	10×50	0,6	2,0	14×30	0,6	1,3	20×30	0,8	1,3
7×40	0,5	1,8	10×60	0,6	2,2	14×35	0,6	1,8	20×32	0,8	1,8
8×12	0,5	0,8	10×65	0,6	2,6	14×40	0,6	1,8	20×35	0,8	1,8
8×14	0,5	0,8	10×80	0,6	2,8	15×22	0,7	1,0	20×38	0,8	1,8

Продолжение табл. 16

Разме- ры се- чения полосы (s×b)	Предельные отклонения (плюсовые) горячекатаной полосы				Разме- ры се- чения полосы (s×b)	Предельные отклонения (плюсовые) горячекатаной полосы			
	горячекатаной		кованой			горячекатаной		кованой	
	по тол- щине	по ши- рине	по тол- щине	по тол- щине		по тол- щине	по ши- рине	по тол- щине	по тол- щине
20×40	0,8	1,8	1,3	2,0	25×200	1,0	5,0	—	—
20×45	0,8	2,0	1,3	2,3	30×35	1,2	1,8	—	—
20×47	0,8	2,0	1,3	2,5	30×40	1,2	1,8	1,8	2,0
20×50	0,8	2,0	1,3	2,5	30×45	1,2	2,0	1,8	2,3
20×60	0,8	2,2	1,3	3,0	30×50	1,2	2,0	1,8	2,5
20×70	0,8	2,6	1,3	3,5	30×60	—	—	1,8	3,0
20×80	0,8	2,8	1,3	4,0	30×90	—	—	1,8	4,0
20×90	0,8	3,0	1,3	4,0	30×95	—	—	1,8	4,0
20×100	0,8	3,2	1,3	4,0	30×100	—	—	1,8	4,0
20×120	0,8	3,5	—	—	30×110	—	—	1,8	4,0
20×160	0,8	4,5	—	—	30×120	—	—	1,8	5,0
20×180	0,8	4,8	—	—	30×125	—	—	1,8	5,0
22×30	1,0	1,3	—	—	30×130	—	—	1,8	5,0
22×35	1,0	1,3	—	—	30×150	—	—	1,8	6,0
22×45	1,0	1,8	1,3	2,0	30×170	1,2	4,5	—	—
22×50	1,0	2,0	1,3	2,5	30×180	1,2	4,8	—	—
24×45	1,0	2,0	1,3	2,3	30×200	1,2	5,0	—	—
24×65	—	—	1,3	3,5	32×160	—	—	1,8	7,0
25×30	1,0	1,3	—	—	35×50	—	—	2,0	2,5
25×35	1,0	1,8	—	—	35×55	—	—	2,0	2,7
25×38	1,0	1,8	—	—	35×60	—	—	2,0	3,0
25×40	1,0	1,8	—	—	35×65	—	—	2,0	3,5
25×50	1,0	2,0	1,5	2,5	35×70	—	—	2,0	3,5
25×55	1,0	2,0	—	—	35×75	—	—	2,0	3,5
25×60	1,0	2,2	1,5	3,0	35×80	—	—	2,0	4,0
25×75	—	—	1,5	3,5	35×120	—	—	2,0	5,0
25×80	—	—	1,5	4,0	35×145	—	—	2,0	6,0
25×85	—	—	1,5	4,0	40×60	—	—	2,0	3,0
25×100	—	—	1,5	4,0	40×80	—	—	2,0	4,0
25×110	—	—	1,5	4,0	40×100	—	—	2,0	4,0
25×135	1,0	4,0	—	—	40×120	—	—	2,0	5,0
25×100	1,0	4,5	—	—	40×160	—	—	2,0	7,0

Продолжение табл. 16

Разме- ры се- чения полосы (s×b)	Предельные отклонения (плюсовые) горячекатаной полосы				Разме- ры се- чения полосы (s×b)	Предельные отклонения (плюсовые) горячекатаной полосы			
	горячекатаной		кованой			горячекатаной		кованой	
	по тол- щине	по ши- рине	по тол- щине	по тол- щине		по тол- щине	по ши- рине	по тол- щине	по тол- щине
40×200	—	—	2,0	8,0	60×90	—	—	4,0	4,0
40×210	1,8	5,0	—	—	60×120	—	—	4,0	5,0
40×300	1,8	7,0	—	—	60×150	—	—	4,0	6,0
45×80	—	—	2,1	4,0	60×180	—	—	4,0	8,0
45×90	—	—	2,1	4,0	60×240	—	—	4,0	12,0
50×100	—	—	2,5	4,0	60×300	—	—	4,0	15,0
50×150	—	—	2,5	6,0	75×100	—	—	5,0	5,0
50×160	—	—	2,5	7,0	75×125	—	—	5,0	6,0
50×175	—	—	2,5	7,0	75×150	—	—	5,0	7,0
50×200	—	—	2,5	8,0	75×200	—	—	5,0	10,0
50×250	—	—	2,5	8,0	75×250	—	—	5,0	12,0
55×80	—	—	3,0	4,0	75×300	—	—	5,0	15,0
60×80	—	—	4,0	4,0	80×300	—	—	5,0	15,0

По согласованию потребителя с изготовителем могут изготавливаться полосы других размеров.

Длина выпускаемой полосовой инструментальной стали, м

Горячекатаная	Кованая, не менее, при ширине	
	до 50 мм	св. 50 мм
от 1,5 до 6,0	1,5	1,0
Предельные отклонения, мм, по длине полос мерной длины и кратной ей		
Длина полосы, м	Горячекатаная	Кованая
До 4	+30	+100
Св. 4 до 6	+50	–50
Св. 6	+70	—

1. Полосы должны быть с острыми кромками. Допускается притупление кромок, не превышающее 0,15 толщины.

2. Серповидность полосы не должна превышать 0,5 % длины. По согласованию потребителя с изготовителем может быть изготовлена полоса с серповидностью не более 0,2 % длины.

3. Отклонение от плоскостности полосы не должно превышать 0,5 % длины. По заказу потребителя должна изготавливаться полоса с отклонением от плоскостности, не превышающем 0,2 % длины.

4. Ромбовидность полосы не должна превышать предельных отклонений на ширину.

17. Сталь горячекатаная шестигранная (ГОСТ 2879–88)

Диаметр a вписанного круга, мм	Предельные отклонения по размеру a , мм, при точности прокатки	
	обычной	повышенной
8; 9	+0,3 –0,5	+0,1 –0,3
10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19		+0,2 –0,3
20; 21; 22; 24; 25	+0,4 –0,5	+0,2 –0,4
26; 28; 30; 32; 34; 36; 38; 40; 42; 45; 48	+0,4 –0,7	+0,2 –0,6
50; 52; 55	+0,4 –1,0	+0,2 –0,9
60; 63; 65; 70; 75	+0,5 –1,1	+0,3 –1,0
80; 85; 90; 95	+0,5 –1,3	+0,4 –1,2
100	+0,6 –1,7	+0,5 –1,5

Примечание. По соглашению сторон шестигранная сталь поставляется размером более 100 мм.

По соглашению изготовителя с потребителем прутки размером до 20 мм изготовляют в мотках.

1. По точности прокатки прокат изготовляют: Б — повышенной точности, В — обычной точности.

2. По длине шестигранная сталь поставляется немерной длины в пределах 2...6 м; мерной длины до 6 м; длины, кратной мерной.

3. Предельные отклонения по длине для шестигранной стали мерной или длины, кратной мерной, не должны превышать +30 мм при длине до 4 м; +50 мм — при длине 4...6 м; +70 мм — при длине св. 6 м.

4. Разность между гранями проката в одном и том же сечении не должна превышать 75 % суммы предельных отклонений.

5. Притупление углов шестигранной стали не должно превышать: 1,0 мм — для $a = 8...14$ мм; 1,5 мм — для $a = 15...25$ мм; 2,0 мм — для $a = 26...55$ мм; 3,0 мм — для $a = 60$ мм и выше.

6. Кривизна прутков шестигранного проката не должна превышать 0,5 % длины.

7. Пруток шестигранной стали должен быть отрезан под прямым углом.

8. Скручивание прутка шестигранного проката не должно превышать производства 4°/м на длину профиля в метрах.

**18. Сталь калиброванная шестигранная
(ГОСТ 8560–78; СТ СЭВ 3617–82)**

Диаметр a вписанного круга (размер «под ключ»), мм	Предельные отклонения, мм, в зависимости от поля допуска		Площадь поперечного сечения, мм ²	Линейная плотность, кг/м
	h10	h11		
3,0	–0,040	–0,060	7,79	0,061
3,2			8,87	0,07
3,5			10,61	0,083
4,0			13,86	0,109
4,5	–0,048	–0,075	17,54	0,138
5,0			21,65	0,170
5,5			26,20	0,206
6,0			31,8	0,245
6,5	–0,058	–0,090	36,59	0,287
7,0			42,44	0,333
8,0			55,43	0,435
9,0			70,15	0,551
10,0			86,60	0,680
11,0	–0,070	–0,110	104,8	0,823
12,0			124,7	0,979
13,0			146,4	1,150
14,0			169,7	1,330
15,0			194,9	1,530
16,0			221,7	1,740
17,0			250,3	1,960
18,0			280,6	2,200
19,0	–0,084	–0,130	312,6	2,450
20,0			346,4	2,720
20,8			374,7	2,940
21,0			381,9	3,000
22,0			419,2	3,290
24,0			498,8	3,920
25,0			541,3	4,250
26,0			585,4	4,600
27,0			631,3	4,960
28,0			679,0	5,330
30,0			779,4	6,120

Окончание табл. 18

Диаметр a вписанного круга (размер «под ключ»), мм	Предельные отклонения, мм, в зависимости от поля допуска		Площадь поперечного сечения, мм ²	Линейная плотность, кг/м
	h10	h11		
32,0	-0,100	-0,160	886,8	6,96
34,0			1001,0	7,86
36,0			1122,0	8,81
38,0			1251,0	9,82
40,0			1386,0	10,88
41,0			1456,0	11,40
42,0			1527,0	11,99
45,0			1754,0	13,77
46,0			1833,0	14,40
48,0	-0,100	-0,160	2000,0	15,66
50,0			2165,0	17,00
53,0	-0,120	-0,190	2433,0	19,1
55,0			2620,0	20,6
56,0			2715,0	21,3
60,0			3118,0	24,5
63,0			3437,0	27,0
65,0			3659,0	28,7
70,0	—	-0,190	4244,0	33,3
75,0			4871,0	38,2
80,0			5542,0	43,5
85,0	—	-0,220	6257,0	49,1
90,0			7015,0	55,1
95,0			7816,0	61,4
100,0			8660,0	68,0

Примечание. По требованию потребителя калиброванную сталь изготавливают других размеров, не указанных в таблице. Предельные отклонения в этом случае должны соответствовать нормам, установленным для ближайшего большего диаметра.

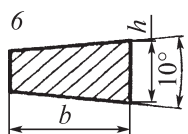
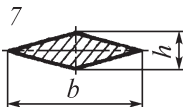
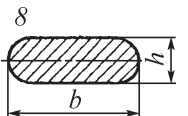
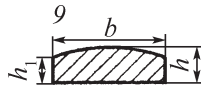
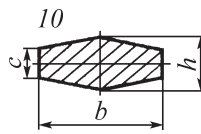
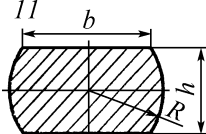
Плотность стали принята равной 7,85 г/см³.

Отклонения по кривизне горячекатаной шестигранной стали приведены в табл. 19.

19. Предельная кривизна в зависимости от поля допуска

Размер прутков, мм	На 1 м длины, мм	На полную длину, %
	h10 и h11	h10 и h11
До 25	2	0,2
Св. 25 до 50	1	0,1
» 50	1	0,1

Продолжение табл. 20

	<i>b</i>	13	14	15	18	22	27	33
	<i>h</i>	3	5	3,5	4	5	6,5	7,5
	<i>b</i>	12,5	16	19	25	32		
	<i>h</i>	3,25	4	5	6,5	8		
	<i>b</i>	18						
	<i>h</i>	3						
	<i>b</i>	22	27					
	<i>h</i>	5,5	7					
	<i>h</i> ₁	4	5					
	<i>b</i>	19	24					
	<i>h</i>	5	7					
	<i>c</i>	1,5	1,5					
	<i>b</i>	12	16	20	25	32		
	<i>h</i>	8	10	12	16	20		
	<i>R</i>	6	8	10	12	16		

1. Профили № 1–10 по точности изготовления подразделяют на группы: высокой точности — А, повышенной точности — Б; обычной точности — В.

2. Предельные отклонения по размерам поперечного сечения для профилей № 1–10 должны соответствовать данным, приведенным ниже.

Номер профиля и размеры поперечного сечения, мм

Точность изготовления (группа)	Предельные отклонения, мм, по размерам					
	<i>d</i> и <i>b</i>			<i>h</i> , <i>h</i> ₁ и <i>c</i>		
	до 12	св. 12 до 22	св. 22	до 3,5	св. 3,5 до 6	св. 6
А	+0,2	+0,3	—	+0,2	+0,2	—
Б	+0,3	+0,4	+0,6	+0,25	+0,3	+0,35
В	+0,4	+0,6	+0,9	+0,3	+0,4	+0,5

Предельные отклонения по размерам поперечного сечения профиля № 11 не должны превышать величин: $\begin{smallmatrix} +0,5 \\ -1,0 \end{smallmatrix}$ мм — при $b \leq 32$ мм; $\begin{smallmatrix} +0,2 \\ -0,5 \end{smallmatrix}$ мм — при $h = 20$ мм; $\begin{smallmatrix} +0,2 \\ -0,7 \end{smallmatrix}$ мм — при $h \leq 16$ мм.

3. Профили изготавливают длиной кратной или мерной ей от 2 до 6 м.

Допускается изготовление профилей не короче 1,5 м в количестве не более 10 % массы партии.

Предельные отклонения по длине прутков не должны превышать плюс 50 мм.

4. Кривизна прутков не должна превышать: для профилей № 3 и 4 — 0,5% длины; № 5, 7 и 10 — 0,6 % длины; № 1 по плоскости — 0,5%, по ребру — 0,2 %

Окончание табл. 20

длины; № 2, 6, 8 и 9 по плоскости — 0,6 %, по ребру — 0,2 % длины; № 11 по плоскости — 0,6 %, по ребру — 0,4 % длины.

5. Радиусы закругления ребер профилей не должны превышать 0,5 мм.

6. У ромбических профилей № 7 и 10 разность сторон, образующих тупой угол, не должна превышать 0,5 мм.

7. Отклонения от правильной геометрической формы поперечного сечения профиля должны быть в пределах, не превышающих допускаемые отклонения по размерам. Вогнутость плоскостей не допускается.

Пример условного обозначения профиля № 1, обычной точности прокатки В мерной длины 3000 мм, размером (h×b) 3×12, марки У12:

Профиль № 1 В — МД — 3×12×3000 — У12ГОСТ 5210—95.

3. ЗАГОТОВКИ, ПОЛУЧАЕМЫЕ НА МАШИНАХ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ

Сортамент

21. Заготовки стальные непрерывно-литые круглые (ТУ 14-1-5252—94)

Параметр	Значение
Диаметр, мм	150...350
Длина, м	4...12
Овальность, % от диаметра	1,5
Отклонение по длине, мм	±50
Кривизна, %	0,3
Косина реза, мм, при диаметре, мм,:	
до 230	7
св. 230	15

Материал: стали углеродистые, легированные, со специальными свойствами по ГОСТ 380—94, ГОСТ 398—81, ГОСТ 801—78, ГОСТ 1050—88, ГОСТ 4543—71, ГОСТ 5632—72, ГОСТ 19281—89, ГОСТ 20072—74.

22. Заготовки стальные непрерывно-литые квадратные и прямоугольные (ТУ 14-1-3348—82)

Параметр	Значение
Поперечное сечение слитков:	
квадратные:	
сторона квадрата, мм	100...360
прямоугольные:	
толщина, мм	200...300
ширина, мм	950...1850

Окончание табл. 22

Параметр	Значение
Длина слитков, м	2...12
Предельные отклонения размеров поперечного сечения, %:	
по толщине	$\pm 2...3$
по ширине	$\pm 2...3$
Отклонение размеров по длине, мм	$\pm 50... \pm 100$
Выпуклость и вогнутость граней	Не более полусуммы предельных отклонений по толщине
Разность диагоналей по сечению заготовки, мм	10
Кривизна заготовки на 1 метр длины, мм	5–10
Косина реза, мм, при стороне, мм:	
до 100	$\leq 6,0$
св. 100 до 250	$\leq 8,0$
св. 250	$\leq 15,0$

Материал: стали углеродистые, легированные, со специальными свойствами по ГОСТ 380–94, ГОСТ 801–78, ГОСТ 1050–88, ГОСТ 1414–75, ГОСТ 5520–79, ГОСТ 5521–93, ГОСТ 11036–75, ГОСТ 20072–74, ГОСТ 21427.1–83

На поверхности заготовок не допускаются наплывы, плены, трещины, пузыри, шлаковые включения.

23. Слитки из алюминия и алюминиевых деформируемых сплавов

Диаметр	Предельные отклонения по диаметру		Предельные отклонения по длине
	группа 1	группа 2	
Круглые слитки (длиной до 6000 мм)			
100...150	+1 −2	+2 −3	+5
150...200	+2 −2	+2 −4	+6
200...300	+2 −3	+3 −5	+7
300...500	+2 −4	+4 −6	+10
500...800	+3 −5	+5 −7	+12
Прямоугольные слитки			
Толщина	Ширина		Длина
(100...200)+5	(400..800) ⁺⁷ _{−4}		До 6000+20
(200...400) + 6	(800...1500) ⁺¹⁰ _{−5}		До 6000+30

Окончание табл. 23

Диаметр	Предельные отклонения по диаметру		Предельные отклонения по длине
	группа 1	группа 2	
Квадратные слитки			
Сторона	Длина		Наибольший радиус закругления углов
(90...160)±5	До 4000+10		20

Слитки из алюминия и алюминиевых деформируемых сплавов делят на группы: 1) алюминий марок А97, А95, А85, А7, А5, А5Е, А0 и алюминиевые сплавы АМг1, АМц, АМцС; 2) сплавы АМг2, АМг3, АМг4, АМг5, АМг6, АД33, АД35, АКМ, АК4, Д1, Д16, ВАК-4, В95, В95-2, АКМц, 1915, 1925.

4. ПРЕССОВАННЫЕ ПРОФИЛИ. СОРТАМЕНТ. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

24. Профили стальные фасонные горячепрессованные (ТУ 3-752–77)

Параметр	Значение
Площадь поперечного сечения, мм ²	400,0...3000,0
Диаметр описанной окружности, мм	30,0...130,0
Минимальная толщина элемента профиля, мм	5,0
Отношение длины элемента профиля к его минимальной толщине	2,0...5,0
Отношение площади элемента к площади поперечного сечения профиля	≥ 0,03
Максимальное отношение глубины паза к его ширине	≤ 0,7
Радиусы закругления минимальные, мм:	
наружные	1,5
внутренние	5,0
Предельные отклонения размеров, мм:	
5,0...20,0	±0,5
21,0...80,0	+1,5; -0,5
св. 80,0	+1,5; -1,0
Предельные отклонения угловых размеров, °	±1,0
Местная кривизна на длине 1,0 м, мм	≤3,0
Скручивание вдоль продольной оси на длине 1,0 м, °	≤3,0
Длина, м	2,0...8,0

Материал: стали конструкционные по ГОСТ 1050–88, ГОСТ 4543–71, ГОСТ 14959–79, инструментальные по ГОСТ 1435–90, ГОСТ 5950–73, быстрорежущие по ГОСТ 19625–83, коррозионно-стойкие и жаропрочные по ГОСТ 5632–72.

Профили поставляют без термообработки с высоким отпускком — из конструкционных и инструментальных сталей, с закалкой — из коррозионно-стойких сталей.

На поверхности профилей допустимы мелкие волосовины глубиной не более 0,2 мм, поверхностные плены, раковины, пузыри, следы смазочного материала, риски, глубина которых не превышает половину допуска. В макроструктуре излома или протравленных темплетов профилей недопустимы усадочные раковины, рыхлоты, пузыри, трещины, расслоения, флокены, шлаковые включения, видимые невооруженным глазом.

25. Профили прессованные из алюминия и алюминиевых сплавов (ГОСТ 8617–81)

Параметр	Значение
Площадь поперечного сечения, см ²	≤200
Диаметр описанной окружности, мм	≤350
Минимальная толщина элемента профиля, мм	1,0
Минимальный радиус скругления, в зависимости от толщины стенки (от 3 до 55 мм), мм	0,5...2,0
Предельные отклонения угловых размеров поперечного сечения при ширине меньшей полки, мм: до 100,0 св. 100,0	±3,0° ±2,0°
Угол скручивания вокруг продольной оси на 1 м длины не должен превышать при ширине базовой поверхности, мм: до 50,0 св. 50,0 до 200,0 « 200,0 « 350,0	3° 2° 1°

26. Предельные отклонения размеров (±) по толщине полок *S* и другим размерам поперечного сечения *a* (рис. 1–3) и *a'* (рис. 4, 5), охватывающих монолитный металл профилей

Номинальный размер поперечного сечения, мм	Отклонения размеров при диаметре описанной окружности, мм							
	до 30	св. 30 до 60	св. 60 до 100	св. 100 до 150	св. 150 до 200	св. 200 до 250	св. 250 до 300	св. 300 до 350
До 1,5	0,15	0,20	0,25	—	—	—	—	—
Св. 1,5 до 3,0	0,20	0,25	0,30	0,30	0,35	0,4	—	—
» 3,0 » 6,0	0,25	0,30	0,35	0,35	0,40	0,45	0,45	0,45
» 6,0 » 10,0	0,30	0,35	0,40	0,40	0,45	0,50	0,50	0,50
» 10,0 » 15,0	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,55	0,60	0,60
» 15,0 » 30,0	0,45	0,50	0,50	0,60	0,65	0,65	0,70	0,70
» 30,0 » 50,0	—	0,60	0,60	0,70	0,75	0,75	0,80	0,80
» 50,0 » 75,0	—	0,70	0,70	0,80	0,85	0,85	0,90	0,90
» 75,0 » 100,0	—	—	0,95	0,90	0,95	0,95	1,00	1,00

Окончание табл. 26

Номинальный размер поперечного сечения, мм	Отклонения размеров при диаметре описанной окружности, мм							
	до 30	св. 30 до 60	св. 60 до 100	св. 100 до 150	св. 150 до 200	св. 200 до 250	св. 250 до 300	св. 300 до 350
» 100,0 » 150,0	—	—	—	1,10	1,20	1,20	1,30	1,30
» 150,0 » 200,0	—	—	—	—	1,30	1,30	1,40	1,40
» 200,0 » 250,0	—	—	—	—	—	1,60	1,60	1,70
» 250,0 » 300,0	—	—	—	—	—	—	1,90	2,00
» 300,0 » 350,0	—	—	—	—	—	—	—	2,00

Примечание. Для профилей общего назначения из алюминия марок А0, А5, А6, АД0, АД1, АДС, АД и алюминиевых сплавов АМц, АМцС, АМг2, АМг3, АМг3С, АМг5, АМг6, АД31, АД33, АД35, АВ, Д1, Д16, АК4, АК6, В95, 1915, 1925, 1925С, ВД1, АВД1, АКМ, 1935.

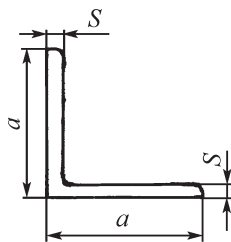


Рис. 1

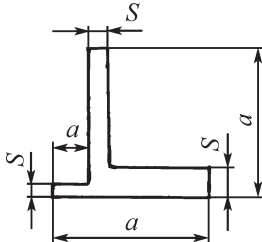


Рис. 2

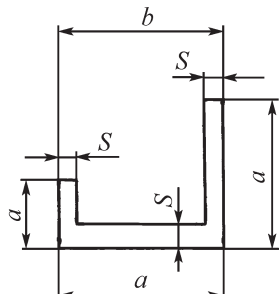


Рис. 3

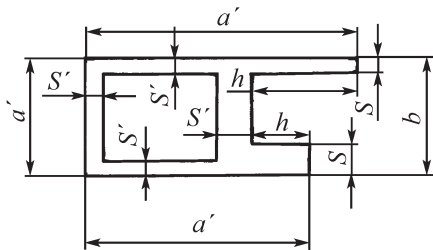


Рис. 4

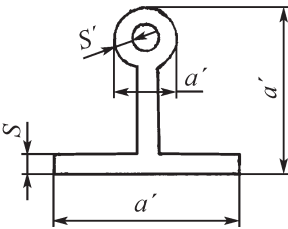


Рис. 5

27. Предельные отклонения размеров (\pm , мм) профилей из сплавов АМг5, АМг6

Номинальный размер поперечного сечения, мм	Отклонения размеров при диаметре описанной окружности, мм							
	до 30	св. 30 до 60	св. 60 до 100	св. 100 до 150	св. 150 до 200	св. 200 до 250	св. 250 до 300	св. 300 до 350
До 1,5	0,20	0,30	0,35	—	—	—	—	—
Св. 1,5 до 3,0	0,30	0,35	0,40	0,40	0,50	0,55	—	—
» 3,0 » 6,0	0,35	0,40	0,50	0,50	0,55	0,65	0,65	0,65
» 6,0 » 10,0	0,40	0,50	0,55	0,55	0,65	0,70	0,70	0,70

Окончание табл. 27

Номинальный размер поперечного сечения, мм	Отклонения размеров при диаметре описанной окружности, мм							
	до 30	св. 30 до 60	св. 60 до 100	св. 100 до 150	св. 150 до 200	св. 200 до 250	св. 250 до 300	св. 300 до 350
» 10,0 » 15,0	0,50	0,55	0,65	0,70	0,75	0,75	0,85	0,85
» 15,0 » 30,0	0,65	0,70	0,70	0,85	0,90	0,90	1,00	1,00
» 30,0 » 50,0	—	0,85	0,85	1,00	1,05	1,05	1,10	1,10
» 50,0 » 75,0	—	1,00	1,00	1,10	1,20	1,20	1,25	1,25
» 75,0 » 100,0	—	—	1,20	1,25	1,35	1,35	1,40	1,40
» 100,0 » 150,0	—	—	—	1,55	1,70	1,70	1,80	1,80
» 150,0 » 200,0	—	—	—	—	1,80	1,80	1,95	1,95
» 200,0 » 250,0	—	—	—	—	—	2,25	2,25	2,40
» 250,0 » 300,0	—	—	—	—	—	—	2,65	2,80
» 300,0 » 350,0	—	—	—	—	—	—	—	3,1

Предельные отклонения по размеру b между свободными концами элементов поперечного сечения профилей устанавливают как сумму предельного отклонения номинального размера, взятого из табл. 26 или 27, и предельного отклонения наклона полок профиля, равного 0,02 высоты полки h .

28. Механические свойства прессованных профилей

Марка сплава	Состояние материала	Состояние образцов	Толщина полки или стенки, мм	Временное сопротивление σ_B , МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение, δ , %
АД0, АД1, АД	БТО	БТО	Любая	59	—	20
АДС	БТО	БТО	«	60	—	20
АМц, АМцС	БТО	БТО	«	98	—	16
АМг2	БТО	БТО	«	147	59	13
АМг2	О	О	«	225	59	13
АМг3	БТО	БТО	«	176	78	12
АМг3	О	О	«	176	78	12
АМг3С	БТО	БТО	«	175	80	14
АМг5	БТО	БТО	«	255	127	15
АМг5	О	О	«	255	127	15
АМг6	БТО	БТО	«	314	157	15
АМг6	О	О	«	314	157	15
АД31, АД31Е	Т	Т	До 100	127	69	13
АД31, АД31Е	Т1	Т1	« 100	196	147	10
АД33	Т	Т	« 100	176	108	15

Окончание табл. 28

Марка сплава	Состояние материала	Состояние образцов	Толщина полки или стенки, мм	Временное сопротивление σ_B , МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение, δ , %
АД33	T1	T1	« 100	265	225	10
АД35	T	T	« 100	196	108	12
АД35	T1	T1	« 100	314	245	8
АВ	T	T	До 150	176	—	14
АВ	T1	T1	« 150	294	225	10
Д1	О	О	Любой	≤245	—	12
Д1	T	T	До 10	333	206	12
Д1	T	T	Св. 10 до 20	353	216	10
Д1	T	T	Св. 20 до 150	363	226	10
Д16	О	О	Любая	≤245	—	12
Д16	T	T	До 5	373	275	10
Д16	T	T	Св. 5 до 10	392	275	10
Д16	T	T	Св. 10 до 150	412	284	10
АК4	T1	T1	До 150	355	—	8
АК6	T1	T1	До 150	353	—	12
В95	О	О	Любая	≤275	—	10
В95	T1	T1	До 10	510	461	6
В95	T1	T1	Св. 10 до 125	530	461	6
1915	О	О	Любая	≤277	176	12
1915	T	T ₍₃₀₋₃₅₎	До 150	343	216	10
1915	T	T ₍₂₋₄₎	До 150	275	176	10
1915	T	T1	Св. 12 до 150	373	245	8
1925	О	О	Любая	≤294	—	
1925	T	T ₍₃₀₋₃₅₎	Св. 12 до 150	343	196	
1925	T	T ₍₂₋₄₎	« 150	275	176	
1925С	T	T	« 100	310	200	10
ВД1	T	T	« 100	333	—	12
АВД1	T	T	« 100	333	—	12
АКМ	О	О	Любая	≤196	—	14
АКМ	T	T	« 100	314	—	14
1935	T	T ₍₃₀₋₃₅₎	« 100	245	155	10
1935	T	T ₍₂₋₄₎	« 100	185	120	12

Примечание. БТО — без термической обработки; О — отожженное; Т — закаленное и естественно состаренное в течение (...—...) суток, Т1 — закаленное и искусственно состаренное.

29. Профили прессованные из магниевых сплавов (ГОСТ 19657–84)

Параметр	Значение
Площадь поперечного сечения, мм	20...1200
Диаметр описанной окружности, мм	До 150
Минимальная толщина элемента, мм	1,0
Радиусы скругления углов, мм, если они не указаны на чертежах, устанавливают при толщине полок, мм:	
до 3	≤0,5
св. 3 до 6	≤0,6
« 6 « 10	≤0,8
« 10 « 18	≤1,0
« 18 « 30	≤1,2
« 30 « 50	≤1,6
« 50	≤2,0
Предельные отклонения радиусов скругления (±), мм:	
до 1	0,25
св. 1 до 3	0,5
« 3 « 5	0,8
« 5 « 10	1,0
« 10 « 30	1,5
Предельные отклонения угловых размеров при толщине полки, мм:	
до 2,0	±4°
св. 2,0	±3°
Скручивание вдоль продольной оси на длине 1 м при ширине базовой поверхности, мм:	
до 50	3°
св. 50 до 150	2°

30. Предельные отклонения размеров, мм, охватывающих монолитный металл (см. рис. 1–3)

Номинальный размер поперечного сечения профиля	Отклонения размеров при диаметре описанной окружности, мм			
	до 30	св. 30 до 60	св. 60 до 100	св. 100 до 150
до 1,5 вкл.	0,15	0,20	0,25	—
св. 1,5 до 3,0 вкл.	0,20	0,25	0,30	0,30
« 3,0 « 6,0 «	0,25	0,30	0,35	0,35
« 6,0 « 10,0 «	0,30	0,35	0,40	0,40
« 10,0 « 15,0 «	0,35	0,40	0,45	0,50
« 15,0 « 30,0 «	0,45	0,50	0,50	0,60
« 30,0 « 50,0 «	—	0,60	0,60	0,70

Окончание табл. 30

Номинальный размер поперечного сечения профиля	Отклонения размеров при диаметре описанной окружности, мм			
	до 30	св. 30 до 60	св. 60 до 100	св. 100 до 150
« 50,0 « 75,0 «	—	0,70	0,70	0,80
« 75,0 « 100,0 «	—	—	0,85	0,90
« 100,0 « 150,0 «	—	—	1,10	1,20

Предельные отклонения размеров поперечного сечения полых профилей (см. рис. 4 и 5) не должны превышать значений для сплошных профилей с коэффициентом 1,5.

Предельные отклонения размера b (см. рис. 3; 4) устанавливают как сумму предельного отклонения номинального размера и предельного наклона полок профиля, равного $0,03h$ (высоты полки).

31. Механические свойства прессованных профилей

Сплав	Состояние материала	Площадь поперечного сечения, см ²	σ _в , МПа	σ _{0,2} , МПа	δ, %	Твердость НВ, МПа
МА1	Гп	Все размеры	215	—	2	390
МА2		«	235	—	6	410
МА2-1		до 5,0	265	155	9	440
МА2-1		св. 5 до 12	255	145	8	410
МА8		Все размеры	205	—	10	390
МА12	Гпис		235	165	5	—
МА14			315	245	6	590

Примечание. Гп — горячепрессованное, Гпис — горячепрессованное и искусственно состаренное.

32. Профили прессованные конструкционные из титановых сплавов (ОСТ 1-92051—76)

Параметр	Значение
Площадь поперечного сечения, см ²	До 50
Диаметр описанной окружности, мм	До 200
Неуказанные радиусы скругления углов, мм:	
для внутренних радиусов	До 6,0
для наружных радиусов	До 2,0
Предельные отклонения указанных радиусов скругления, мм:	
2,0...5,0	±1,5
5,0...10,0	±2,0
10,0...20,0	±3,0
20,0...40,0	±4,0

Окончание табл. 32

Параметр	Значение
Предельные отклонения угловых размеров	$\pm 2,0^\circ$
Кривизна, мм, на длине 1 м	До 2,0
Скручивание вдоль продольной оси на длине 1 м	До 2,0°
Длина, м	До 6,5
Предельные отклонения размеров поперечного сечения, мм, при номинальных размерах сечения, мм:	
до 20	+1,0; -0,5
св. 20 до 50	+1,5; -0,5
« 50 « 80	+2,0; -0,5
« 80 « 120	+2,5; -0,5
« 120 « 150	+3,0; -0,5
« 150 « 200	+3,5; -0,5

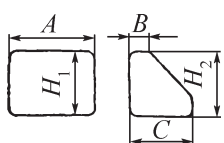
33. Механические свойства профилей в отожженном состоянии (в продольном направлении)

Марка титана или сплава	Площадь поперечного сечения профиля, см ²	Механические свойства, не менее			
		Временное сопротивление, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Ударная вязкость, Дж/см ²
BT1-00	До 50	294	25	55	120
BT0	« 50	392	20	50	100
OT4	« 20	686	10	30	35
	Св. 20	686	10	25	30
OT4-0	До 50	490	20	45	70
OT4-1	« 20	588	15	35	45
	Св. 20	588	12	28	40
BT3-1	До 20	981	12	28	40
	Св. 20	981	10	25	30
BT5	До 50	735	10	25	30
BT5-1	« 50	784	10	25	40
BT6	« 20	902	10	25	30
	Св. 20	902	9	22	30
BT6ч	До 50	883	7	25	35
BT8	« 20	981	9	25	30
	Св. 20	981	8	20	25
BT9	До 20	1030	9	23	25
	Св. 20	1030	8	20	25
BT14	До 20	883	10	32	35
	Св. 20	883	8	25	30

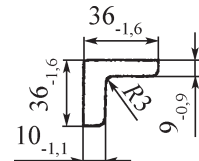
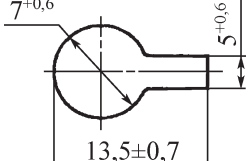
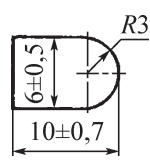
Окончание табл. 33

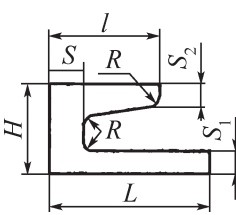
Марка титана или сплава	Площадь поперечного сечения профиля, см ²	Механические свойства, не менее			
		Временное сопротивление, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %	Ударная вязкость, Дж/см ²
BT20	До 20	932	10	25	35
	Св. 20	932	10	22	35
BT22	До 20	1079	8	25	25
	Св. 20	1079	8	20	22

34. Горячепрессованные профили из бронзы и латуни
Профиль из бронзы Бр КН1-3 (ТУ 48-21-354–74)

	Номер профиля	A	B	C	H ₁ ; H ₂
	1	90 _{-3,5}	—	—	90 _{-3,5}
	2	125±2,5	—	—	100±2,5
	3	—	70	120±2,5	125±2,5
	4	130±2,5	—	—	120±2,5

Профили из латуни

 <p>ЛЖМц 59-1-1 (ТУ 48-21-720–81)</p>	 <p>ЛС 59-1 (ТУ 48-21-192–72)</p>	 <p>Л 63 (ТУ 48-21-179–72)</p>
---	---	---

 <p>ЛС 59-1 (ТУ 48-21-135–72)</p>	Номер профиля	L	l	S
	1	21±0,7	15±0,7	5±0,5
	2	26±0,7	21,5±0,7	6,5±0,5
	3	29±0,7	27±0,7	5±0,5
	4	37±0,7	33±0,7	9±0,5
	Номер профиля	S ₁ ; S ₂	H	R
	1	4±0,5	15±0,6	1,5
	2	4±0,5	16±0,6	2,0
	3	5±0,5	19±0,6	2,0
	4	5±0,5	22±0,6	2,0

5. ЛИСТОВОЙ ПРОКАТ. СОРТАМЕНТ

Листовой прокат находит широкое применение в промышленности для изготовления изделий резкой, сваркой, штамповкой. Сортамент различных видов стального листового проката представлен в ГОСТ 19903–74, 19904–90, 82–70, 6009–74, 503–81, 19851–74, 4986–79, 21996–76, 10885–75 и др.

Сталь листовая горячекатаная (ГОСТ 19903–74). 1. Размеры листовой стали по толщине, ширине и длине приведены в приложении к ГОСТ 19903–74 (табл. 35–42).

2. Листовая сталь подразделяется:

по точности прокатки при толщине до 12 мм: повышенной точности — А, нормальной точности — Б;

по плоскостности: особо высокой плоскостности — ПО, высокой плоскостности — ПВ, улучшенной плоскостности — ПУ, нормальной плоскостности — ПН;

по характеру кромки: с необрезной кромкой — НО, с обрезной кромкой — О;

по размерам: с указанием размеров по толщине, ширине и длине в соответствии с размерами, указанными в приложении к ГОСТ 19903–74, форма I;

с указанием размеров по толщине в пределах, указанных в табл. 35, без указания размеров по ширине и длине — форма II;

с указанием размеров, кратных по ширине и длине размерам, указанным в заказе, в пределах, установленных в табл. 35, форма III;

с указанием мерных размеров в пределах, указанных в табл. 35, с интервалами 10 мм по ширине и 50 мм по длине — форма IV. По согласованию потребителя с изгото-

вителем интервалы по ширине и длине могут быть менее указанных.

3. Предельные отклонения по ширине стали с обрезной кромкой, поставляемой в рулонах, не должны превышать +5 мм — при ширине от 500 до 1000 мм вкл.; +10 мм — при ширине св. 1000 мм.

4. Предельные отклонения по ширине листовой стали, прокатанной полистно и поставляемой с необрезной кромкой, не должны превышать более чем на 50 мм предельные отклонения по ширине, указанные в табл. 39.

5. Предельные отклонения по ширине стали, прокатанной на непрерывных станах и поставляемой с необрезной кромкой, не должны превышать +20 мм — при ширине до 1000 мм; +30 мм — при ширине св. 1000 мм.

6. Серповидность стали, поставляемой в рулонах, не должна превышать 10 мм на длине 3 м.

7. Внутренний диаметр рулона должен быть не менее 650 мм и не более 1000 мм.

8. Максимальная масса каждого рулона не должна превышать 20 т.

Пример условного обозначения (согласно ГОСТ 1577–93 «Прокат толстолистовой и широкополосный универсальный из конструкционной качественной стали. Технические условия») на прокат толстолистовой, нормальной точности по толщине (БТ), нормальной плоскостности (ПН), с обрезной кромкой (О), с размерами 6×700××6000 мм по ГОСТ 19903–74, из стали марки 20, с твердостью по ТВ1, механическими свойствами по табл. 3 ГОСТ 1577–93 (М1), с испытанием на изгиб в холодном состоянии (ХИ), в термически обработанном состоянии (ТО), с заполнением документа о качестве вида ДК-1:

Тощина листов	Минимальная и максимальная длина листов при ширине																	
	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800	2900	3000	3200	3400	3600	3800
8; 9; 10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11; 12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 24; 25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26; 28; 30; 32; 34; 36; 38; 40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
42; 45; 48; 50; 52; 55; 60; 65; 70; 75; 80; 85; 90; 95; 100; 105; 110; 120; 125; 130; 140; 150; 160	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2, 5; 2, 8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3, 0; 3, 2; 3, 5; 3, 8; 3, 9	2000 6000	2000 6000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4, 0; 4, 5; 5, 0; 5, 5	2000 6000	2000 6000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6; 7	2000 7000	2000 7000	2000 7000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8; 9; 10	3000 12000	3000 12000	3000 12000	3000 12000	3000 12000	3000 12000	3000 12000	4000 12000	4000 12000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11; 12	3000 12000	3000 12000	3000 10000	3000 10000	3000 10000	3000 10000	3000 10000	4000 10000	4000 9000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 24; 25	3200 11000	3200 10000	3200 10000	3200 10000	3200 10000	3200 10000	3200 10000	3200 10000	3200 10000	3200 10000	3200 10000	3200 10000	—	—	—	—	—	—
26; 28; 30; 32; 34; 36; 38; 40	3200 12000	3200 12000	3200 12000	3200 12000	3200 12000	3200 12000	3200 12000	3200 11000	3200 11000	3200 10000	3200 10000	3200 10000	3200 10000	3200 10000	3200 10000	3400 95000	3600 95000	—
42; 45; 48; 50; 52; 55; 60; 65; 70; 75; 80; 85; 90; 95; 100; 105; 110; 120; 125; 130; 140; 150; 160	3500 9000	3500 9000	3500 9000	3500 9000	3500 9000	3500 9000	3500 9000	3500 9000	3500 9000	3000 9000	3000 9000	3000 9000	3000 9000	3000 9000	3200 9000	3400 8500	3600 8000	3600 7000

36. Размеры, мм, стальных листов, поставляемых в рулонах

Ширина	Толщина	Ширина	Толщина
500; 530; 550; 600; 630	1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,0; 3,2; 3,5; 3,8; 3,9; 4,0; 4,5; 5,3; 5,5; 6,0; 6,3; 7; 7,5; 8; 9; 10; 11; 12	1000; 1100; 1250	1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,0; 3,2; 3,5; 3,8; 3,9; 4,0; 4,5; 5,3; 5,5; 6,0; 6,3; 7; 7,5; 8; 9; 10; 11; 12
		1400; (1420) 1500	1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,0; 3,2; 3,5; 3,8; 3,9; 4,0; 4,5; 5,3; 5,5; 6,0; 6,3; 7,0; 7,5; 8; 9; 10; 11; 12
650; 670; 700 (710); 750; 800; 850; 900; 950	1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,0; 3,2; 3,5; 3,8; 3,9; 4,0; 4,5; 5,3; 5,5; 6,0; 6,3; 7,0; 7,5; 8,0; 9; 10; 11; 12	1600; 1700; 1800	3,0; 3,2; 3,5; 3,8; 3,9; 4,0; 4,5; 5,3; 5,5; 6,0; 6,3; 7,0; 7,5; 8; 9; 10; 11; 12
		1900; 2000	6,0; 6,3; 7,0; 7,5; 8; 9; 10
		2100; 2200	7,0; 7,5; 8; 9; 10

Примечание. По согласованию листовая сталь может быть изготовлена в рулонах других размеров.

37. Предельные отклонения по толщине проката, мм

Толщина стали (листы и рулоны)	Ширина		
	от 500 до 750	св. 750 до 1000	св. 1000 до 1500
От 0,4 до 0,5	$\pm 0,05/\pm 0,07$	—	—
Св. 0,5 » 0,6	$\pm 0,06/\pm 0,08$	—	—
» 0,6 » 0,75	$\pm 0,07/\pm 0,09$	$\pm 0,07/\pm 0,09$	—
» 0,75 » 0,9	$\pm 0,08/\pm 0,1$	$\pm 0,08/\pm 0,1$	—
» 0,9 » 1,1	$\pm 0,09/\pm 0,11$	$\pm 0,09/\pm 0,12$	—
» 1,1 » 1,2	$\pm 0,1/\pm 0,12$	$\pm 0,11/\pm 0,13$	$\pm 0,12/\pm 0,15$
» 1,2 » 1,3	$\pm 0,11/\pm 0,13$	$\pm 0,12/\pm 0,14$	$\pm 0,12/\pm 0,15$
» 1,3 » 1,4	$\pm 0,11/\pm 0,14$	$\pm 0,12/\pm 0,15$	$\pm 0,12/\pm 0,18$
» 1,4 » 1,6	$\pm 0,12/\pm 0,15$	$\pm 0,13/\pm 0,15$	$\pm 0,13/\pm 0,18$
» 1,6 » 1,8	$\pm 0,13/\pm 0,15$	$\pm 0,14/\pm 0,17$	$\pm 0,14/\pm 0,18$
» 1,8 » 2,0	$\pm 0,14/\pm 0,16$	$\pm 0,15/\pm 0,17$	$\pm 0,16/\pm 0,18$
» 2,0 » 2,2	$\pm 0,15/\pm 0,17$	$\pm 0,16/\pm 0,18$	$\pm 0,17/\pm 0,19$
» 2,2 » 2,5	$\pm 0,16/\pm 0,18$	$\pm 0,17/\pm 0,19$	$\pm 0,18/\pm 0,20$
» 2,5 » 3,0	$\pm 0,17/\pm 0,19$	$\pm 0,18/\pm 0,20$	$\pm 0,19/\pm 0,21$
» 3,0 » 3,5	$\pm 0,18/\pm 0,2$	$\pm 0,19/\pm 0,21$	$\pm 0,2/\pm 0,22$
» 3,5 » 3,9	$\pm 0,2/\pm 0,22$	$\pm 0,21/\pm 0,23$	$\pm 0,22/\pm 0,24$
» 3,9 » 5,5	$+0,1 / +0,2$	$+0,15 / +0,3$	$+0,1 / +0,3$
	$-0,4 / -0,4$	$-0,4 / -0,4$	$-0,5 / -0,5$
» 5,5 » 7,5	$-0,5 / +0,1$	$+0,1 / +0,2$	$+0,1 / +0,25$
	$-0,5 / -0,5$	$-0,6 / -0,6$	$-0,6 / -0,6$
» 7,5 » 10,0	$-0,8 / +0,1$	$+0,1 / +0,2$	$+0,2 / +0,3$
	$-0,8 / -0,8$	$-0,8 / -0,8$	$-0,8 / -0,8$
» 10,0 » 12,0	$-0,8 / +0,2$	$+0,1 / +0,2$	$+0,2 / +0,3$
	$-0,8 / -0,8$	$-0,8 / -0,8$	$-0,8 / -0,8$

Окончание табл. 37

Толщина стали (листы и рулоны)	Ширина			
	св. 1500 до 2000	св. 2000 до 2300	св. 2300 до 2700	св. 2700 до 3000
» 0,6 » 0,75	—	—	—	—
» 0,75 » 0,9	—	—	—	—
» 0,9 » 1,1	—	—	—	—
» 1,1 » 1,2	—	—	—	—
» 1,2 » 1,3	—	—	—	—
» 1,3 » 1,4	—	—	—	—
» 1,4 » 1,6	—	—	—	—
» 1,6 » 1,8	—	—	—	—
» 1,8 » 2,0	$\pm 0,17/\pm 0,2$	—	—	—
» 2,0 » 2,2	$\pm 0,18/\pm 0,2$	—	—	—
» 2,2 » 2,5	$\pm 0,19/\pm 0,21$	—	—	—
» 2,5 » 3,0	$\pm 0,2/\pm 0,22$	$\pm 0,23/\pm 0,25$	—	—
» 3,0 » 3,5	$\pm 0,22/\pm 0,24$	$\pm 0,26/\pm 0,29$	—	—
» 3,5 » 3,9	$\pm 0,24/\pm 0,26$	$\pm 0,28/\pm 0,31$	—	—
» 3,9 » 5,5	$+0,2/+0,4$	$+0,25/+0,45$	—	—
	$-0,5/-0,5$	$-0,5/-0,5$	—	—
» 5,5 » 7,5	$+0,2/+0,4$	$+0,25/+0,45$	—	—
	$-0,6/-0,6$	$-0,6/-0,6$	—	—
» 7,5 » 10,0	$+0,2/+0,35$	$+0,25/+0,45$	$-/+0,6$	—
	$-0,8/-0,8$	$-0,8/-0,8$	$-/-0,8$	—
» 10,0 » 12,0	$+0,3/+0,4$	$+0,35/+0,5$	$-/+0,7$	$-/+1,0$
	$-0,8/-0,8$	$-0,8/-0,8$	$-/-0,8$	$-/-0,8$

Примечание. В числителе — для повышенной точности прокатки, в знаменателе — нормальной.

По согласованию изготовителя с потребителем листовой и рулонный прокат изготавливают с предельными отклонениями, мм, по толщине:

Толщина стали	Ширина, мм		Толщина стали	Ширина, мм	
	св. 750 до 1000	св. 1000 до 1500		св. 750 до 1000	св. 1000 до 1500
Св. 1,1 до 1,2	—	$\pm 0,14/-$	Св. 2,0 до 2,2	$\pm 0,17/\pm 0,15$	—
» 1,3 » 1,4	—	$\pm 0,16/-$	» 2,2 » 2,5	$\pm 0,18/\pm 0,16$	—
» 1,4 » 1,6	$-/\pm 0,12$	$\pm 0,16/-$	» 2,5 » 3,0	$\pm 0,19/\pm 0,17$	—
» 1,6 » 1,8	$\pm 0,16/-$	$+0,17/-$			

Примечание. В числителе — для нормальной точности прокатки, в знаменателе — повышенной.

38. Предельные отклонения по толщине стали, мм

Толщина стали	Ширина, мм													
	св. 1000 до 1200	св. 1200 до 1500	св. 1500 до 1700	св. 1700 до 1800	св. 1800 до 2000	св. 2000 до 2300	св. 2300 до 2500	св. 2500 до 2600	св. 2600 до 2800	св. 2800 до 3000	св. 3000 до 3200	св. 3200 до 3400	св. 3400 до 3600	св. 3600 до 3800
Св. 12 до 25	+0,2 -0,8	+0,2 -0,8	+0,3 -0,8	+0,4 -0,8	+0,6 -0,8	+0,8 -0,8	+0,8 -0,8	+1,0 -0,8	+1,1 -0,8	+1,2 -0,8	+1,3 -0,8	+1,4 -0,8	—	—
» 25 » 30	+0,2 -0,9	+0,2 -0,9	+0,3 -0,9	+0,4 -0,9	+0,6 -0,9	+0,8 -0,9	+0,9 -0,9	+1,0 -0,9	+1,1 -0,9	+1,2 -0,9	+1,3 -0,9	+1,4 -0,9	+1,5 -0,9	+1,6 -0,9
» 30 » 34	+0,2 -1,0	+0,3 -1,0	+0,3 -1,0	+0,4 -1,0	+0,5 -1,0	+0,8 -1,0	+0,9 -1,0	+1,0 -1,0	+1,2 -1,0	+1,3 -1,0	+1,4 -1,0	+1,5 -1,0	+1,6 -1,0	+1,7 -1,0
» 34 » 40	+0,3 -1,1	+0,4 -1,1	+0,5 -1,1	+0,6 -1,1	+0,7 -1,1	+0,9 -1,1	+1,0 -1,1	+1,1 -1,1	+1,3 -1,1	+1,4 -1,1	+1,5 -1,1	+1,6 -1,1	+1,7 -1,1	+1,8 -1,1
» 40 » 50	+0,4 -1,2	+0,5 -1,2	+0,6 -1,2	+0,7 -1,2	+0,8 -1,2	+1,0 -1,2	+1,1 -1,2	+1,2 -1,2	+1,4 -1,2	+1,5 -1,2	+1,6 -1,2	+1,7 -1,2	+1,8 -1,2	+1,9 -1,2
» 50 » 60	+0,6 -1,3	+0,6 -1,3	+0,7 -1,3	+0,8 -1,3	+0,9 -1,3	+1,0 -1,3	+1,1 -1,3	+1,2 -1,3	+1,4 -1,3	+1,5 -1,3	+1,6 -1,3	+1,7 -1,3	+1,8 -1,3	+1,9 -1,3
» 60 » 70	—	+0,7 -1,6	+0,8 -1,6	+0,9 -1,6	+1,0 -1,6	+1,1 -1,6	+1,2 -1,6	+1,3 -1,6	+1,4 -1,6	+1,5 -1,6	+1,6 -1,6	+1,7 -1,6	+1,8 -1,6	+1,9 -1,6
» 70 » 80	—	+0,7 -2,2	+0,8 -2,2	+0,9 -2,2	+1,0 -2,2	+1,1 -2,2	+1,2 -2,2	+1,3 -2,2	+1,4 -2,2	+1,5 -2,2	+1,6 -2,2	+1,7 -2,2	+1,8 -2,2	+1,9 -2,2
» 80 » 90	—	+0,8 -2,5	+0,9 -2,5	+1,0 -2,5	+1,1 -2,5	+1,2 -2,5	+1,3 -2,5	+1,4 -2,5	+1,5 -2,5	+1,6 -2,5	+1,7 -2,5	+1,8 -2,5	+1,9 -2,5	+2,0 -2,5
» 90 » 100	—	+0,9 -2,7	+1,0 -2,7	+1,1 -2,7	+1,2 -2,7	+1,3 -2,7	+1,4 -2,7	+1,5 -2,7	+1,6 -2,7	+1,7 -2,7	+1,8 -2,7	+1,9 -2,7	+2,0 -2,7	+2,1 -2,7
» 100 » 115	—	+1,1 -3,1	+1,2 -3,1	+1,3 -3,1	+1,4 -3,1	+1,5 -3,1	+1,6 -3,1	+1,7 -3,1	+1,8 -3,1	+1,9 -3,1	+2,0 -3,1	+2,1 -3,1	+2,2 -3,1	+2,3 -3,1
» 115 » 125	—	+1,4 -3,5	+1,5 -3,5	+1,6 -3,5	+1,7 -3,5	+1,8 -3,5	+1,9 -3,5	+2,0 -3,5	+2,1 -3,5	+2,2 -3,5	+2,3 -3,5	+2,4 -3,5	+2,5 -3,5	+2,6 -3,5
» 125 » 140	—	+1,6 -3,8	+1,7 -3,8	+1,8 -3,8	+1,9 -3,8	+2,0 -3,8	+2,1 -3,8	+2,2 -3,8	+2,3 -3,8	+2,4 -3,8	+2,5 -3,8	+2,6 -3,8	+2,8 -3,8	+2,9 -3,8
» 140 » 160	—	+1,9 -4,2	+2,0 -4,2	+2,1 -4,2	+2,2 -4,2	+2,3 -4,2	+2,4 -4,2	+2,5 -4,2	+2,6 -4,2	+2,7 -4,2	+2,8 -4,2	+2,9 -4,2	+3,0 -4,2	+3,1 -4,2

39. Предельные отклонения, мм, по ширине стали с обрезной кромкой

Ширина	Толщина	Предельные отклонения по ширине	Ширина	Толщина	Предельные отклонения по ширине
До 800	До 3,9	+6	Все ширины	» 16 » 60	+25
Св. 800	Св. 3,9 до 16	+10		» 60 » 100	+50
До 1500		+10		» 100 » 160	+75
Св. 1500		+15			

Примечания: 1. Для листов длиной св. 8 м при толщине до 12 мм предельные отклонения по ширине не должны превышать 0,2 % длины.

2. По согласованию изготовителя с потребителем предельные отклонения по ширине стали с обрезной кромкой, поставляемой в листах, не должны превышать +5 мм — при ширине до 1000 мм вкл., +10 мм — при ширине св. 1000 мм.

40. Предельные отклонения, мм, по длине стали, прокатанной полностью

Длина	Толщина	Предельные отклонения по длине	Длина	Толщина	Предельные отклонения по длине
До 1500	До 3,9	+10	До 3000	Св. 16 до 60	+15
Св. 1500		+15	Св. 3000 до 6000		+25
До 2000		+10	Св. 6000		+40
Св. 2000 до 6000	Св. 3,9 до 16	+25	Все длины	Св. 60 до 100	+50
Св. 6000		+35		Св. 100 до 160	+75

41. Предельные отклонения, мм, по длине стали, прокатанной на непрерывных станах и порезанной на листы

Длина	Толщина	Предельные отклонения по длине
До 1500	До 3,9	+15
Св. 1500		+20
До 4000		+20
Св. 4000	Св. 3,9	+25

42. Отклонения, мм, от плоскостности на 1 м длины стали, поставляемой в листах

Вид плоскостности	Толщина стали, не более		
	0,4...1,4	1,5...3,9	4,0 и более
Особо высокая	8	8	5
Высокая	10	10	8
Улучшенная	15	12	10
Нормальная	20	15	12

Прокат листовой холоднокатаный (ГОСТ 19904–90). Прокат подразделяется:

- 1) по точности изготовления:
по толщине: ВТ — высокая, АТ — повышенная, БТ — нормальная;
по ширине: ВШ — высокая, АШ — повышенная, БШ — нормальная (листовой прокат);

- по длине: (листовой прокат, кроме прокатанного по листу): ВД — высокая, АД — повышенная, БД — нормальная;
2) по плоскостности (листовой прокат): ПО — особо высокая, ПВ — высокая, ПУ — улучшенная, ПН — нормальная;
3) по характеру кромки: О — обрезаемая, НО — необрезаемая.

43. Размеры проката, мм

Наименование размера	Ряд размеров
Толщина	0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55; 0,60; 0,65; 0,70; 0,75; 0,80; 0,90; 1,00; 1,10; 1,20; 1,30; 1,40; 1,50; 1,60; 1,70; 1,80; 2,00; 2,20; 2,5; 2,80; 3,00; 3,20; 3,50; 3,80; 3,90; 4,00; 4,20; 4,50; 4,80; 5,00
Ширина	500; 550; 600; 650; 700; 750; 800; 850; 900; 950; 1000; 1100; 1200; 1250; 1400; 1450; 1500; 1600; 1700; 1800; 1900; 2000; 2100; 2200; 2300; 2350
Длина*	1000; 1100; 1200; 1300; 1400; 1420; 1500; 2000; 2200; 2500; 2800; 3000; 3500; 4000; 4200; 4500; 4750; 5000; 5500; 6000

* Только для листов; развернутая длина рулонов не регламентируется.

44. Размеры проката, изготавливаемого в рулонах, мм

Толщина	Ширина					
	500...1250	1400...1500	1600...1700	1800	1900...2000	2100...2300
0,35...0,50	+	–	–	–	–	–
0,55...0,65	+	+	+	–	–	–
0,70...0,80	+	+	+	+	–	–
0,90...1,00	+	+	+	+	+	–
1,10...1,40	+	+	+	+	+	–
1,50...2,00	+	+	+	+	–	–
2,20...2,50	+	+	+	+	+	+
2,80...3,50	+	+	+	+	–	–

* Изготавливается из низкоуглеродистых марок стали.

45. Размеры проката, изготовляемого в листах, мм

Минимальная и максимальная длина листов при ширине																														
Толщина листов																														
	500	550	600	650	700	750 800 850	900 950	1000 1100	1200 1250	1400 1450	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2350										
0,35...0,50	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1500	1500	1500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—										
0,55...0,75	2500	2500	2500	3000	3000	3000	300	300	3500																					
0,80																														
0,90...1,00																														
1,10...1,30																														
1,40...2,00	1000	1100	1200	1300	1400																2200* 3500									
2,20...2,50	3000	3000	3500	3500	3500	1500 3500										2000 6000														
2,80...3,20																														
3,50...3,90	—	—	—	—	—	—	—	—	—						2000 4750					2500 3500										
4,00...5,00	—	—	—	—	—	—	—	—	—						2000 4750															

* При толщине проката 1,5...2,0 мм минимальная длина листа 2000 мм.

46. Предельные отклонения по толщине проката, мм

Толщина проката	Предельные отклонения по толщине при ширине проката											
	до 1000 вкл.			св. 1000 до 1500 вкл.			св. 1500 до 2000 вкл.			св. 2000 до 2350 вкл.		
	Высокая точность	Повышенная точность	Нормальная точность	Высокая точность	Повышенная точность	Нормальная точность	Высокая точность	Повышенная точность	Нормальная точность	Высокая точность	Повышенная точность	Нормальная точность
От 0,35 до 0,40 вкл.	±0,02	±0,03	±0,04	±0,03	±0,04	±0,05						
Св. 0,40 » 0,50 »	±0,03	±0,04	±0,05	±0,04	±0,05	±0,06						
» 0,50 » 0,65 »	±0,04	±0,05	±0,06	±0,05	±0,06	±0,07	±0,06	±0,07	±0,09			
» 0,65 » 0,90 »	±0,04	±0,06	±0,08	±0,05	±0,06	±0,08	±0,07	±0,09	±0,11			
» 0,90 » 1,20 »	±0,05	±0,08	±0,10	±0,06	±0,09	±0,11	±0,07	±0,10	±0,13			
» 1,20 » 1,40 »	±0,06	±0,09	±0,10	±0,07	±0,10	±0,12	±0,08	±0,12	±0,15			
» 1,40 » 1,50 »	±0,07	±0,10	±0,12	±0,08	±0,11	±0,13	±0,09	±0,13	±0,16			
» 1,50 » 1,80 »	±0,08	±0,12	±0,14	±0,09	±0,12	±0,15	±0,10	±0,14	±0,17	±0,14	±0,17	±0,21
» 1,80 » 2,00 »	±0,08	±0,12	±0,15	±0,09	±0,13	±0,16	±0,10	±0,15	±0,18	±0,15	±0,18	±0,22
» 2,00 » 2,50 »	±0,10	±0,14	±0,17	±0,11	±0,15	±0,18	±0,12	±0,18	±0,20	±0,18	±0,20	±0,23
» 2,50 » 3,00 »	±0,12	±0,16	±0,18	±0,13	±0,16	±0,19	±0,14	±0,19	±0,22	±0,19	±0,21	±0,25
» 3,00 » 3,20 »	±0,13	±0,17	±0,19	±0,14	±0,18	±0,21	±0,18	±0,20	±0,23	±0,20	±0,22	±0,27
» 3,20 » 4,00 »	±0,14	±0,18	±0,20	±0,16	±0,19	±0,22	±0,19	±0,21	±0,24	±0,21	±0,23	±0,28
» 4,00 » 5,00 »	±0,16	±0,19	±0,20	±0,18	±0,20	±0,23	±0,20	±0,22	±0,25	±0,23	±0,25	±0,30

Примечание. По требованию потребителя допускается изготовление проката с минусовыми допускаемыми предельными отклонениями, равными по величине сумме предельных отклонений.

По требованию потребителя предельные отклонения по толщине проката повышенной точности шириной свыше 1500 до 2000 мм не должны превышать значений:

Толщина проката, мм	Предельные отклонения, мм
Св. 0,65 до 0,90 вкл.	$\pm 0,08$
» 1,2 » 1,5 »	$\pm 0,11$
» 1,5 » 2,0 »	$\pm 0,13$
» 2,0 » 2,5 »	$\pm 0,15$
» 2,5 » 3,0 »	$\pm 0,17$

Предельные отклонения по ширине проката с необрезной кромкой должны быть не более +20 мм.

Предельные отклонения по ширине проката с обрезной кромкой не должны превышать значений:

Ширина проката, мм	Предельные отклонения, мм, по ширине проката при точности изготовления		
	высокой	повышенной	нормальной
До 1000 вкл.	+2	+2	+5
Св. 1000 » 1500	+3	+5	+10
» 1500	+3	+7	+10

По требованию потребителя предельные отклонения по ширине проката с обрезной кромкой повышенной и нормальной точности шириной свыше 1000 мм не должны превышать значений:

Ширина проката, мм	Предельные отклонения, мм, по ширине проката при точности изготовления	
	повышенной	нормальной
Св. 1000 до 1500 вкл.	+4	+6
» 1500	+4	+9

Предельные отклонения по ширине проката с обрезной кромкой, про-

катанного полистно, не должны превышать, мм:

+6 — при ширине до 1000 мм;
+10 — при ширине св. 1000 до 1500 мм;
+15 — при ширине св. 1500 мм.

Предельные отклонения по длине листов не должны превышать значений:

Длина, мм	Предельные отклонения, мм, по длине листов при точности изготовления		
	высокой	повышенной	нормальной
До 1500 вкл.	+2	+5	+15
Св. 1500 до 3000 »	+3	+10	+20
» 3000	+3	+20	+25

Предельные отклонения по длине листового проката, прокатанного полистно, не должны превышать, мм:

+10 — при длине листов до 1500 мм;
+15 — при длине листов св. 1500 мм.

По требованию потребителя предельные отклонения по длине листов не должны превышать, мм:

+6 — при длине св. 1500 до 2000 мм (повышенной точности изготовления);
+0,003 номинальной длины — при длине св. 2000 мм (повышенной точности изготовления);

+6 — при длине до 1500 мм (нормальной точности изготовления).

Предельные отклонения от плоскостности листов на 1 м длины не должны превышать значений:

Плоскостность	Отклонения от плоскостности, мм, при ширине проката, мм		
	до 1000	св. 1000 до 1500	св. 1500
Особо высокая	4	5	6
Высокая	8	8	10
Улучшенная	10	12	15
Нормальная	12	15	18

Для проката нормальной плоскостности шириной свыше 1800 мм отклонения от плоскостности не должны превышать 20 мм.

Серповидность проката не должна превышать 3 мм на длине 1 м.

По требованию потребителя серповидность листового проката с обрезной кромкой не должна превышать 2 мм на длине 1 м.

Телескопичность рулонного проката не должна превышать значений:

Толщина проката, мм	Ширина, мм	Телескопичность, мм
До 2,5	До 1000	40
	Св. 1000	60
Св. 2,5	До 1000	30
	Св. 1000	50

Внутренний диаметр рулона должен быть от 500 до 1000 мм.

Масса рулона должна быть от 1,5 до 20 т.

Примеры условных обозначений по ГОСТ 16523–97.

Прокат холоднокатаный рулонный нормальной точности по толщине (БТ), повышенной точности по ширине

(АШ), с обрезной кромкой (О), размером 1×1000 мм, группы прочности ОК360ОВ, категории 1, повышенной отделки поверхности (IIa):

$$\text{БТ – АШ – О – } 1 \times \frac{\text{Рулон} \times 1000 \text{ГОСТ19904 – 90}}{\text{ОК360ОВ1 – IIaГОСТ16523 – 97}}$$

Прокат холоднокатаный листовой высокой точности по толщине (ВТ), повышенной точности по ширине (АШ), нормальной точности по длине (БД), улучшенной плоскостности (ПУ), с обрезной кромкой (О), размером 1×1000×2000 мм, группы прочности К270В, категории 6, высокой отделки поверхности (II), глубокой вытяжки (Г):

$$\text{ВТ – АШ – БД – ПУ – О – } 1 \times 1000 \times \frac{\text{Лист} \times 2000 \text{ГОСТ19904 – 90}}{\text{К270В6 – II – ГГОСТ16523 – 97}}$$

То же, с указанием марки стали:

$$\text{ВТ – АШ – БД – ПУ – О – } 1 \times 1000 \times \frac{\text{Лист} \times 2000 \text{ГОСТ19904 – 90}}{\text{К270В6 – II – Г – 08кпГОСТ16523 – 97}}$$

Прокат стальной горячекатаный, широкополосный универсальный (ГОСТ 82–70)

47. Сортамент проката

Толщина	Ширина	Толщина	Ширина
6,0; 7,0; 8,0;	200, 210, 220, 240,	25,0; 28,0;	650, 670, 700, 750,
9,0; 10,0; 11,0;	250, 260, 280, 300,	30; 32,0; 36,0;	800, 850, 900, 950,
12,0; 14,0;	320, 340, 360, 380,	40,0; 45,0;	1000, 1050
16,0; 18,0;	400, 420, 450, 480,	50,0; 55,0;	
20,0; 22,0;	500, 530, 600, 630,	60,0	

Широкополосную сталь любой толщины от 6 до 60 мм изготавливают шириной от 200 до 1050 мм.

По требованию потребителя допускается изготовление широкополосной стали шириной 160, 170, 180, 190, 350, 440, 470, 520, 550, 580 и 710 мм.

1. Широкополосную сталь изготавливают длиной от 5 до 12 м, а по соглашению сторон до 18 м немерной длины, мерной длины, длины, кратной мерной.

2. Предельные отклонения по размерам широкополосной стали должны соответствовать:

а) по толщине для полос толщиной до 20 мм вкл. $\begin{smallmatrix} +0,3 \\ -0,5 \end{smallmatrix}$ мм, от 22 до 30 мм вкл. $\begin{smallmatrix} +0,4 \\ -0,6 \end{smallmatrix}$ мм, от 32 до 50 мм вкл. $\begin{smallmatrix} +0,5 \\ -0,7 \end{smallmatrix}$ мм, от 55 мм и более $\begin{smallmatrix} +0,6 \\ -0,8 \end{smallmatrix}$ мм;

б) по ширине для полос шириной до 400 мм вкл. $\begin{smallmatrix} +2,0 \\ -3,0 \end{smallmatrix}$ мм, от 420 до 800 мм вкл. $\begin{smallmatrix} +2,0 \\ -2,5 \end{smallmatrix}$ мм, от 850 мм и более $\begin{smallmatrix} +3,0 \\ -4,0 \end{smallmatrix}$ мм;

в) по длине (мерной и кратной мерной) для полос толщиной до 12 мм вкл. +15 мм, от 14 до 25 мм вкл. +25 мм, от 28 мм и более +35 мм.

3. По ребровой кривизне полосы изготавливают двух классов: повышенной точности изготовления — класс А и обычной точности изготовления — класс Б.

Местная ребровая кривизна на 1 м длины полосы не должна превышать 1 мм для класса А, 2 мм для класса Б.

Общая кривизна не должна превышать произведения местной кривизны 1 м полосы на длину полосы в метрах.

4. Допускаемая выпуклость боковых граней не должна превышать 3 мм при толщине полосы до 12 мм вкл., 4 мм при толщине от 14 до 20 мм вкл., 5 мм при толщине от 22 мм и более.

При этом размеры полосы не должны превышать предельных отклонений по ширине.

5. Отклонение от плоскостности широкополосной стали не должно превышать 0,3 % ширины в поперечном направлении, 0,3 % длины в продольном направлении.

6. Косина реза широкополосной стали не должна превышать 1,5 % ширины для полос шириной до 500 мм, 1,0 % ширины для полос шириной свыше 500 мм.

Пример условного обозначения широкополосной стали марки СтЗсп, толщиной 20 мм, шириной 500 мм с ребровой кривизной по классу (А):

$$\text{Полоса} \frac{\text{А20} \times 500 \text{ГОСТ82} - 70}{\text{СтЗспГОСТ14637} - 79}$$

Лента стальная горячекатаная (ГОСТ 6009—74) (размеры ленты, мм)

48. Размер ленты, мм

Ширина	Масса 1 м ленты, кг, при толщине												
	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
20	0,188	0,220	0,236	0,251	0,283	0,314	0,345	0,393	0,471	0,550	—	—	—
22	0,207	0,242	0,259	0,276	0,311	0,345	0,380	0,432	0,518	0,604	—	—	—
25	0,236	0,275	0,294	0,314	0,353	0,393	0,432	0,491	0,589	0,687	—	—	—
28	0,264	0,308	0,327	0,352	0,396	0,440	0,484	0,550	0,659	0,769	—	—	—
30	—	0,330	0,353	0,377	0,424	0,471	0,518	0,589	0,707	0,824	—	—	—
32	—	0,352	0,377	0,402	0,452	0,502	0,553	0,628	0,754	0,879	—	—	—
36	—	0,396	0,424	0,452	0,509	0,565	0,622	0,707	0,848	0,989	—	—	—
40	—	0,440	0,471	0,502	0,565	0,628	0,691	0,785	0,942	1,099	—	—	—
45	—	0,495	0,530	0,565	0,636	0,707	0,777	0,883	1,060	1,236	—	—	—

Окончание табл. 48

Ширина	Масса 1 м ленты, кг, при толщине												
	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
50	—	0,550	0,589	0,628	0,707	0,785	0,864	0,981	1,178	1,374	—	—	—
60	—	—	—	—	—	0,942	1,036	1,178	1,413	1,649	—	—	—
63	—	—	—	—	—	0,989	1,088	1,236	1,484	1,731	—	—	—
65	—	—	—	—	—	1,021	1,123	1,276	1,531	1,786	—	—	—
70	—	—	—	—	—	1,072	1,209	1,374	1,649	1,923	—	—	—
75	—	—	—	—	—	1,178	1,295	1,472	1,766	2,061	—	—	—
80	—	—	—	—	—	1,256	1,382	1,570	1,884	2,198	—	—	—
85	—	—	—	—	—	1,334	1,468	1,668	2,002	2,335	—	—	—
90	—	—	—	—	—	—	—	1,766	2,120	2,473	—	—	—
100	—	—	—	—	—	—	—	1,963	2,355	2,748	—	—	—
110	—	—	—	—	—	—	—	2,159	2,591	3,022	—	—	—
120	—	—	—	—	—	—	—	2,355	2,826	3,297	—	—	—
130	—	—	—	—	—	—	—	2,551	3,062	3,572	—	—	—
150	—	—	—	—	—	—	—	2,944	3,533	4,121	—	—	—
160	—	—	—	—	—	—	—	3,136	3,768	4,396	—	—	—
170	—	—	—	—	—	—	—	3,332	4,004	4,671	—	—	—
175	—	—	—	—	—	—	—	3,434	4,121	4,808	—	—	—
190	—	—	—	—	—	—	—	3,724	4,475	5,220	—	—	—
200	—	—	—	—	—	—	—	3,920	4,710	5,495	6,28	7,065	7,850
215	—	—	—	—	—	—	—	—	5,063	5,907	6,751	7,595	8,439
220	—	—	—	—	—	—	—	—	5,181	6,045	6,908	7,772	8,635

Примечание. Площадь поперечного сечения ленты вычислена по номинальным размерам. При вычислении массы 1 м плотность стали принята равной 7,85 г/см³.

49. Предельные отклонения по толщине ленты для ленты с катаной кромкой, мм

Ширина, мм	Предельные отклонения по толщине	Ширина, мм	Предельные отклонения по толщине
От 20 до 100	+0,15 -0,2	Св. 100 до 150	+0,2 -0,25
		» 150 » 220	+0,25 -0,3

50. Предельные отклонения по толщине ленты для разрезной ленты, мм

Толщина	Ширина исходной ленты			
	св. 200 до 500	св. 500 до 750	св. 750 до 1100	св. 1100 до 1500
1,2	±0,11	±0,12	±0,18	—
Св. 1,2 до 1,4	±0,12	±0,13	±0,16	±0,16

Окончание табл. 50

Толщина	Ширина исходной ленты			
	св. 200 до 500	св. 500 до 750	св. 750 до 1100	св. 1100 до 1500
» 1,4 » 1,8	±0,14	±0,15	±0,16	±0,17
» 1,8 » 2,0	+0,14	+0,15	+0,15	+0,16
	-0,15	-0,16	-0,18	-0,2
» 2,0 » 2,2	+0,14	+0,15	+0,15	+0,17
	-0,16	-0,17	-0,19	-0,21
» 2,2 » 2,5	+0,14	+0,15	+0,16	+0,17
	-0,18	-0,19	-0,2	-0,23
» 2,5 » 3,0	+0,15	+0,16	+0,17	+0,18
	-0,19	-0,2	-0,22	-0,24
» 3,0 » 3,5	+0,16	+0,17	+0,18	+0,22
	-0,2	-0,23	-0,25	-0,28
» 3,5 » 3,8	+0,18	+0,2	+0,2	+0,25
	-0,24	-0,26	-0,3	-0,33
» 3,8 » 5,0	+0,2	+0,2	+0,2	+0,28
	-0,3	-0,36	-0,4	-0,4

Примечание. Предельные отклонения по ширине должны соответствовать $\begin{smallmatrix} +0,8 \\ -1,0 \end{smallmatrix}$ мм для ленты с катаной кромкой шириной до 60 мм; $\begin{smallmatrix} +1,5 \\ -2,0 \end{smallmatrix}$ % ширины для ленты с катаной кромкой шириной св. 60 мм; +2,0 мм для разрезной ленты.

Пример условного обозначения горячекатаной ленты толщиной 3,5 мм, шириной 50 мм из стали марки БСт 2пс:

Лента 3,5×50 БСт 2пс ГОСТ 6009—74

Лента холоднокатаная из низкоуглеродистой стали* (ГОСТ 503—81). Стандарт распространяется на холоднокатаную ленту из низкоуглеродистой стали, предназначенную для гибки, штамповки деталей, для изготовления труб, порошковой проволоки, деталей подшипников и других металлических изделий.

1.** Ленту изготовляют:

по состоянию материала: особо мягкая — ОМ, мягкая — М, полунагартованная — ПН, нагартованная — Н, высоконагартованная — ВН;

по точности изготовления:

по толщине: нормальной точности, повышенной точности — Т, высотой точности — В;

по ширине: нормальной точности, повышенной точности Ш;

по виду и качеству поверхности: первой группы — 1, второй группы — 2, третьей группы — 3, четвертой группы — 4;

по виду кромок: с обрезными кромками, с необрезными кромками — НО;

по микроструктуре: без контроля, с контролем — К;

по серповидности: без контроля, с контролем, класс А, класс Б.

* Марки стали: 08кп, 08пс, 08, 10кп, 10пс, 10.

** Механические свойства, требования к качеству поверхности приведены в технических требованиях ГОСТ 503—81.

2. Лента изготавливается размерами: по толщине: 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09; 0,10; 0,11; 0,12; 0,15; 0,18; 0,20; 0,22; 0,25; 0,28; 0,30; 0,32; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55; 0,57; 0,60; 0,65; 0,70; 0,75; 0,80; 0,85; 0,90; 0,95; 1,0; 1,05; 1,10; 1,15; 1,20; 1,25; 1,30; 1,35; 1,40; 1,45; 1,50; 1,55; 1,60; 1,65; 1,70; 1,75; 1,80; 1,85; 1,90; 1,95; 2,0; 2,10; 2,20; 2,25; 2,30; 2,40; 2,45; 2,50; 2,60; 2,70; 2,80; 2,90; 3,0; 3,10; 3,20; 3,30; 3,40; 3,50; 3,60; 3,80; 4,00 мм.

по ширине: 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29; 30; 32; 34; 36; 38; 39; 40; 42; 43; 45; 46; 48; 50; 52; 53; 54; 55; 56; 60; 63; 65; 66; 70; 73; 75; 76; 80; 83; 85; 86; 90; 93; 95; 96; 100; 102; 103; 105; 110; 112; 114; 115; 117; 120; 123; 125; 130; 135; 140; 142; 145; 150; 155; 160; 165; 170; 175; 180; 185; 190; 195; 200; 205; 210; 215; 220; 225; 230; 235; 240; 245; 250; 260; 270; 280; 290; 300; 310; 320; 325; 330; 340; 350; 360; 370; 380; 390; 400; 410; 420; 430; 440; 450; 460; 470; 480; 490; 500 мм.

3. Ленту высокой точности по толщине изготавливают по согласованию изготовителя с потребителем.

4. Ленту толщиной 2,0 мм и более, шириной менее 20 мм изготавливают по

согласованию изготовителя с потребителем.

5. Ленту толщиной 3,0 мм, предназначенную для подшипников, изготавливают шириной 19 мм.

6. По согласованию изготовителя с потребителем допускается изготовление ленты промежуточных размеров по толщине и ширине с предельными отклонениями по ближайшему большему размеру.

Примеры условных обозначений. Лента особо мягкая, повышенной точности изготовления по толщине, нормальной точности изготовления по ширине, 2-й группы поверхности, с обрезными кромками, с контролем микроструктуры, с контролем серповидности класса А, толщиной 0,20 мм, шириной 60 мм обыкновенного качества:

Лента ОМ—Т—2—К—А—0,2×60 по ГОСТ 503—81

Лента из стали марки 08кп особо мягкая, нормальной точности изготовления по толщине и ширине, 2-й группы поверхности, с обрезными кромками, без контроля микроструктуры и серповидности, толщиной 1,20 мм, шириной 100 мм обыкновенного качества:

Лента 08кп—ОМ—2—1,2×100 ГОСТ 503—81

51. Ширина выпускаемой ленты в зависимости от толщины, мм

Толщина	Ширина	Толщина	Ширина
От 0,05 до 0,18 вкл.	4...260	» 0,80 » 1,00	8...500
Св. 0,18 » 0,40	4...300	» 1,00 » 2,00	9...500
» 0,40 » 0,45	5...300	» 2,00 » 3,00	15...500
» 0,45 » 0,50	5...500	» 3,00 » 4,00	20...500
» 0,50 » 0,80	6...500		

52. Предельное отклонение по толщине ленты, мм

Толщина	Точность изготовления			Толщина	Точность изготовления		
	нормальная	повышенная	высокая		нормальная	повышенная	высокая
От 0,05 до 0,08	−0,015	−0,01	—	Св. 0,95 до 1,30	−0,09	−0,06	−0,04

Окончание табл. 52

Толщина	Точность изготовления			Толщина	Точность изготовления		
	нормальная	повышенная	высокая		нормальная	повышенная	высокая
Св. 0,08 до 0,15	−0,02	−0,015	−0,01	Св. 1,30 до 1,70	−0,11	−0,08	−0,05
Св. 0,15 до 0,25	−0,03	−0,02	−0,015	Св. 1,70 до 2,30	−0,13	−0,10	−0,06
Св. 0,25 до 0,40	−0,04	−0,03	−0,02	Св. 2,30 до 3,00	−0,16	−0,12	−0,08
Св. 0,40 до 0,70	−0,05	−0,04	−0,025	Св. 3,00 до 4,00	−0,20	−0,16	−0,10
Св. 0,70 до 0,95	−0,07	−0,05	−0,03				

53. Предельное отклонение по ширине, мм

Толщина ленты	Обрезная лента						Необрезная лента		
	нормальной точности			повышенной точности					
	до 125 вкл.	св. 125 до 250 вкл.	св. 250 до450	до 125 вкл.	св. 125 до 250 вкл.	св. 250 до 450	до 125 вкл.	св. 125 до 250 вкл.	св. 250 до 450
От 0,05 до 0,60 вкл.	−0,3	−0,4	−0,5	−0,2	−0,25	−0,4	+3	+3,5	+4,0
Св. 0,60 до 1,00 вкл.	−0,4	−0,6	−0,6	−0,25	−0,3	−0,5	+2,0 −2,5	+3,0 −4,0	+4,5 −6,0
Св. 1,00	−0,5	−0,7	−0,8	−0,4	−0,6	−0,7	+2,0 −2,5	+3,0 −4,0	+4,5 −6,0

**Лента из углеродистой стали холоднокатаная резаная (ГОСТ 19851–74)
для холодной штамповки деталей и других целей**

54. Предельные отклонения ленты

Толщина, мм	Предельные отклонения, мм, толщин при точности изготовления		Толщина, мм	Предельные отклонения, мм, толщин при точности изготовления	
	повышенной А	нормальной Б		повышенной А	нормальной Б
От 0,5 до 0,6	±0,05	±0,06	» 1,5 » 1,8	±0,12	±0,14
Св. 0,6 до 0,7	±0,06	±0,07	» 1,8 » 2,0	±0,13	±0,15
» 0,7 » 0,9	±0,06	±0,08	» 2,0 » 2,2	±0,14	±0,16
» 0,9 » 1,1	±0,07	±0,09	» 2,2 » 2,5	±0,15	±0,17
» 1,1 » 1,2	±0,09	±0,11	» 2,5 » 3,0	±0,16	±0,18
» 1,2 » 1,4	±0,10	±0,12	» 3,0 » 3,2	±0,18	±0,20
» 1,4 » 1,5	±0,11	±0,12			

1. Ленту подразделяют:

по качеству отделки поверхности на группы: I, II, III, IV;

по способности к вытяжке на категории: без нормирования вытяжки, нормальная вытяжка — Н, глубокая вытяжка — Г, весьма глубокая вытяжка — ВГ, сложная вытяжка — СВ, особо сложная вытяжка — ОСВ;

по методам испытаний и нормируемым характеристикам: с контролем механических свойств, вытяжки и микроструктуры; без контроля механических свойств, вытяжки и микроструктуры — по штампуемости;

по точности изготовления: нормальной точности — Б, повышенной точности — А.

по штампуемости поставляют сталь категорий Г, ВГ, СВ и маркируют буквами ШТ.

2. Ленту изготавливают толщиной от 0,5 до 3,2 мм — категорий Г, Н и без нормирования вытяжки, от 0,5 до 3,0 мм — категории ВГ, от 0,5 до 2,0 мм — категорий ОСВ и СВ.

3. Ленту изготавливают с обрезной кромкой шириной от 100 до 500 мм с градацией 5 мм. При ширине ленты от 100 до 140 мм толщиной до 1 мм градация по ширине должна быть 1 мм.

4. Предельные отклонения по ширине ленты не должны превышать +1 мм. По соглашению сторон предельные отклонения от −0,5 до +2,0 мм.

5. Разнотолщинность ленты в одном поперечном сечении не должна превышать 1/3 допуска по толщине при ширине ленты от 100 до 300 мм, 1/2 допуска по толщине при ширине ленты св. 300 до 500 мм.

6. Ребровая кривизна ленты не должна превышать 10 мм на 3 м.

7. Внутренний диаметр рулонов — от 300 до 800 мм, наружный — до 1850 мм. Диаметр рулона указывается в заказе. Телескопичность рулонов не должна превышать 15 мм.

Пример условного обозначения. Лента из стали марки 08пс, весьма глубокой вытяжки, повышенной точности изготовления, II-й группы поверхности, с поставкой по штампуемости, толщиной 1,2 мм и шириной 300 мм:

Лента 08пс—ВГ—А—II—ШТ—1,2×300 ГОСТ 19851—74

То же, из стали марки 08кп, глубокой вытяжки, нормальной точности изготовления, I-й группы поверхности, 5-й категории, толщиной 0,5 мм и шириной 200 мм

Лента 08кп—Г—Б—I—5—0,5×200 ГОСТ 19851—74.

Лента холоднокатаная из коррозионно-стойкой и жаростойкой стали (ГОСТ 4986—79)

55. Отклонение ленты по толщине

Толщина, мм	Предельные отклонения, мм, ленты по толщине при точности изготовления			Толщина, мм	Предельные отклонения, мм, ленты по толщине при точности изготовления		
	высокой	повышенной	нормальной		высокой	повышенной	нормальной
0,05 0,08	−0,010	−0,015	−0,02	0,50 0,55 0,60 0,65	—	−0,05	−0,07

Окончание табл. 55

Толщина, мм	Предельные отклонения, мм, ленты по толщине при точности изготовления			Толщина, мм	Предельные отклонения, мм, ленты по толщине при точности изготовления		
	высокой	повышенной	нормальной		высокой	повышенной	нормальной
0,10 0,12 0,15	-0,015	-0,02	-0,03	0,70 0,75 0,80 0,90	—	-0,06	-0,08
		-0,03	-0,04	1,00 1,10 1,20 1,30	—	-0,08	-0,10
0,20 0,25	-0,02			1,40 1,50 1,60	—	-0,10	-0,12
				-0,05	1,70 1,80	—	-0,13
0,30	-0,03	-0,04	-0,06	1,90 2,00	—	-0,16	-0,18
0,35 0,40 0,45	—						

Примечания: 1. По согласованию изготовителя с потребителем ленту изготавливают с двусторонними предельными отклонениями по толщине с сохранением поля предельных отклонений.

2. По согласованию с потребителем допускается изготовление ленты промежуточных размеров по толщине с предельными отклонениями по ближайшему большему размеру.

3. Мягкую ленту группы 3 изготавливают толщиной 0,10 мм и выше.

56. Предельные отклонения ленты по ширине в зависимости от толщины, мм

Ширина	Толщина		
	от 0,05 до 0,5	св. 0,5 до 1,0	св. 1,0 до 2,0
От 6 до 100	-0,3	-0,4	-0,6
Св. 100 » 300	-0,5	-0,6	-0,8
» 300 » 410	-0,6	-0,8	-1,0

Примечание. По соглашению с потребителем ленту изготавливают с двусторонними предельными отклонениями по ширине с сохранением поля предельных отклонений.

57. Предельные отклонения по ширине для необрезной ленты, мм

Ширина	Предельные отклонения
До 125 вкл.	+1,9
	-2,5
Св. 125 « 250 вкл.	+3,1
	-4,0
» 250	-10,0

Стандарт распространяется на холоднокатаную ленту в рулонах из высоколегированной коррозионно-стойкой и жаростойкой стали марок: 20X13, 30X13; 12X13, 20X13H4Г9, 09X15H8Ю, 08X17H5МЗ, 12X21H5Т, 15X18H12С4ТЮ, 12X17Г9АН4, 10X17H13М2Т, 10X17H13М3Т, 12X18H9, 17X18H9, 08X18H10, 08X18H10Т, 12X18H10Т, 12X18H10Е, 03X18H12-ВИ, 20X23H18, 12X25H16Г7АР, 06ХН28МДТ толщиной от 0,05 до 2,0 мм и шириной от 6 до 410 мм.

1. Лента подразделяется:

по виду обработки: мягкая — М, полунагартованная — ПН, нагартованная — Н, высоконагартованная — ВН;

по виду поверхности: первая группа — 1, вторая группа — 2, третья группа — 3;

по качеству поверхности: классы А, Б, В, Г, Д, Е;

по точности изготовления: высокой точности — ВТ, повышенной точности — ПТ, нормальной точности — НТ;

по виду кромок: необрезная — НО, обрезная — О.

2. Ленту изготавливают в рулонах без сварных швов и со сварными швами. Длина ленты должна быть не менее 10 м. Допускается изготовление ленты длиной от 1,5 до 10 м не более 10 % массы партии. Расстояние между сварными швами в ленте должно быть не менее 4 м, а для ленты толщиной 1,5...2 мм — не менее 3 м. Места сварки должны быть отмечены. На ленте толщиной 0,3 мм и менее места сварки отмечают с одной стороны.

3. Ленту изготавливают шириной от 10 до 410 мм с градацией в 5 мм. Ленту толщиной до 1,0 мм и шириной до 100 мм изготавливают с меньшей градацией ширины, но не менее 1 мм.

По требованию потребителя обрезную ленту изготавливают шириной от 6,0 до 10,0 мм.

4. По требованию потребителя обрезную ленту изготавливают с серповидностью на 1 м длины не более 3 мм для ленты шириной до 50 мм, 2 мм — шириной св. 50 мм.

5. Отклонение от плоскостности на отрезке ленты длиной 1 м не должна превышать 3 мм для ленты шириной менее 50 мм, 5 мм — шириной св. 50 до 190 мм, 10 мм — шириной св. 190 мм.

При изготовлении мягкой ленты толщиной 0,2 мм и менее, шириной свыше 190 мм без дрессировки отклонение от плоскостности не должно превышать 15 мм.

Примечание. Допускается продольный равномерный изгиб.

6. Внутренний диаметр рулонов для ленты толщиной 0,2 мм и более — от 150 до 600 мм, для ленты толщиной менее 0,2 мм — не более 400 мм.

По согласованию с потребителем лента изготавливается с заданным внутренним диаметром рулона.

Примеры условных обозначений. Лента холоднокатаная толщиной 0,5 мм, шириной 100 мм, мягкая, нормальной точности, обрезная из стали марки 12X13, третьей группы, поверхности класса А:

Лента 0,5×100—М—НТ—0—12X13—3—А ГОСТ 4986—79.

То же, толщиной 0,2 мм, шириной 400 мм, полунагартованная, повышенной точности, необрезная из стали марки 12X18H9Т, второй группы, класса Г:

Лента 0,2×400—Н—ПТ—Н0—12X18H9Т—2—Г ГОСТ 4986—79.

Лента стальная холоднокатаная термообработанная (ГОСТ 21996–76)**58. Сортамент**

Толщина	Ширина	Толщина	Ширина
0,05	5...40	0,28	5...100
0,055	5...40	0,30	5...100
0,06	5...40	0,32	5...100
0,07	5...40	0,35	5...100
0,08	5...40	0,36	5...100
0,09	5...40	0,40	5...100
0,10	5...100	0,45	6...100
0,11	5...100	0,50	6...100
0,12	5...100	0,55	7...100
0,13	5...100	0,60	7...100
0,14	5...100	0,63	8...100
0,15	5...100	0,65	8...100
0,16	5...100	0,70	8...100
0,18	5...100	0,80	8...100
0,20	5...100	0,90	9...100
0,22	5...100	1,0	9...100
0,24	5...100	1,1	10...100
0,25	5...100	1,2	10...100
0,26	5...100	1,3	10...100

Примечание. По соглашению сторон допускается изготовление ленты промежуточных размеров по толщине и ширине.

Ленту изготавливают из стали марок 50, 60 по ГОСТ 1050–88; У7А, У8А, У9А, У10А, У12А по ГОСТ 1435–90; 70, 65Г, 60С2А, 70С2ХА по ГОСТ 14959–79, 13Х по ГОСТ 5950–73.

Лента подразделяется:

по прочности (временному сопротивлению разрыву или твердости) на группы: первую — 1П ($\sigma_B = 1300...1600$ МПа), вторую — 2П ($\sigma_B = 1610...1900$ МПа), третью — 3П (σ_B свыше 1900 МПа);

по точности изготовления:

по толщине: нормальной точности, повышенной точности — ПТ, высокой точности — ВТ;

по ширине: нормальной точности, повышенной точности — ПШ, высокой точности — ВШ;

по виду поверхности: светлокаленную, светлокаленную с цветами побежалости — Ц, полированную — С, колоризованную — К, темную — Ч;

по виду кромок: с обрезными кромками, с обработанными кромками — Д.

Лента в зависимости от толщины изготавливается шириной 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 30, 32, 35, 36, 38, 40, 45, 50, 55, 60, 65,

70, 74, 75, 76, 80, 83, 85, 90 и 100 мм. Исходя из приведенного ряда, диапазон размеров изготавливаемой ленты приведен в табл. 58.

Примеры условных обозначений. Лента 1-й группы прочности, повышенной точности изготовления по толщине, нормальной точности по ширине, с обработанными кромками, светлокалая с цветами побежалости, размером 0,7×20 мм:

Лента 1П–ПТ–Ц–Д–0,7×20 ГОСТ 21996–76.

То же, 3-й группы прочности, повышенной точности изготовления по толщине и ширине, с обрезными кромками, светлокалая, размером 0,3×15 мм:

Лента 3П–ПТ–ПШ–0,3×15 ГОСТ 21996–76.

59. Предельные отклонения по толщине ленты, мм

Толщина	Точность изготовления		
	нормальная	повышенная	высокая
0,05...0,08	–0,015	–0,010	–0,008
0,09...0,15	–0,02	–0,015	–0,010
0,16...0,25	–0,03	–0,020	–0,015
0,26...0,40	–0,04	–0,03	–0,02
0,45...0,70	–0,05	–0,04	–0,03
0,80...0,90	–0,07	–0,05	–0,04
1,0...1,3	–0,09	–0,06	–0,05

60. Предельные отклонения по ширине ленты, мм

Толщина	Ширина		
	до 80		св. 80
	Точность изготовления		
	нормальная		
До 0,5	–0,3		–0,4
Св. 0,5 до 1,3	–0,4		–0,5
Толщина	Ширина		
	до 80	св. 80	до 80
	Точность изготовления		
	повышенная		высокая
До 0,5	–0,2	–0,3	–0,1
Св. 0,5 до 1,3	–0,3	–0,4	–0,2

П р и м е ч а н и е . Для лент неотвественного назначения по требованию потребителя допускается увеличение предельных отклонений в 1,5 раза по сравнению с отклонениями ленты нормальной точности, установленными выше.

Сталь листовая горячекатаная двухслойная коррозионно-стойкая (ГОСТ 10885–85)

Стандарт распространяется на горячекатаные двухслойные коррозионно-стойкие листы с основным слоем из углеродистой или низколегированной стали и плакирующим слоем из коррозионно-стойких сталей и сплавов, никеля и монель-металла.

1. Сталь подразделяют:

по толщине коррозионно-стойкого слоя на нормальной толщины и повышенной — К;

по сплошности сцепления слоев на классы 01, 0, 1, 2, 3.

Толщину коррозионно-стойкого слоя и класс листов по сплошности сцепления слоев указывают в заказе.

2. Двухслойные листы изготавливают толщиной от 4 до 60 мм. По согласованию изготовителя с потребителем двухслойные листы изготавливают толщиной до 120 мм.

3. Предельные отклонения по толщине листов должны соответствовать: для листов, изготовленных пакетной прокаткой, толщиной от 4 до 7 мм вкл. и для листов всех толщин, полученных другими методами — по ГОСТ 19903–74, нормальной точности прокатки;

для листов от 8 до 60 мм — требованиям табл. 61.

61. Предельные отклонения по толщине листов

Толщина листа, мм	Предельное отклонение, мм	Толщина листа, мм	Предельное отклонение, мм
8	$\pm 0,8$	28	$\pm 1,7$
9, 10	$\pm 0,9$	30, 32	$\pm 1,8$
11	$\pm 1,0$	34, 36	$\pm 1,9$
12, 13, 14	$\pm 1,1$	38, 40	$\pm 2,0$
15, 16, 17	$\pm 1,2$	42	$\pm 2,1$
18, 19	$\pm 1,3$	45	$\pm 2,2$
20, 21, 22	$\pm 1,4$	48	$\pm 2,3$
24, 25	$\pm 1,5$	50, 52	$\pm 2,4$
26	$\pm 1,6$	55, 60	$\pm 2,5$

4. Предельные отклонения по длине и ширине листов и косина реза — по ГОСТ 19903–74.

Для двухслойных листов, изготовленных пакетной прокаткой, допускается превышение предельных отклонений по длине и ширине до норм, установленных для удвоенной толщины листа.

Отклонения от плоскостности на 1 м длины двухслойных листов толщиной 8 мм и более не должны превышать 15 мм. Для листов толщиной менее 8 мм отклонения от плоскостности не должно превышать 20 мм.

Пример условного обозначения двухслойной листовой стали толщиной 8 мм, шириной 1500 мм и длиной 6000 мм с основным слоем из стали марки Ст 3сп, ка-

тегории 2 по ГОСТ 14637–89 и коррозионно-стойким слоем из стали марки 12Х18Н10Т по ГОСТ 5632–72, без контроля сплошности сцепления слоев, с повышенной толщиной коррозионно-стойкого слоя:

$$Лист \frac{8 \times 1500 \times 6000 \text{ ГОСТ } 10885 - 85}{(СмЗсн2 + 12 \text{ Х18Н10Т}) - К}$$

62. Толщина коррозионно-стойкого слоя и общая толщина выпускаемых листов, мм

Толщина листа	Толщина коррозион- но-стойкого слоя		Толщина листа	Толщина коррозион- но-стойкого слоя	
	нормальная	повышенная		нормальная	повышенная
4	0,7...1,1	—	16, 17, 18, 19, 20, 21	2,5...3,5	3,0...4,0
5	0,8...1,2		22, 24, 25, 26	3,0...4,0	—
6	1,0...1,6		28, 30	3,5...5,0	
7	1,2...1,8		32, 34, 36, 38,	4,0...6,0	
8, 9	2,0...3,0		40, 42, 45, 48,		
10, 11, 12, 13, 14, 15	2,0...3,0	3,0...4,0	50, 52, 55, 60		

Примечание. 1. Для листов толщиной св. 60 мм толщина коррозионно-стойкого слоя устанавливается по согласованию изготовителя с потребителем.

63. Минимальная и максимальная длина двухслойных листов, мм

Толщина	Ширина							
	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
4; 5	2000 6000	2000 6000	2000 6000	2000 6000	2000 6000	2000 6000	—	—
6; 7	2000 6000	2000 6000	2000 6000	2000 6000	2000 6000	2000 6000	—	—
8; 9; 10	2000 7500	2000 7600	2000 7000	2000 7000	2000 6700	2000 6300	—	—
11; 12; 13	2000 7100	2000 7600	2000 7000	2000 6600	2000 7500	2000 7000	—	—
14; 15; 16; 17	4500 6300	4500 7700	4000 7200	4000 7000	4000 6600	3700 7200	—	—
18; 19; 20; 21; 22; 24; 25	4300 6000	4000 7200	2500 6700	3000 6200	3200 5800	3700 5500	—	3600 8400
26; 28; 30; 32; 34; 36; 38; 40	—	—	4400 9400	4100 8800	3800 8300	3600 7800	3400 7400	3200 7000
42; 45; 48; 50; 52; 55; 60	—	—	—	4000 6200	3600 5800	3400 5500	3200 5200	3200 4900

Глава 3

ДЕФОРМИРОВАНИЕ СТАЛИ И СПЛАВОВ

1. МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛИ И СПЛАВОВ

Для определения допустимых режимов нагрева, температурных интерваловковки и штамповки, степени, скорости и схемы деформации, условий охлаждения поковок, а также необходимого усилия машины следует знать зависимость механических свойств обрабатываемого материала от температуры деформирования. Механические свойства (пластичность, прочность, сопротивление деформации, ковкость и др.) определяют различными методами испытаний на растяжение, сжатие, кручение и ударный изгиб.

Под пластичностью понимают свойства твердых тел необратимо деформироваться без разрушения под действием механических нагрузок или внутренних напряжений, под ковкостью — способность металлов и сплавов подвергаться ковке или объемной штамповке без разрушения. Численные значения указанных свойств описывают механическими характеристиками.

Самым распространенным является испытание на статическое растяжение. Им выявляют следующие механические характеристики материалов: σ_T — предел текучести (физический); $\sigma_{0,2}$ — предел текучести (условный); σ_B — временное сопротивление; σ_p — истинное сопротивление разрыву; δ — относительное удлинение после разрыва; ψ — относительное сужение после разрыва; δ_p — относительное равномерное удлинение; $\sigma_{ш}$ — истинное временное сопротивление.

Численные значения критериев ковкости находят по следующим формулам:

$$K_\psi = \psi / \sigma_B; K_\delta = \delta / \sigma_B.$$

Учитывая, что значение δ зависит от начальной длины образца, предпочтение отдают критерию K_ψ . По значению K_ψ и пятибалльной шкале определяют способность металлов и сплавов к ковке и объемной штамповке (табл. 1).

Испытанием на сжатие (осадку) находят $\varepsilon_{тр.ос}$ — степень деформации, соответствующую появлению на свободной поверхности образца первой трещины при осадке, а также $q_{ос}$ — удельную силу при осадке в зависимости от степени деформации. При испытании на сжатие контактное трение оказывает существенное влияние на получаемые результаты. Коэффициент трения имеет переменное значение в зависимости от температуры, состояния контактирующих поверхностей, химического состава материалов и других факторов, учесть которые трудно.

Испытание на кручение находит все большее применение для исследования механических свойств. При кручении не образуется шейка, как при растяжении, или бочкообразность, как при сжатии. Срез и отрыв происходят по разным поверхностям. Это позволяет четко оценить сопротивление срезу и отрыву. Напряженное состояние характеризуется коэффициентом жесткости

$$K_{ж} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_i},$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ — главные напряжения; σ_i — интенсивность напряжений.

Этим методом можно определить пластичность хрупких и высокопластичных материалов. Метод чувствителен к структуре металла.

1. Пятибалльная шкала ковкости

Балл	K_ψ , % / МПа	Ковкость
1	Менее 0,01	Не куется
2	0,01...0,3	Низкая
3	0,31...0,8	Удовлетворительная
4	0,81...2	Хорошая
5	2,1 и выше	Отличная

2. Механические характеристики стали и сплавов при ковочных температурах

Марка стали (сплава)	Темпе- ратура испыта- ния, °С	σ _{0,2}	σ _в	δ	ψ	K _ψ , % МПа	Состояние стали (сплава), размеры образца, скорости деформирования v и деформации ε̇
		МПа		%			
Ст3сп	700	74	100	57	96	0,96	Кованое и нормализованное; d ₀ = 6 мм, l ₀ = 30 мм; v = 16 мм/мин, ε̇ = 0,009 с ⁻¹
	800	52	64	95	95	1,48	
	900	39	66	84	100	1,51	
	1000	25	44	79	100	2,27	
	1100	19	32	80	100	3,12	
	1200	14	25	84	100	4,0	
Ст5сп	900	41	67	62	90	1,34	Прокатанное; d ₀ = 5 мм, l ₀ = 25 мм; v = 2 мм/мин, ε̇ = 0,001 с ⁻¹
	1000	38	50	81	90	1,8	
	1100	14	29	65	90	3,1	
	1200	—	16	59	90	5,6	
	1250	—	11	58	90	8,2	
15	700	—	56	74	92	1,64	Прокатанное d ₀ = 10 мм, l ₀ = 50 мм; v = 1,1 мм/мин, ε̇ = 0,0004 с ⁻¹
	800	—	58	36	44	0,76	
	900	—	45	46	49	1,1	
	1000	—	28	52	80	2,9	
	1100	—	24	58	100	4,17	
	1200	—	14	65	100	7,14	
20	700	—	130	39	94	0,72	Деформированное; d ₀ = 5 мм, l ₀ = 25 мм; v = 10 мм/мин, ε̇ = 0,007 с ⁻¹
	800	—	91	51	96	1,05	
	900	—	77	55	100	1,3	
	1000	—	48	63	100	2,08	
	1100	—	31	59	100	3,23	
	1200	—	20	64	100	5,0	
25	700	131	150	42	76	0,51	Прокатанное; d ₀ = 6 мм, l ₀ = 30 мм; v = 16 мм/мин, ε̇ = 0,009 с ⁻¹
	800	70	98	57	78	0,78	
	900	48	81	53	95	1,18	
	1000	41	55	60	100	1,83	
	1100	24	39	60	100	2,55	
	1200	14	23	101	100	4,37	
	1300	20	25	67	100	4,00	

Продолжение табл. 2

Марка стали (сплава)	Темпе- ратура испыта- ния, °С	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	ψ	K_ψ , $\frac{\%}{\text{МПа}}$	Состояние стали (сплава), размеры образца, скорости деформирования v и деформации $\dot{\epsilon}$
		МПа		%			
30	800	—	100	49	98	0,98	Деформированное; $d_0 = 5$ мм, $l_0 = 25$ мм; $v = 10$ мм/мин, $\dot{\epsilon} = 0,007$ с ⁻¹
	900	—	79	53	100	1,27	
	1000	—	49	56	100	2,04	
	1100	—	31	58	100	3,23	
	1200	—	21	64	100	4,76	
35	700	104	152	34	75	0,49	Прокатанное; $d_0 = 6$ мм, $l_0 = 30$ мм; $v = 16$ мм/мин, $\dot{\epsilon} = 0,009$ с ⁻¹
	800	70	112	56	100	0,89	
	900	56	75	54	100	0,13	
	1000	31	52	69	100	0,19	
	1100	21	40	74	100	0,25	
	1200	15	27	85	100	0,38	
	1300	18	23	58	100	0,44	
40	700	101	145	48	85	0,64	Прокатанное; $d_0 = 6$ мм, $l_0 = 30$ мм; $v = 16$ мм/мин, $\dot{\epsilon} = 0,009$ с ⁻¹
	800	71	113	52	97	0,86	
	900	55	72	55	100	1,4	
	1000	29	50	69	100	2,02	
	1100	24	38	60	100	2,55	
	1200	16	26	87	100	3,91	
	1300	12	18	56	100	5,73	
45	700	140	171	43	96	0,56	Кованое и нормализованное; $d_0 = 6$ мм, $l_0 = 30$ мм; $v = 16$ мм/мин, $\dot{\epsilon} = 0,009$ с ⁻¹
	800	65	115	58	98	0,85	
	900	55	77	62	100	1,30	
	1000	35	51	72	100	1,96	
	1100	22	35	81	100	2,86	
	1200	15	27	90	100	3,7	
50	700	89	117	39	98	0,83	Деформированное; $d_0 = 10$ мм, $l_0 = 50$ мм; $v = 5$ мм/мин, $\dot{\epsilon} = 0,002$ с ⁻¹
	800	46	83	45	100	1,20	
	900	16	51	43	100	1,96	
	1000	11	37	35	100	2,7	
	1100	8	29	41	100	3,45	
	1200	8	22	49	100	4,54	
20X	700	120	152	48	89	0,58	Кованое и нормализованное; $d_0 = 6$ мм, $l_0 = 30$ мм; $v = 16$ мм/мин, $\dot{\epsilon} = 0,009$ с ⁻¹
	800	64	95	56	74	0,78	
	900	52	86	64	88	1,02	
	1000	34	52	78	97	1,88	
	1100	21	34	98	100	2,94	
	1200	14	26				

Продолжение табл. 2

Марка стали (сплава)	Темпе- ратура испыта- ния, °С	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	ψ	$K_\psi, \frac{\%}{\text{МПа}}$	Состояние стали (сплава), размеры образца, скорости деформирования v и деформации $\dot{\epsilon}$
		МПа		%			
40X	700	145	178	33	78	0,44	Кованое и отожженное; $d_0 = 10 \text{ мм}, l_0 = 50 \text{ мм};$ $v = 5 \text{ мм/мин},$ $\dot{\epsilon} = 0,002 \text{ с}^{-1}$
	800	55	100	59	98	0,98	
	900	42	71	65	100	1,41	
	1000	24	44	68	100	2,27	
	1100	11	26	68	100	3,85	
	1200	11	24	70	100	4,17	
45Г2	800	99	122	34,5	98	0,8	Прокатанное и отожженное; $d_0 = 10 \text{ мм}, l_0 = 50 \text{ мм};$ $v = 20 \text{ мм/мин},$ $\dot{\epsilon} = 0,007 \text{ с}^{-1}$
	900	56	75	54	98	1,31	
	1000	36	50	59	100	2,00	
	1100	27	36	63	100	2,78	
	1200	17	26	72	100	3,85	
18ХГТ	700	208	240	46,5	88	0,37	Кованое и нормализованное; $d_0 = 6 \text{ мм}, l_0 = 30 \text{ мм};$ $v = 50 \text{ мм/мин},$ $\dot{\epsilon} = 0,03 \text{ с}^{-1}$
	800	78	140	51	94	0,67	
	900	55	97	55	96	0,99	
	1000	51	80	58	100	1,25	
	1100	25	44	62	100	2,27	
	1200	14	26	66	100	3,85	
30ХМ	800	82	130	69	67	0,52	Прессованное; $d_0 = 6 \text{ мм}, l_0 = 30 \text{ мм};$ $v = 16 \text{ мм/мин},$ $\dot{\epsilon} = 0,09 \text{ с}^{-1}$
	1000	42	57	64	100	1,75	
	1200	14	27	55	100	3,7	
34Х1МA	800	84	145	64	82	0,57	
	1000	41	61	42	55	0,9	
	1200	17	28	52	100	3,57	
12ХН3A	700	71	144	41	78	0,54	Кованое и отожженное; $d_0 = 10 \text{ мм}, l_0 = 50 \text{ мм};$ $v = 5 \text{ мм/мин},$ $\dot{\epsilon} = 0,002 \text{ с}^{-1}$
	800	30	91	61	97	1,07	
	900	27	69	58	100	1,45	
	1000	23	45	63	100	2,22	
	1100	23	44	73	100	2,27	
	1200	12	25	70	100	4,00	
	1250	10	18	67	100	5,56	
12Х2Н4A	800	101	115	35	91	0,79	Прокатанное; $d_0 = 10 \text{ мм}, l_0 = 50 \text{ мм};$ $v = 20 \text{ мм/мин},$ $\dot{\epsilon} = 0,007 \text{ с}^{-1}$
	900	65	82	56	96	1,17	
	1000	44	55	65	100	1,82	
	1100	32	43	64	100	2,33	
	1200	20	29	58	100	3,45	
	1250	15	23	62	100	4,35	

Продолжение табл. 2

Марка стали (сплава)	Темпе- ратура испыта- ния, °С	σ _{0,2}	σ _в	δ	ψ	K _ψ , % МПа	Состояние стали (сплава), размеры образца, скорости деформирования v и деформации ε̇
		МПа		%			
12Х1МФ	850	74	84	36	85	1,01	Образцы вырезаны из труб в продольном направлении; d ₀ = 6 мм, l ₀ = 30 мм; v = 16 мм/мин, ε̇ = 0,009 с ⁻¹
	900	52	67	44	97	1,45	
	950	45	61	54	98	1,61	
	1000	36	51	60	100	1,96	
	1050	31	43	56	100	2,33	
	1100	23	32	58	100	3,12	
	1150	14	18	55	100	5,56	
25Х1МФ	800	146	178	43	88	0,49	Кованое и отожженное; d ₀ = 6 мм, l ₀ = 30 мм; v = 16 мм/мин, ε̇ = 0,009 с ⁻¹
	900	121	133	43	80	0,60	
	1000	66	76	42	64	0,84	
	1100	39	44	33	40	0,91	
	1200	21	25	61	100	4,00	
	1250	19	22	49	100	4,54	
25Х2М1Ф	800	270	280	29	72	0,26	Кованое; d ₀ = 6 мм, l ₀ = 30 мм; v = 16 мм/мин, ε̇ = 0,009 с ⁻¹
	850	260	270	35	86	0,32	
	900	220	230	34	90	0,39	
	950	126	144	40	93	0,65	
	1000	85	95	60	92	0,97	
	1100	54	62	61	81	1,31	
	1200	33	38	55	84	2,20	
	1250	28	29	58	100	3,45	
20Х1М1Ф1ТР	700	676	726	6,5	37	0,05	Прокатанное; d ₀ = 6 мм, l ₀ = 30 мм; v = 16 мм/мин, ε̇ = 0,009 с ⁻¹
	800	238	288	19	85	0,30	
	900	94	158	46	93	0,59	
	1000	85	107	36,5	100	0,93	
	1100	38	47	50	100	2,14	
	1200	24	32	82	100	3,1	
	1300	14	18		100	5,38	
20Х2Н4А	700	64	124	56	78	0,63	Кованое и отожженное; d ₀ = 10 мм, l ₀ = 50 мм; v = 5 мм/мин, ε̇ = 0,002 с ⁻¹
	800	46	57	64	95	1,67	
	900	37	57	58	100	1,75	
	1000	22	38	63	100	2,63	
	1100	20	28	59	100	3,57	
	1150	16	26	65	100	3,85	
	1220	16	22	71	100	4,55	

Продолжение табл. 2

Марка стали (сплава)	Темпе- ратура испыта- ния, °С	σ _{0,2}	σ _в	δ	ψ	K _ψ , % МПа	Состояние стали (сплава), размеры образца, скорости деформирования v и деформации ε̇
		МПа		%			
20ХГНР	800	117	121	40,5	84	0,69	Прокатанное; d ₀ = 10 мм, l ₀ = 50 мм; v = 320 мм/мин, ε̇ = 0,007 с ⁻¹
	900	74	82	46,5	100	1,21	
	1000	33	45	58	100	2,22	
	1100	19	30	63	100	3,33	
	1200	15	25	76	100	4,00	
	1250	16,5	23	82	100	4,35	
30ХГСА	700		178	59	51	0,29	Прокатанное; d ₀ = 5 мм, l ₀ = 25 мм; v = 2 мм/мин, ε̇ = 0,0013 с ⁻¹
	800		87	62	75	0,86	
	900		54	84	90	1,67	
	1000		38	71	90	2,36	
	1100		21	59	90	4,27	
	1200		10	85	90	9,00	
30ХГСН2А	800	100	119	33	77	0,65	Прокатанное; d ₀ = 10 мм, l ₀ = 50 мм; v = 20 мм/мин, ε̇ = 0,007 с ⁻¹
	900	65	83	51	77	0,93	
	1000	43	50	53	90	1,8	
	1100	26	33	67	100	3,03	
	1200	15	22	69	100	4,54	
	1250	11	17	77	100	5,88	
34ХН1МА	800	89	151	49	84	0,56	Прессованное; d ₀ = 6 мм, l ₀ = 30 мм; v = 16 мм/мин, ε̇ = 0,009 с ⁻¹
	1000	39	58	46	65	1,12	
	1200	20	27	45	100	3,7	
34ХН3МА	825	89	148	62	98	0,66	Кованое; d ₀ = 6 мм, l ₀ = 30 мм; v = 16 мм/мин, ε̇ = 0,009 с ⁻¹
	925	52	93	67	98	1,05	
	1025	37	67	72	100	1,49	
40ХН2МА (40ХНМА)	700		187	17	32	0,17	Прокатанное; d ₀ = 5 мм, l ₀ = 25 мм; v = 2 мм/мин, ε̇ = 0,001 с ⁻¹
	800		91	66	90	1,00	
	900		51	69	90	1,76	
	1000		36	75	90	2,50	
	1100		24	72	90	3,75	
	1200		14	62	90	6,43	
18Х2Н4МА	700	230	270	31	69	0,26	Прокатанное; d ₀ = 6 мм, l ₀ = 30 мм; v = 16 мм/мин, ε̇ = 0,009 с ⁻¹
	800	74	133	35	34	0,26	
	900	56	81	22	23	0,28	
	1000	42	56	31	36	0,64	
	1100	24	37	63	100	2,70	
	1200	20	25	46	100	4,00	

Продолжение табл. 2

Марка стали (сплава)	Темпе- ратура испыта- ния, °С	σ _{0,2}	σ _в	δ	ψ	K _ψ , % МПа	Состояние стали (сплава), размеры образца, скорости деформирования v и деформации ε̇
		МПа		%			
38Х2МЮА	800	100	114	66	95	0,84	Прокатанное и отожженное; d ₀ = 10 мм, l ₀ = 50 мм; v = 20 мм/мин, ε̇ = 0,007 с ⁻¹
	900	68	80	58	97	1,12	
	1000	41	51	66	98	1,92	
	1100	22	32	73	100	3,12	
	1200	15	22	77	100	4,54	
	1250	11	18	95	100	5,56	
20Х3МВФ	1000	29	51	59	97	1,90	Кованое, нормализованное; d ₀ = 6 мм, l ₀ = 30 мм; v = 12 мм/мин, ε̇ = 0,009 с ⁻¹
	1050	23	40	64	100	2,50	
	1100	22	35	67	100	2,86	
	1150	15	28	65	100	3,57	
Р18	700	380	440	23	61	0,14	Кованое и отожженное; d ₀ = 6 мм, l ₀ = 30 мм; v = 16 мм/мин, ε̇ = 0,009 с ⁻¹
	800	189	220	42	79	0,36	
	900	154	194	46	71	0,37	
	1000	116	119	54	53	0,44	
	1100	61	65	70	83	1,27	
	1200	25	27	49	80	3,00	
	1250	19	20	41	79	3,90	
60С2	800	85	99	66	97	0,98	Прокатанное; d ₀ = 10 мм, l ₀ = 50 мм; v = 20 мм/мин, ε̇ = 0,007 с ⁻¹
	900	56	68	62	96	1,42	
	1000	36	43	61	100	2,33	
	1100	20	26	78	100	3,85	
	1200	12	15	90	100	67	
ШХ15	1000	33	43	61	100	2,33	
	1050	29	49	62	100	2,04	
	1100	20	30	72	100	3,33	
	1150	17	26	61	100	3,85	
	1200	18	22	76	100	4,54	
9Х1	700	105	134	59	95	0,71	Прокатанное и термически обработанное; d ₀ = 6 мм, l ₀ = 30 мм; v = 16 мм/мин, ε̇ = 0,009 с ⁻¹
	800	89	122	57	95	0,77	
	900	45	77	54	94	1,22	
	1000	34	52	67	98	1,89	
	1100	17	29	80	100	3,45	
	1200	11	19	73	100	5,26	
9Х2	700	126	165	45	83	0,5	Кованое и отожженное; d ₀ = 6 мм, l ₀ = 30 мм; v = 16 мм/мин, ε̇ = 0,009 с ⁻¹
	800	103	139	47	91	0,67	
	900	108	137	50	84	0,61	
	1000	42	51	54	100	1,96	
	1100	21	31	75	100	3,23	
	1200	11	12	71	100	8,33	

Продолжение табл. 2

Марка стали (сплава)	Темпе- ратура испыта- ния, °С	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	ψ	K_ψ , $\frac{\%}{\text{МПа}}$	Состояние стали (сплава), размеры образца, скорости деформирования v и деформации $\dot{\epsilon}$
		МПа		%			
9ХС	800	110	134	26,5	68	0,51	Прокатанное; $d_0 = 10 \text{ мм}$, $l_0 = 50 \text{ мм}$; $v = 20 \text{ мм/мин}$, $\dot{\epsilon} = 0,007 \text{ с}^{-1}$
	900	66	75	41	95	1,27	
	1000	43	47	52	86	1,82	
	1100	20	32	54	83	2,58	
	1200	15	20	83	100	5,00	
	1250	12	16	78	100	6,19	
60ХН	700		96	40	100	1,04	Деформированное; $d_0 = 10 \text{ мм}$, $l_0 = 50 \text{ мм}$; $v = 5 \text{ мм/мин}$, $\dot{\epsilon} = 0,002 \text{ с}^{-1}$
	800		79	40	100	1,27	
	900		56	46	100	1,79	
	1000		39	40	100	2,56	
	1100		28	38	100	3,57	
	1200		23	39	100	4,35	
90ХМФ	800	125	160	35	92	0,58	Образцы вырезаны из поков- ки валка в тангенциальном направлении; $d_0 = 6 \text{ мм}$, $l_0 = 30 \text{ мм}$; $v = 16 \text{ мм/мин}$, $\dot{\epsilon} = 0,009 \text{ с}^{-1}$
	900	94	114	51	98	0,81	
	1000	50	65	71	100	1,54	
	1100	26	38	82	100	2,63	
	1180	20	27	83	100	3,71	
У7	700		110	64	90	0,81	Деформированное и отожженное; $d_0 = 5 \text{ мм}$, $l_0 = 25 \text{ мм}$; $v = 10 \text{ мм/мин}$, $\dot{\epsilon} = 0,007 \text{ с}^{-1}$
	800		96	65	100	1,04	
	900		64	60	100	1,56	
	1000		37	62	100	2,70	
	1100		22	65	100	4,54	
	1200		17	92	100	5,88	
У8	700		106	58	91	0,87	Деформированное и отожженное; $d_0 = 5 \text{ мм}$, $l_0 = 25 \text{ мм}$; $v = 10 \text{ мм/мин}$, $\dot{\epsilon} = 0,007 \text{ с}^{-1}$
	800		93	58	100	1,08	
	900		56	62	100	1,79	
	1000		34	62	100	2,94	
	1100		21	80	100	4,76	
	1200		15	69	100	6,67	
У10	700		107	50	87	0,82	То же, что для У8
	800		92	52	100	1,09	
	900		56	59	100	1,79	
	1000		30	70	100	3,33	
	1100		18	78	100	5,56	
	1200		16	86	100	6,25	

Продолжение табл. 2

Марка стали (сплава)	Темпе- ратура испыта- ния, °С	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	ψ	K_ψ , $\frac{\%}{\text{МПа}}$	Состояние стали (сплава), размеры образца, скорости деформирования v и деформации $\dot{\epsilon}$
		МПа		%			
У12	700		106	60	68	0,64	Деформированное и отожженное; $d_0 = 5 \text{ мм}$, $l_0 = 25 \text{ мм}$; $v = 10 \text{ мм/мин}$, $\dot{\epsilon} = 0,007 \text{ с}^{-1}$
	800		102	52	96	0,94	
	900		61	40	100	1,64	
	1000		35	65	100	2,86	
	1100		18	74	100	5,56	
	1200		15	92	100	6,67	
Х12М	700		143	43,5	68	0,48	Кованое и отожженное; $d_0 = 10 \text{ мм}$, $l_0 = 50 \text{ мм}$; $v = 1,1 \text{ мм/мин}$, $\dot{\epsilon} = 0,0004 \text{ с}^{-1}$
	800		125	32,5	58	0,46	
	900		83	46	54	0,65	
	1000		47	36	49	1,04	
	1100		25	48	48	1,92	
	1200		8	3,1	13,5	1,70	
3Х3В8Ф	800	121	136	24	90	0,66	Кованое; $d_0 = 10 \text{ мм}$, $l_0 = 50 \text{ мм}$; $v = 20 \text{ мм/мин}$, $\dot{\epsilon} = 0,007 \text{ с}^{-1}$
	900	91	114	50	74	0,65	
	1000	79	85	45	64	0,75	
	1100	46	50	60	62	1,25	
	1200	30	34	52	98	2,88	
	1250	34	38	54	100	2,63	
12Х13	800	70	84	47,5	95	1,14	Прокатанное; $d_0 = 10 \text{ мм}$, $l_0 = 50 \text{ мм}$; $v = 20 \text{ мм/мин}$, $\dot{\epsilon} = 0,007 \text{ с}^{-1}$
	900	64	80	60	81	1,01	
	1000	39	54	68	90	1,65	
	1100	24	34	72	96	2,87	
	1200	14	20	62	95	4,78	
20Х13	800	60	71	51	98	1,38	Прокатанное; $d_0 = 6 \text{ мм}$, $l_0 = 30 \text{ мм}$; $v = 16 \text{ мм/мин}$, $\dot{\epsilon} = 0,009 \text{ с}^{-1}$
	850	81	119	43	53	0,45	
	900	76	106	56	74	0,7	
	950	54	79	58	76	0,96	
	1000	40	62	59	65	1,95	
	1100	25	38	65	90	2,4	
	1150	21	32	84	100	3,12	
30Х13	800	79	91	67	98	1,07	Деформированное; $d_0 = 6 \text{ мм}$, $l_0 = 30 \text{ мм}$; $v = 16 \text{ мм/мин}$, $\dot{\epsilon} = 0,009 \text{ с}^{-1}$
	900	95	133	82	82	0,62	
	1000	51	78	70	97	1,24	
	1100	38	44	71	98	2,23	
	1200	26	30	74	98	3,26	

Продолжение табл. 2

Марка стали (сплава)	Темпе- ратура испыта- ния, °С	σ _{0,2}	σ _в	δ	ψ	K _ψ , % МПа	Состояние стали (сплава), размеры образца, скорости деформирования v и деформации ε̇
		МПа		%			
40X13	800	121	135	64	96	0,71	Деформированное; d ₀ = 6 мм, l ₀ = 30 мм; v = 16 мм/мин, ε̇ = 0,009 с ⁻¹
	900	104	127	68	92	0,72	
	950	75	92	84	96	1,04	
	1000	52	76	70	98	1,29	
	1050	46	58	73	100	1,72	
	1100	44	54	60	98	1,81	
	1150	35	41	64	100	2,44	
	1200	28	33	60	100	3,00	
12X17	700		86	67	97	1,13	Прокатанное; d ₀ = 10 мм, l ₀ = 50 мм; v = 1,1 мм/мин, ε̇ = 0,0004 с ⁻¹
	800		41	64	98	2,39	
	900		22	58	98	4,47	
	1000		21	81	97	4,6	
	1100		14	73	97	6,94	
	1200		8	85	99	12,38	
	1300		6	99	97	16,15	
40X9C2	700		140	54	95	0,68	Прокатанное и отожженное; d ₀ = 10 мм, l ₀ = 50 мм; v = 1,1 мм/мин, ε̇ = 0,0004 с ⁻¹
	800		52	70	98	1,87	
	900		60	34	59	0,98	
	1000		46	28,5	45	0,97	
	1100		23	33	42	1,84	
	1200		16	71	79	4,61	
12X21H5T	900	111	132	43	69	0,52	Прокатанное и отожженное; d ₀ = 10 мм, l ₀ = 50 мм; v = 20 мм/мин, ε̇ = 0,007 с ⁻¹
	1000	78	82	49	69	0,84	
	1100	60	61	56	72	1,18	
	1200	43	44	63	77	1,75	
	1250	33	34	63	90	2,66	
10X17H13M2T	800	170	240	26,5	44	0,18	Прокатанное; d ₀ = 10 мм, l ₀ = 50 мм; v = 20 мм/мин, ε̇ = 0,007 с ⁻¹
	900	132	146	38,5	59	0,40	
	1000	75	83	34,5	64	0,77	
	1100	42	47	40,5	85	1,79	
	1200	23	28	77	99	3,49	
	1250	18	22	80	100	4,54	
12X18H9	700		216	47	76	0,35	Прокатанное; d ₀ = 10 мм, l ₀ = 50 мм; v = 1,1 мм/мин, ε̇ = 0,0004 с ⁻¹
	800		122	57	70	0,57	
	900		69	65	66	0,96	
	1000		39	56	60	1,55	
	1100		31	64	59	1,92	
	1200		16	45	71	4,43	

Продолжение табл. 2

Марка стали (сплава)	Темпе- ратура испыта- ния, °С	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	ψ	K_ψ , $\frac{\%}{\text{МПа}}$	Состояние стали (сплава), размеры образца, скорости деформирования v и деформации $\dot{\varepsilon}$
		МПа		%			
12X18H9T	800	158	205	26,5	57	0,28	Прокатанное; $d_0 = 10$ мм, $l_0 = 50$ мм; $v = 20$ мм/мин, $\dot{\varepsilon} = 0,007$ с ⁻¹
	900	110	122	41	90	0,74	
	1000	59	67	50	95	1,42	
	1100	36	39	66	98	2,54	
	1200	22	26	79	100	3,85	
36X18H25C2	800	189	249	34	66	0,27	Кованое; $d_0 = 10$ мм, $l_0 = 50$ мм; $v = 20$ мм/мин, $\dot{\varepsilon} = 0,007$ с ⁻¹
	900	129	146	48	88	0,60	
	1000	72	77	55	88	1,15	
	1100	41	45	71	96	2,14	
	1200	29	32	86	100	3,12	
20X23H18	800	220	259	24	67	0,26	Прокатанное; $d_0 = 10$ мм, $l_0 = 50$ мм; $v = 20$ мм/мин, $\dot{\varepsilon} = 0,007$ с ⁻¹
	900	138	137	37	77	0,56	
	1000	65	72	49	77	1,06	
	1100	40	45	51	70	1,54	
	1200	22	28	27	30,5	1,11	
20X25H20C2	1000	56	78	47	78	1,00	Прокатанное; $d_0 = 5$ мм, $l_0 = 25$ мм; $v = 2$ мм/мин, $\dot{\varepsilon} = 0,001$ с ⁻¹
	1100	33	38	53	75	1,98	
	1200	17	23	70	82	3,56	
15X11MФ	900		120	80	94	0,78	Кованое, закаленное, отпущенное; $d_0 = 6$ мм, $l_0 = 30$ мм; $v = 16$ мм/мин, $\dot{\varepsilon} = 0,009$ с ⁻¹
	1000		70	72	95	1,35	
	1100		30	66	100	3,33	
	1200		20	56	94	4,7	
18X11MНФБ	700	448	468	17	87	0,19	Прокатанное; $d_0 = 6$ мм, $l_0 = 30$ мм; $v = 16$ мм/мин, $\dot{\varepsilon} = 0,009$ с ⁻¹
	800	194	222	44	97	0,44	
	900	175	216	30	71	0,34	
	1000	94	139	35	87	0,62	
	1100	53	78	49	100	1,28	
	1200	33	36	62	100	2,90	
	1300	9	11	54	97	8,80	
	1350	11	12	64	98	8,41	
13X11H2B2MФ	900	110	137	64	87	0,64	То же, что для 18X11MНФБ
	1000	40	72	58	81	1,13	
	1100	29	42	61	95	2,3	
	1200	22	27	55	87	3,2	

Продолжение табл. 2

Марка стали (сплава)	Темпе- ратура испыта- ния, °С	σ _{0,2}	σ _в	δ	ψ	K _ψ , % МПа	Состояние стали (сплава), размеры образца, скорости деформирования v и деформации ε̇
		МПа		%			
18Х12ВМБФР	700	519	546	13,5	80	0,15	Прокатанное; d ₀ = 6 мм, l ₀ = 30 мм; v = 16 мм/мин, ε̇ = 0,009 с ⁻¹
	800	183	207	24,5	92	0,45	
	900	111	142	70	95	0,67	
	1000	86	109	46	96	0,89	
	1100	48	67	54	100	1,48	
	1200	26	28	68	100	3,52	
	1300	17	18	53	100	5,43	
	1350	17	19	47	100	5,34	
37Х12Н8Г8МФБ	800	252	353	12	22	0,06	Прокатанное и отожженное; d ₀ = 10 мм, l ₀ = 50 мм; v = 20 мм/мин, ε̇ = 0,007 с ⁻¹
	900	167	183	22	59	0,32	
	1000	85	94	38	78	0,83	
	1100	48	50	45	88	1,75	
	1200	24	27	51	79	2,89	
	1250	20	21	21	41	1,93	
09Х14Н19В2БР1	1050	74	85	54	100	1,18	То же, что для 37Х12Н8Г8МФБ
	1100	55	62	54	100	1,50	
	1150	42	47	42	93	1,98	
	1200	33	34	17	47	1,38	
	1250	15	18	18	34	1,90	
08Х16Н13М2Б	700	325	412	17,5	60	0,13	Прокатанное; d ₀ = 6 мм, l ₀ = 30 мм; v = 16 мм/мин, ε̇ = 0,009 с ⁻¹
	800	268	294	15,5	52	0,18	
	900	245	266	13,0	36	0,14	
	1000	183	190	14,0	32	0,17	
	1100	85	89	43,0	64	0,78	
	1200	44	48	54,0	82	1,8	
	1300	28	28	23,5	45	1,63	
31Х19Н9МВБТ	800	280	320	33	68	0,21	Кованое и отожженное; d ₀ = 6 мм, l ₀ = 30 мм; v = 16 мм/мин, ε̇ = 0,009 с ⁻¹
	850	280	290	28	67	0,23	
	900	210	220	28	67	0,30	
	950	210	220	21	64	0,29	
	1000	116	127	45	85	0,67	
	1100	67	82	54	90	1,1	
	1150	48	61	54	91	1,49	
	1200	42	50	59	94	1,88	

Продолжение табл. 2

Марка стали (сплава)	Темпе- ратура испыта- ния, °С	σ _{0,2}	σ _в	δ	ψ	K _ψ , % МПа	Состояние стали (сплава), размеры образца, скорости деформирования v и деформации ε̇
		МПа		%			
ХН35ВТ	900	184	191	28	49	0,26	Кованое; d ₀ = 6 мм, l ₀ = 30 мм; v = 16 мм/мин, ε̇ = 0,009 с ⁻¹
	950	135	142	46	70	0,49	
	1000	100	106	67	90	0,85	
	1100	57	61	84	96	1,57	
	1150	45	52	88	97	1,87	
	1200	31	41	90	96	2,30	
	1250	28	32	66	84	2,60	
ХН35ВТЮ	700	636	842	26,5	40	0,05	Кованое и прессованное; d ₀ = 6 мм, l ₀ = 30 мм; v = 16 мм/мин, ε̇ = 0,009 с ⁻¹
	800	621	645	7,2	12	0,02	
	900	224	224	42,5	92	0,41	
	1000	101	106	82	100	0,94	
	1100	51	56	80	100	1,78	
	1200	35	38	26	40	1,03	
ХН78Т	800	320	388	72	46,5	0,12	Прокатанное и отожженное; d ₀ = 10 мм, l ₀ = 50 мм; v = 20 мм/мин, ε̇ = 0,007 с ⁻¹
	900	200	220	45	84	0,38	
	1000	103	114	64	93	0,82	
	1100	78	90	70	97	1,08	
	1200	43	55	92	100	1,82	
	1250	37	40	100	100	2,5	
ХН67МВТЮ	700	696	899	16,5	20	0,02	Кованое и прессованное; d ₀ = 6 мм, l ₀ = 30 мм; v = 16 мм/мин, ε̇ = 0,009 с ⁻¹
	800	682	785	5,9	11,5	0,01	
	900	538	559	20,5	44	0,08	
	1000	199	201	52,0	94	0,47	
	1100	85	87	76	93	1,09	
	1200	47	60	86	93	1,56	
	1250	41	44	85	95	2,13	
ХН77ТЮР	800		616	24	22,5	0,04	Кованое и нормализованное; d ₀ = 5 мм, l ₀ = 25 мм; v = 1,1 мм/мин, ε̇ = 0,0007 с ⁻¹
	900		385	26	27,5	0,15	
	1000		111	80	95	0,86	
	1100		49	153	100	2,04	
	1200		35	134	100	2,86	
	1250		16	56	69	4,10	
ХН80ТБЮ	900		580		97	0,17	Прессованное, закаленное и состаренное; d ₀ = 6 мм, l ₀ = 30 мм; v = 16 мм/мин, ε̇ = 0,009 с ⁻¹
	950		420	77	96	0,23	
	1000		300	78	96	0,32	
	1100		170	84	98	0,58	
	1150		120	100	100	0,83	

Окончание табл. 2

Марка стали (сплава)	Темпе- ратура испыта- ния, °С	σ _{0,2}	σ _в	δ	ψ	K _ψ , % МПа	Состояние стали (сплава), размеры образца, скорости деформирования v и деформации ε̇
		МПа		%			
ХН70ВМЮТ	700	820	930	11	17	0,02	Кованое; d ₀ = 6 мм, l ₀ = 30 мм; v = 16 мм/мин, ε̇ = 0,009 с ⁻¹
	800	710	730	25	60	0,08	
	900	270	290	55	85	0,29	
	1000	170	174	60	90	0,52	
	1100	65	68	68	83	1,22	
	1200	43	45	44	67	1,49	
	1250	34	45	45	66	1,46	
ХН70ВМТЮ	900		562	20,5	32	0,06	Кованое и нормализованное; d ₀ = 5 мм, l ₀ = 25 мм; v = 1,1 мм/мин, ε̇ = 0,009 с ⁻¹
	1000		157	52	86	0,55	
	1100		74	80	91	1,23	
	1200		35	70	51	1,46	
ХН65ВМТЮ	700	448	660	51	57	0,08	Кованое; d ₀ = 6 мм, l ₀ = 30 мм; v = 16 мм/мин, ε̇ = 0,009 с ⁻¹
	800	492	671	26	30	0,04	
	900	388	522	27,5	55	0,10	
	1000	229	229	71	94	0,41	
	1100	130	130	70	91	0,70	
	1200	60	65	77	87	1,33	
	1225	48	57	82	83	1,46	

Примечание. Обозначения: d_0, l_0 — начальные диаметр и длина расчетной части образца;
 $\dot{\varepsilon} = \frac{d\delta}{dt} = \frac{dl}{l_0 dt} = \frac{v}{l_0}$, где dt — продолжительность деформирования.

Испытанием на кручение выявляют число скручиваний n образца до разрушения (пластичность) и максимальный крутящий момент M_{\max} (прочность). Параметры n и M_{\max} не учитывают начальные и конечные размеры образца, не являются относительными величинами, их нельзя сравнивать с $\delta, \psi, \varepsilon_{\text{тр.ос}}, \sigma_{\text{T}}, \sigma_B$ (разные единицы измерения). Оценка по относительному сдвигу γ , пределу текучести τ_s и пределу прочности τ_B при кручении позволяет учесть изменения размеров образца, получить относительные характеристики и сравнивать их с оценками, получаемыми другими методами испытаний:

$$\gamma = \frac{\pi d n}{l} 100; \tau_s = \frac{16 M_{\max}}{\pi d^3}; \tau_{0,3} = \frac{16 M_{0,3}}{\pi d^3},$$

где d и l — диаметр и длина образца.

Из динамических испытаний самым распространенным является испытание на ударный изгиб. Этим испытанием определяют ударную вязкость КСУ, т.е. работу, затраченную на излом надрезанного образца, зависящую от пластичности и прочности. Учитывая, что нагрев образца проводят вне копра и при переносе его из печи к месту испытания теряется теплота на опорах копра, то точно установить температуру испытаний трудно. При определении численных значений характеристик механических свойств стали или сплава не-

обходимо иметь в виду, что значения эти условные. Они зависят от внутренних и внешних факторов. К внутренним факторам относятся: состояние (литое, деформированное, ковчаное, прокатанное и т.п.) и структура (равноосная, столбчатая, мелкая, крупная); к внешним факторам — температура, схема и скорость деформирования, размеры образца, условия нагружения (дробное или непрерывное) и др.

Помимо механических испытаний, для выявления ковочных свойств применяют методы технологических испытаний; прокатку клина на полосу постоянной толщины (А.И. Чипиженко), прокатку специального слитка или деформированной заготовки постоянного сечения на клин (Ю.М. Чижиков) и осадку слитка на клин.

Характеристики механических свойств, полученные на образцах, не могут дать достаточную информацию о ковочных свойствах и о поведении при ковке слитков вследствие действия масштабного, геометрического и физического факторов, а также различия термомеханических условий испытания образцов и производственнойковки слитков (табл. 2). Поэтому возникла необходимость создания метода определения деформируемости целого слитка, не прибегая к его разрезке, изготовлению и испытанию образцов.

Метод осадки слитка на клин предназначен для комплексной оценки средней деформируемости слитков и самой стали (сплава) с точки зренияковки. Под средней деформируемостью \bar{D} подразумевается способность слитка выдерживать деформацию при осадке на клин на наклонных плитах, а также способность полученного клина выдерживать деформацию при ковке-протяжке на плоских бойках без нарушения сплошности металла. Критерий \bar{D} интегральный, он отражает деформируемость стали (сплава) в литом

D_1 и деформированном D_2 состояниях, качество слитка и полученных n поковок D_{3i} . Количественная оценка D_1 , D_2 производится в зависимости от характера и количества несплошностей (разрывов, трещин и т.п.) по специально разработанным пятибалльным шкалам. Значение \bar{D} находят по формуле

$$\bar{D} = \frac{1}{3} \left(D_1 + D_2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_{3i} \right).$$

2. ДИАГРАММЫ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ СТАЛИ И СПЛАВОВ

Механические и физические свойства металлов и сплавов зависят от химического состава, а также в значительной степени от макро- и микроструктуры. Сплавы одного и того же химического состава могут иметь существенно различные свойства в зависимости от размеров, формы, однородности зерен. Значения механических характеристик также зависят от структуры. Имеется четкая связь между размерами зерен и пределами текучести и прочности. Крупнозернистая структура снижает пластичность сплавов при нормальной температуре. Служебные свойства их при повышенных и высоких температурах обеспечиваются определенной величиной зерен и их однородностью без разнотекучести.

Для выявления зависимости размеров и формы зерна от степени и температуры деформации строят диаграммы рекристаллизации. Рекристаллизацией называется процесс образования и роста новых зерен с неискаженной решеткой на границах или внутри старых вытянутых зерен той же фазы. При рекристаллизации происходит полная или частичная замена одних зерен данной фазы другими зернами той же фазы с меньшей энергией, со-

вершающаяся путем возникновения и движения (первичная рекристаллизация) или только движения (собирательная и вторичная) границ с большими углами разориентировки.

Диаграмму рекристаллизации строят в координатах F (или D) – ε_Φ – T , где F – средняя или максимальная площадь зерна (D – диаметр зерна) в зависимости от фактической степени деформации ε_Φ и температуры T (отжига $T_{отж}$ или деформирования T_d). Диаграммы рекристаллизации нужны для выбора температуры промежуточных отжигов (при холодной штамповке), допустимых температур деформации (при ковке или горячей объемной штамповке), а также режима термической обработки.

Существуют три рода (типа) диаграмм рекристаллизации. Диаграммы рекристаллизации I рода строят в координатах F – ε_Φ – $T_{отж}$. Их используют для изучения процесса рекристаллизации и микроструктуры после отжига наклепанного металла, главным образом, при листовой штамповке. Цель рекристаллизации – снятие нагартовки и обеспечение требуемой штампуемости металла. Для изучения процесса рекристаллизации при обработке металлов давлением в горячем состоянии диаграммы рекристаллизации II рода строят в координатах F – ε_Φ – T_d (или D – ε_Φ – T_d) (рис. 1). Цель построения этих

диаграмм – определить условия для получения требуемого размера зерна в поковке или готовой детали.

Недостаток диаграмм рекристаллизации I и II рода заключается в том, что откладываемое значение F (или D) не характеризует особенности микроструктуры металла. Если микроструктура разнотернистая с равным числом зерен № 1 и № 8 (G_1 и G_8 см. ГОСТ 5639–82), то на диаграммах рекристаллизации I и II рода она будет представлена средней площадью этих зерен $F_{ср}$, соответствующей G_2 . Такая микроструктура по длительной прочности и пластичности несопоставима с однородной равноосной микроструктурой, у которой все зерна соответствуют G_2 . По диаграммам рекристаллизации II рода можно определить критические степени деформации, но невозможно установить температуру и условия, при которых протекают первичная, собирательная и вторичная рекристаллизации, определяющие микроструктуру. Перечисленных недостатков (т.е. усреднения размеров зерен и невозможности выявить этапы рекристаллизации) не имеют диаграммы рекристаллизации III рода. Эти диаграммы отражают все особенности микроструктуры, в том числе среднюю площадь зерна F в двух состояниях: после деформации и после термической обработки. По этим диаграммам можно установить температуру и степень деформации, обеспечивающие требуемую и, в частности, однородную микроструктуру металла.

Для построения диаграмм рекристаллизации III рода разработана таблица микроструктур различных металлов и сплавов в деформированном и термически обработанном состояниях. Каждой микроструктуре присвоен номер и условный знак. Геометрическая форма знака отражает форму микроструктуры, видимую под микроскопом (табл. 3). Для детализации процесса

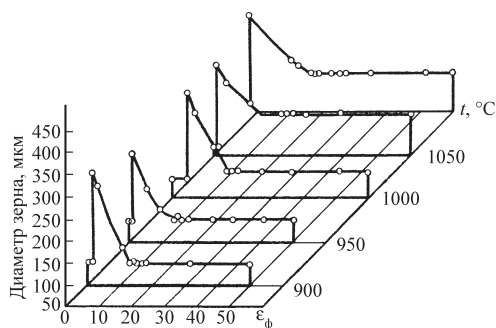













Рис. 1. Диаграмма рекристаллизации II рода сплава типа ХН77ТЮР (для динамического деформирования)

3. Условные обозначения и характеристики микроструктур сталей и сплавов к диаграмме рекристаллизации III рода

Номер	Характеристика	Условный знак	Номер	Характеристика	Условный знак
1	Равноосные однородные зерна		7	Равноосные старые и новые субзерна занимают приблизительно 50 % площади (разнозернистость) — первичная рекристаллизация равноосных зерен	
2	Неравноосные однородные зерна, вытянутые в направлении, перпендикулярном направлению осадки			8	Непрерывные цепочки новых субзерен занимают приблизительно 95 % площади — конец первичной рекристаллизации равноосных зерен
3	Вытянутые старые зерна и на их границах новые разрозненные субзерна (G_{10} и мельче, занимают приблизительно 5 % площади) — начало первичной рекристаллизации вытянутых зерен		9		Новые равноосные зерна, занимающие приблизительно 100 % площади — начало собирательной рекристаллизации
4	Вытянутые старые зерна с залегающими на границах и внутри новыми субзернами (G_{10} и мельче, занимают приблизительно 30 % площади) — первичная рекристаллизация вытянутых зерен			10	Единичные двойники в нескольких зернах
5	Непрерывные цепочки новых субзерен (G_{10} и мельче, занимают приблизительно 75 % площади) вокруг и внутри старых вытянутых зерен — конец первичной рекристаллизации вытянутых зерен		11	Двойники (один или несколько) в большинстве зерен	
			12	Равноосные неоднородные зерна (разнозернистость)	
6	Равноосные старые зерна и на их границах новые разрозненные субзерна занимают приблизительно 5 % площади (разнозернистость) — начало первичной рекристаллизации равноосных зерен		13	Неравноосные неоднородные зерна (разнозернистость)	
			14	Равноосные мелкие зерна и зерна-гиганты (резкая разнозернистость) — вторичная рекристаллизация	

первичной рекристаллизации различают его начало (микроструктуры № 3 и 6) и конец (микроструктуры № 5 и 8). Начало первичной рекристаллизации изображают разрозненными мелкими кружками, обозначающими новые субзерна на границе старых вытянутых или округлых зерен, конец — непрерывными кружками (новые субзерна) на границе и внутри старых зерен. Чтобы численно описать различные этапы процесса первичной рекристаллизации, условные обозначения связывают с площадью, занимаемой новыми мелкими зернами, образованными в процессе рекристаллизации, а также крупными старыми нерекристаллизованными зернами (микроструктуры № 3—8). При подсчете значения F не учитывают новые зерна, образовавшиеся в результате первичной рекристаллизации вытянутых зерен, так как определить их площадь практически невозможно, поэтому учитывают только зерна, образовавшиеся в результате первичной рекристаллизации равноосных однородных зерен.

За начало собирательной рекристаллизации (микроструктура № 9) принят момент исчезновения старых зерен и старых границ и появления равноосных однородных мелких зерен.

После выявления особенностей микроструктуры (записывают номера структур) и значений F в функции ε_{Φ} строят нижнюю кривую диаграммы рекристаллизации III рода, отражающую микроструктуру образца, подвергнутого осадке при данной температуре. После термической обработки этого образца на плоской поверхности, на которой была исследована микроструктура, вторично готовят шлиф и снова изучают микроструктуру. Таким образом, на одном шлифе и при одинаковых степенях деформации изучают микроструктуру металла (сплава) до и после термической обработки,

что дает более точные результаты исследования по сравнению с использованием нескольких образцов. По характеристикам микроструктуры, полученным после термической обработки, строят верхнюю кривую диаграммы и указывают новые значения F . На нулевой ординате диаграммы дают характеристику микроструктуры и значение F в исходном состоянии («состояние поставки») и после термической обработки (нагрева и закалки без деформации, «свидетель»). Построенную диаграмму рекристаллизации проверяют на нескольких плавках.

Для высоколегированных сталей и сплавов, у которых служебные свойства сильно зависят от структуры, построение диаграмм III рода является обязательным.

На рис. 2 дана диаграмма рекристаллизации III рода сплава ХН70ВМЮТ. Нижние кривые построены по результатам исследования микроструктуры цилиндрических образцов ($d_0 = 27$ мм, $l_0 = 25$ мм), подвергнутых осадке на гидравлическом прессе за один ход со скоростью деформации $\dot{\varepsilon} = 0,75$ с⁻¹, $\varepsilon_{\Phi} = 50$ %. Верхние кривые — после термической обработки этих же образцов: закалка 1150 °С — 3 ч — масло, отпуск 800 °С — 20 ч — воздух.

В состоянии поставки сплав имеет микроструктуру № 1 (см. табл. 3), т.е. равноосные однородные зерна G_6 (ГОСТ 5639—82). Эта микроструктура сохраняется у «свидетелей» до 1050 °С, а затем начинается рост зерен, и при 1200 °С они достигают G_3 . По форме зерен можно заключить, что в состоянии поставки, а также после нагрева от 900 до 1225 °С («свидетели») сплав имеет микроструктуру № 1, т.е. однородные равноосные зерна, полученные собирательной рекристаллизацией.

Деформирование образца при 900... 1000 °С на $\varepsilon_{\Phi} = 0...20$ % и при 1150... 1225 °С на $\varepsilon_{\Phi} = 0...15$ % не влияет на

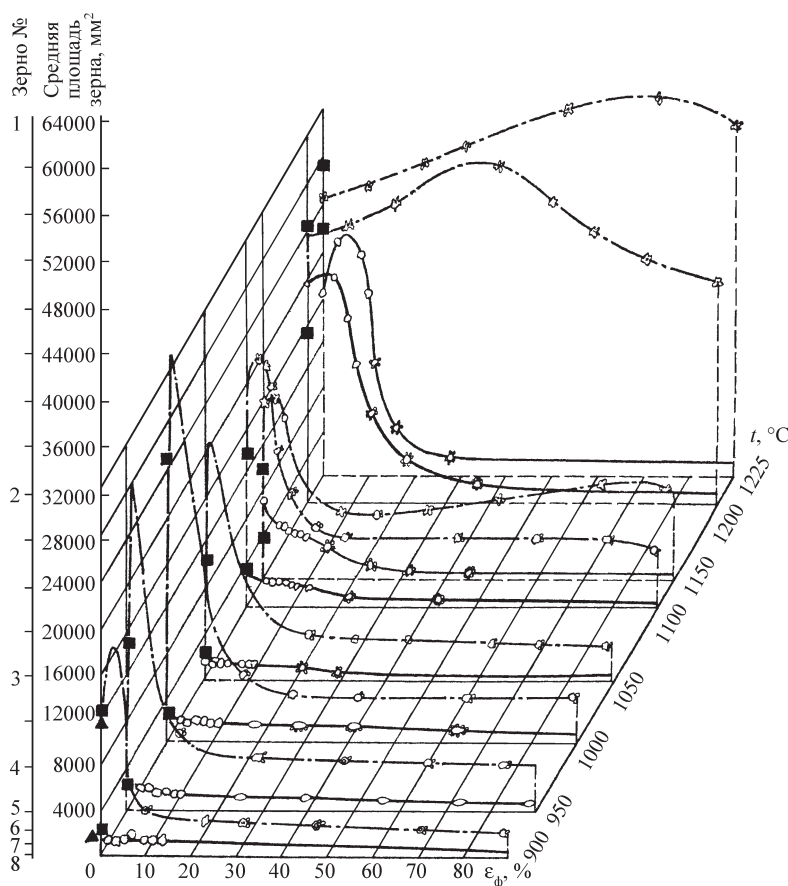


Рис. 2. Диаграмма рекристаллизации III рода сплава ХН70ВМЮТ:

■ — величина зерна при данной температуре до осадки («свидетель»); ▲ — величина зерна и структура при 20 °С («состояние поставки»); — — — — после осадки; ····· — после осадки и термической обработки

форму зерен (при увеличении $\times 100$ и $\times 500$). Они остаются такими, какими были после нагрева без деформирования. Деформирование при 900...950 °С на $\varepsilon_{\text{ф}} = 20...90\%$ и при 1000 °С на $\varepsilon_{\text{ф}} = 20...25\%$ вызывает сплющивание зерен и образование микроstructures № 2. При 1000 °С и $\varepsilon_{\text{ф}} = 25...90\%$ на границах и внутри вытянутых зерен образуются субзерна — идет первичная рекристаллизация вытянутых зерен (микроstructures № 3 и 5). При 1050 °С и $\varepsilon_{\text{ф}} = 20...50\%$, 1150 °С и $\varepsilon_{\text{ф}} = 15...50\%$, 1225 °С и $\varepsilon_{\text{ф}} = 12...35\%$ новые мелкие

зерна образуются на границах и внутри старых округлых зерен — идет рекристаллизация округлых зерен (микроstructures № 6 и 8).

Из диаграммы следует, что у сплава ХН70ВМЮТ первичная рекристаллизация начинается при 1000 °С, собирательная — при 1050 °С. По диаграмме можно определить влияние $\varepsilon_{\text{ф}}$ на протекание рекристаллизации и на значение F . После термической обработки микроstructure резко изменилась (см. рис. 2, верхние кривые). При $T_{\text{д}} = 900...1225\text{ °С}$ после термической об-

работки отсутствует первичная рекристаллизация. Идет лишь собирательная рекристаллизация с образованием неравноосных и равноосных неоднородных зерен (структуры № 12 и 13). При $T_d = 900...1150^\circ\text{C}$ в процессе термической обработки возникают двойники; при более высоких T_d они отсутствуют. Анализ диаграммы (см. рис. 2) показывает, что с повышением T_d разнородность в деформированном состоянии увеличивается, а в термически обработанном — уменьшается. Из рассмотрения диаграммы рекристаллизации III-го рода сплава ХН70ВМЮТ следует, что деформирование должно заканчиваться при 1050°C и $\varepsilon_\phi = 30...60\%$. При этих условиях участки с неоднородными равноосными зёрнами (микроструктура № 12) занимают наименьший объем.

3. СКОРОСТНОЙ, МАСШТАБНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТЫ И КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ СТАЛИ И СПЛАВОВ

Для расчета реальных процессов деформирования используют результаты, полученные при деформировании образцов или модели. Необходимо при этом учитывать теорию подобия, согласно которой, если осуществлять в подобных условиях одинаковые процессы пластического деформирования геометрически подобных тел из одинакового материала, то необходимые удельные силы деформирования будут равны между собой, отношение полных сил деформирования будет равно квадрату, а отношение затрачиваемых работ — кубу отношений соответственных линейных размеров. Однако при пластическом деформировании, рассматривая скоростные условия подобия, оказывается, что подобие условий трения и физическое по-

добие не могут быть достигнуты одинаковыми скоростными условиями. Так, согласно подобию условия трения необходимо, чтобы скорости деформации модели $\dot{\varepsilon}_m$ и натуры $\dot{\varepsilon}_n$ и продолжительность деформирования модели t_m и натуры t_n были связаны соотношениями $\dot{\varepsilon}_m = m\dot{\varepsilon}_n$ и $t_m = t_n / m$ (m — масштаб моделирования, т.е. отношение соответственных размеров модели и натуры), а для физического подобия необходима одинаковая длительность процесса, т.е. $t_m = t_n$ и, следовательно, равенство скоростей деформации $\dot{\varepsilon}_m = \dot{\varepsilon}_n$.

В связи с невозможностью соблюсти все условия подобия одновременно необходимо использовать следующие экспериментально установленные коэффициенты: скоростной, масштабный (объемный) и коэффициент трения.

Скорость деформации, масштаб и трение оказывают значительное влияние на изменение механических свойств. Скоростной, масштабный коэффициент и коэффициент трения позволяют учитывать изменение различных параметров при расчете реальных технологических процессов обработки давлением.

Скорость деформации $\dot{\varepsilon}$ (изменение степени деформации в единицу времени $\dot{\varepsilon} = d\varepsilon / dt$) в реальных процессах отличается от скорости деформирования v . Скорости деформирования (м/с) приближенно можно принять по данным, приведенным ниже.

Прессы:

гидравлические. 0,05...0,15
кривошипные. 0,1...0,5

Молоты:

паровоздушные. 5...10
высокоскоростные. До 30

Скорость деформации при равномерном растяжении и сжатии обратно пропорциональна длине (высоте) об-

разца, т.е. $\dot{\epsilon} = v / l_0$; в других случаях нагружения зависимость получается сложнее.

Далее приведены ориентировочные значения средней скорости деформации (с^{-1}) для различных случаев горячего деформирования при осадке.

Прессы:	
гидравлические.	0,03...0,06
кривошипные.	1...5
фрикционные.	2...10
Молоты:	
паровоздушные.	10...250
высокоскоростные	Св. 100

Для практических расчетов процессов горячего деформирования при определении влияния скорости деформации на напряжение текучести можно использовать следующую зависимость:

$$\sigma_s = \sigma_0 + k \ln \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0},$$

4. Значения коэффициента k при различных температурах испытания T и степенях деформации ($\epsilon_1 = 10 \%$, $\epsilon_2 = 20 \%$, $\epsilon_3 = 30 \%$)

Сталь	900 °С			1000 °С			1100 °С			1200 °С		
	ϵ_1	ϵ_2	ϵ_3	ϵ_1	ϵ_2	ϵ_3	ϵ_1	ϵ_2	ϵ_3	ϵ_1	ϵ_2	ϵ_3
ХВГ	2,01	2,98	3,28	1,41	2	2,34	1,31	1,7	2,06	0,76	1,39	1,65
X12	0,93	1,12	1,45	1,1	1,48	1,71	0,98	1,35	1,5	0,85	1,16	1,36
12X18Н9Т	1	1,59	1,73	1,06	1,65	1,95	0,95	1,25	1,47	0,78	1,13	1,38
17X18Н9	1,53	1,78	1,88	1,3	1,7	1,91	1,46	1,81	2,06	1,33	1,73	1,98

5. Значения скоростного коэффициента

Отношение скоростей деформации $\dot{\epsilon} / \dot{\epsilon}_0$	$T_d / T_{пл}$		
	0,3...0,4	0,6...0,7	Более 0,7
10	1,1...1,15	1,15...1,3	1,3...1,5
100	1,22...1,32	1,32...1,7	1,7...2,25
1000	1,34...1,52	1,52...2,2	2,2...3,4
При ударной нагрузке	1,25...1,75	1,75...2,5	2,5...3,5

Обозначения: T_d — температура деформирования; $T_{пл}$ — температура плавления металла или сплава.

где σ_s — истинное сопротивление деформированию при скорости деформации $\dot{\epsilon}$; σ_0 — истинное сопротивление деформированию при скорости деформации $\dot{\epsilon}_0$; k — коэффициент, значения которого для некоторых марок сталей приведены в табл. 4.

Приближенное влияние скорости деформации учитывают с помощью скоростного коэффициента, показывающего, во сколько раз изменится напряжение текучести при скорости деформации $\dot{\epsilon}$ (табл. 5).

Изменение истинного сопротивления деформированию σ_s от скорости деформации можно определить по следующей зависимости:

$$\ln \frac{\sigma_s}{\sigma_0} = K_{\pi} \ln \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0},$$

где K_{π} — коэффициент пропорциональности.

Значения σ_0 и K_{π} при $\dot{\epsilon}_i = 1,0 \text{ с}^{-1}$ приведены в табл. 6.

6. Значения σ_0 и K_n при $\dot{\epsilon} = 1,0 \text{ с}^{-1}$ и различных температурах испытания

Сталь и сплавы	800 °С		900 °С		1000 °С		1100 °С		1200 °С	
	σ_0	K_n	σ_0	K_n	σ_0	K_n	σ_0	K_n	σ_0	K_n
25	203	0,129	149	0,156	105	0,175	76	0,184	—	—
45	205	0,11	141	0,12	108	0,13	81	0,17	61	0,2
50	—	—	172	0,12	124	0,135	93	0,151	66	0,183
30ХГСА	210	0,12	157	0,13	113	0,135	81	0,16	61	0,15
12ХН3А	220	0,12	170	0,14	130	0,15	94	0,16	70	0,18
ШХ15	230	0,150	159	0,152	107	0,16	75	0,176	50	0,2
60С2	241	0,126	171	0,13	133	0,13	104	0,137	80	0,135
У7	147	0,12	122	0,14	83	0,18	58	0,2	—	—
У10	224	0,11	133	0,12	104	0,13	73	0,18	50	0,23
Х12	400	0,08	225	0,14	126	0,2	71	0,26	40	0,32
Р18	399	0,07	264	0,114	174	0,16	115	0,2	76	0,25
12Х13	—	—	189	0,126	138	0,213	88	0,21	26	0,2
30Х13	246	0,14	186	0,16	164	0,18	109	0,2	85	0,212
12Х18Н9	—	—	256	0,06	194	0,09	144	0,1	102	0,115
40Х9С2	—	—	143	0,132	202	0,112	133	0,15	87	0,17
45Х14Н14В2М	940	0,03	680	0,09	400	0,2	247	0,22	145	0,24

Большое влияние оказывает скорость деформации на удельную механическую работу деформации A :

$$A = \int_0^{\epsilon_i} \sigma_i d\epsilon_i,$$

где σ_i и ϵ_i — соответственно интенсивности напряжений и деформаций.

Изменение величины A от $\dot{\epsilon}$ можно определить по следующей зависимости:

$$A / A_0 = (\dot{\epsilon} / \dot{\epsilon}_0)^\alpha.$$

Значения A_0 и α при $\dot{\epsilon}_0 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ представлены в табл. 7.

Одним из основных факторов, влияющих на пластическую деформацию, является скорость деформации.

Для установления скоростной зависимости показателей предельной пла-

стичности ϵ_p можно использовать следующее уравнение:

$$\epsilon_p = C + B(\dot{\epsilon})^{\alpha-m},$$

где α — показатель зависимости A от скорости деформации; C , B , m — скоростные коэффициенты, значения которых для некоторых сталей при разных температурах приведены в табл. 8.

При деформировании крупных слитков необходимо учитывать изменение условий деформирования в зависимости от массы слитка. Нижней границей у крупных слитков из углеродистой стали следует считать массу 78...126 т, а верхней границей мелких заготовок — массу 3...4 т. Таким образом, можно выделить следующие геометрические модели слитка:

1) слитки высоколегированных сталей и сплавов — малые; столбчатые кристаллиты в них занимают все попе-

речное сечение, а в осевой зоне имеют место пористость и дефекты усадки;

2) слитки средней массы углеродистых сталей и заготовки, полученные непрерывным литьем (разливкой), ха-

рактеризуются развитыми зонами внеосевой и осевой ликвации и осевой рыхлостью;

3) слитки большой массы углеродистых и среднелегированных сталей ха-

7. Значения A_0 и α при различных температурах испытания

Сталь	$\dot{\epsilon}_0, \text{ с}^{-1}$	800 °C		900 °C	
		A_0	α	A_0	α
25	$3,0 \cdot 10^{-3}$	1,55	0,135	0,59	0,27
45		0,62	0,25	0,33	0,307
У7		0,26	0,33	0,20	0,383
12X13		—	—	1,32	0,17
60СГА	1,0	—	—	5,96	0,17
Среднеуглеродистая (0,25...0,60 %C)		—	—	5,3	0,2
Высокоуглеродистая (более 0,60 %C)		—	—	4,62	0,123
Хромоникелевая		—	—	7,16	0,23

Сталь	1000 °C		1100 °C		1200 °C	
	A_0	α	A_0	α	A_0	α
25	0,4	0,29	0,21	0,31	—	—
45	0,18	0,363	0,13	0,37	0,05	0,473
У7	0,185	0,358	0,10	0,363	—	—
12X13	0,29	0,33	0,13	0,417	0,009	0,493
60СГА	—	—	2,57	0,275	1,66	0,32
Среднеуглеродистая (0,25...0,60 %C)	3,00	0,27	2,19	0,307	1,35	0,435
Высокоуглеродистая (более 0,60 %C)	2,88	0,27	1,74	0,32	0,96	0,365
Хромоникелевая	5,96	0,295	4,37	0,505	3,55	0,63

8. Значения скоростных коэффициентов C , B и m при различных температурах испытания

Сталь	800 °C			900 °C			1000 °C		
	C	B	m	C	B	m	C	B	m
25	1,8	2,03	0,007	0,023	9,2	0,14	−0,01	0,2455	0,117
45	0,014	0,168	0,123	0,023	0,14	0,14	0,0343	0,168	0,187
У7	−0,006	0,166	0,202	0,0124	0,2138	0,26	−0,005	0,168	0,18
Среднеуглеродистая	—	—	—	0,208	0,18	0,107	0,018	0,302	0,135
Высокоуглеродистая	—	—	—	—	—	—	0,07	0,234	0,14
60СГА	—	—	—	0,16	0,2	0,09	—	—	—
Хромоникелевая	—	—	—	0,22	0,17	0,25	0,39	0,36	0,63

Окончание табл. 8

Сталь	1100 °С			1200 °С		
	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>m</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>m</i>
25	−0,067	0,3	0,117	—	—	—
45	0,035	0,17	0,213	0,038	0,116	0,26
У7	0,028	0,133	0,18	—	—	—
Среднеуглеродистая	0,037	0,275	0,17	−0,018	0,295	0,23
Высокоуглеродистая	0,054	0,21	0,16	−0,218	0,407	0,17
60СГА	0,07	0,23	0,15	−0,061	0,316	0,15
Хромоникелевая	0,39	0,041	0,41	0,415	0,036	0,515

характеризуются столбчатыми кристаллитами, занимающими около $\frac{1}{6}$ поперечного сечения по всей высоте; зона внеосевой ликвации расположена на первой трети поперечного сечения; осевая зона занимает примерно $\frac{1}{6}$ поперечного сечения (рыхлости, пористость) и $\frac{2}{3}$ высоты слитка; деформируемые неметаллические включения имеют различную концентрацию по объему слитка.

Эти модели слитка дают возможность регулирования распределения единичных (местных) и полных деформаций посредством изменения граничных условий — формы инструмента, сил контактного трения.

Однако необходимо оценивать величину слитка по показателю удельной поверхности контакта $K_{FV}^k = F_k / V$, где F_k — площадь поверхности контакта; V — объем слитка. Зависимость показателя K_{FV}^k от объема слитка представлена на рис. 3. Кривые, идущие от линии А—А вправо, относятся к крупным заготовкам, а левые — к мелким.

Контактное трение — механическое взаимодействие между телами, которое возникает в местах их соприкосновения и препятствует относительному перемещению тел в плоскости их контакта в процессах

горячего деформирования, может быть трех видов: трение, когда деформация происходит при наличии между трущимися парами слоя смазочного материала незначительной толщины (не более 1 мкм); при отсутствии в различных точках контакта слоя какой-либо вязкой среды; при наличии одновременно в различных точках контакта трения первых двух типов.

Силы контактного трения зависят от химического состава и состояния поверхности рабочего инструмента и заготовки, температуры, скорости и степени деформации, вида напря-

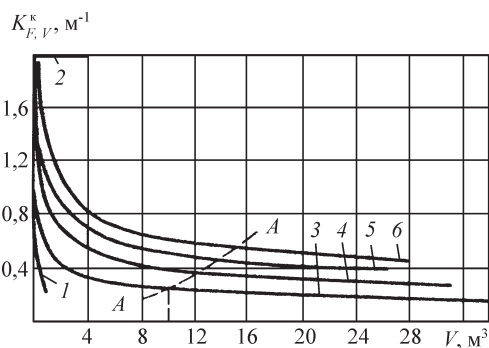


Рис. 3. Зависимость показателя удельной контактирующей поверхности от объема слитка (А—А — граница, где функция меняется на порядок меньше аргумента; d — диаметр; h — высота):
 1 — $d = \text{const}$; 2 — $h = \text{const}$; 3 — $d/h = 0,5$;
 4 — $d/h = 1$; 5 — $d/h = 1,5$; 6 — $d/h = 2,0$

женного состояния и смазочного материала.

Вследствие наличия большого числа факторов, влияющих на контактное трение, выделяют согласно обобщенному закону трения следующие: гидростатическое давление; скорость скольжения; температуры поверхности трения и смазочного слоя.

В наиболее общем виде обобщенный закон трения может быть записан в виде

$$\tau_{\text{тр}} = \mu_c q (1 - \gamma) + \eta \frac{dv}{dz} v;$$

здесь $\tau_{\text{тр}}$ — удельная сила трения на границе металл—инструмент; μ_c — коэффициент трения скольжения; q — удельная сила деформирования; γ — отношение смазанной площади к площади контакта; η — динамическая (условная) вязкость смазочного материала; v — скорость скольжения в зоне контакта; z — средняя толщина смазочного материала.

Учитывая сложность приведенной зависимости, можно устанавливать коэффициенты трения только для конкретных условий; таким образом, значения коэффициентов трения при обработке давлением являются весьма приближенными.

Характер кривых коэффициентов трения при осадке стали в зависимости от температуры и степени деформации приведен на рис. 4.

Наиболее удобно определять коэффициент трения из выражения

$$\tau_k = \mu \sigma_n \leq \beta \sigma_T / 2,$$

где τ_k — касательное напряжение на поверхности контакта; σ_n — нормальное напряжение на поверхности контакта; σ_T — предел текучести материала; β — переменный коэффициент, зависящий от схемы напряженного состояния ($1 \leq \beta \leq 1,155$). Приблизительно величину μ можно определить из табл. 9.

Максимальные значения μ соответствуют худшим с точки зрения трения условиям деформирования, минимальные — лучшим. Например, при ковке без смазочного материала следует принять $\mu = 0,35$, так как смазочным материалом является пленка окислов на поверхности; при горячей штамповке стали на прессе с соляным водным раствором в качестве смазочного материала $\mu = 0,4$, а с мыльным раствором с дисульфидом молибдена $\mu = 0,34$.

В диапазоне температур 1000...1200 °С коэффициент трения при штам-

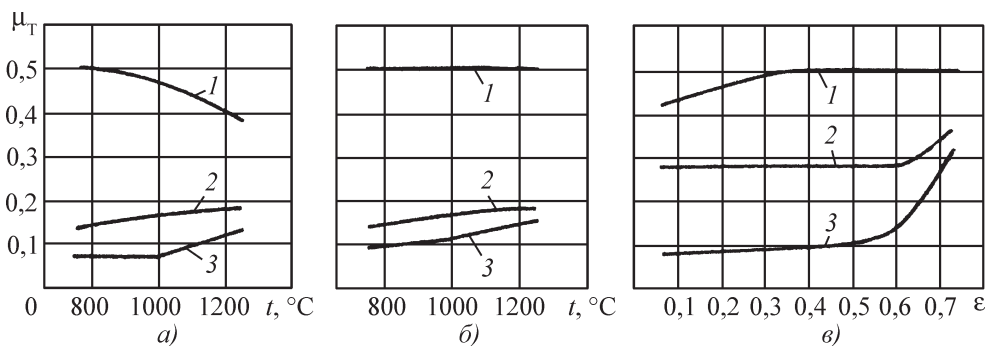


Рис. 4. Зависимости коэффициента трения от температуры T и степени деформации ε : а — $\varepsilon = 0,2$; б — $\varepsilon = 0,5$; в — $T = 1000$ °С; осадка: 1 — без смазочного материала; 2 — со смазочным материалом — нитрид бора; 3 — со смазочным материалом — графит с маслом

9. Значения коэффициентов трения μ при деформировании углеродистых сталей

Условия обработки		Скорость деформирования	
Температура деформирования	Наличие смазочного материала	менее 1 м/с	более 1 м/с
(0,8...0,95) $T_{пл}$	—	0,4...0,45	0,35...0,4
	+	0,34...0,4	0,3...0,35
(0,5...0,8) $T_{пл}$	—	0,45...0,48	0,48...0,5
	+	0,38...0,42	0,42...0,45
(0,3...0,5) $T_{пл}$	—	0,35...0,38	0,3...0,35
	+	0,3...0,35	0,25...0,3

10. Значения коэффициентов трения μ для некоторых смазочных материалов

Сталь	Температура заготовки, °C	Условия смазывания			
		Без смазки	Водный* солевой раствор	Аквадаг	М-1**
45	1000	0,37	0,23	0,18	0,29
	1100	0,43	0,27	0,25	0,37
	1190	0,43	0,33	0,25	0,31
13X11H2B2MФ	1000	0,40	0,10	0,12	—
	1100	0,37	0,14	0,26	—
	1190	0,39	0,26	0,20	0,28

* Хлористый калий 6 %, хлористый натрий 8 %, нитрит натрия 2 %, кальцинированная сода 0,5 %, глицерин 4 %, уротропин 2 %, остальное — вода.

** 70 % масло + 30 % графит.

повке без смазывания составляет для сталей:

низкоуглеродистой 0,40...0,35
коррозионно-стойкой 0,50...0,40

Коэффициент трения при скоростной горячей штамповке стали 45 при температуре 900 °C при различных смазочных материалах имеет следующие значения (в числителе — пределы изменения, в знаменателе — среднее значение):

без смазочного материала 0,29/0,29
графит 0,16...0,28/0,22
поваренная соль 0,10...0,22/0,16

Значения коэффициента трения, полученные при исследовании эффективности применения некоторых распространенных смазочных материалов, представлены в табл. 10.

4. ИСПЫТАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ЛИСТОВЫХ МЕТАЛЛОВ

Технологические свойства и штампуемость. *Обрабатываемость* листового металла пластической деформацией при штамповке, т.е. *штампуемость*, зависит от его технологических свойств. Она оценивается применительно к определенной штамповочной операции группой показателей, в которые входят параметр предельно допустимого формоизменения заготовки в операции, показатели качества обработки, расхода материала на изделие, стойкости инструмента, стоимости его изготовления и обслуживания, энергетических и других материальных затрат. Штампуе-

мость — понятие относительное: один листовой металл сравнивается по штампуемости с другим. Вместе с тем, оценка штампуемости меняется в зависимости от масштаба производства и требований к товарному виду и служебным свойствам изделия.

Эффективность выполнения операции штамповки и ее технологические возможности зависят не только от штампуемости металла, но и от совершенства схемы действия и конструкции штампа, технического уровня его изготовления и эксплуатации, способов интенсификации процесса деформации в операции, типа и состояния процесса и т.д.

Таким образом, штампуемость листового металла является обобщенной относительной характеристикой металла, зависящей только от его технологических свойств и оцениваемой группой показателей эффективности выполнения определенной операции.

Технологические свойства листового металла определяются частью его механических, физических и других свойств и характеристик: точностью формы (листа, полосы, ленты, рулона и т.д.), микрогеометрией и физико-химическим состоянием поверхности, равномерностью распределения в материале и стабильностью во времени некоторых из этих свойств и характеристик. Необходимые для обеспечения штампуемости технологические свойства листового металла различны при различных операциях. Если технологический процесс содержит несколько различных операций, технологические свойства должны обеспечивать требуемую штампуемость во всех этих операциях.

Механические свойства листового металла при его пластической деформации отражаются *кривыми упрочнения* и пластичности.

Для оценки влияния параметров кривой упрочнения на штампуе-

мость ее удобно представлять зависимостью

$$\sigma_i = A(\varepsilon_{i0} + \varepsilon_i)^n, \quad (1)$$

где σ_i и ε_i — интенсивности напряжения и деформации; A , ε_{i0} , n — константы, определяемые при испытании металла.

Обычно металл испытывают на *одноосное растяжение*, когда деформация идет под воздействием только одного главного напряжения σ_1 , напряжения $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$. Если металл принят изотропным, то $\sigma_i = \sigma_1$, $\varepsilon_i = \varepsilon_1$, поперечные главные деформации $\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = -(1/2)\varepsilon_1$. Константа ε_{i0} представляет собой начальную интенсивность деформации. При одноосном растяжении изотропного металла она равна начальной продольной деформации ε_{i0} , т.е. $\varepsilon_{i0} = \varepsilon_{10}$. Таким образом, применительно к процессу одноосного растяжения изотропного металла зависимость (1) принимает вид

$$\sigma_1 = A_1(\varepsilon_{10} + \varepsilon_1)^n. \quad (2)$$

Предел текучести металла определяется зависимостью (2) при $\varepsilon_1 = 0$:

$$\sigma_T = A_1 \varepsilon_{10}^n. \quad (3)$$

Деформация $\varepsilon_{ш}$ в момент начала локализации деформации, после которого растяжение продолжается только на относительно коротком участке образца, где образуется сужение в виде шейки,

$$\varepsilon_{ш} = n - \varepsilon_{10}. \quad (4)$$

В этот момент сила растяжения достигает максимума, а напряжение σ_1 значения

$$\sigma_{ш} = A_1 n^n. \quad (5)$$

Временное сопротивление

$$\sigma_B = \sigma_{ш} e^{-n+\varepsilon_{10}} = A_1 n^n e^{-n+\varepsilon_{10}}. \quad (6)$$

Образец разрушается в развившемся сужении при деформации $\varepsilon_1 = \varepsilon_{pp}$, равной

$$\varepsilon_{pp} = \ln \frac{F_0}{F_K}, \quad (7)$$

где F_0 и F_K — начальная и конечная площади поперечного сечения образца в месте разрушения.

Отношение предела текучести к пределу прочности

$$\frac{\sigma_T}{\sigma_B} = \left(\frac{\varepsilon_{10}}{n} \right)^n e^{n-\varepsilon_{10}}. \quad (8)$$

Если металл перед штамповкой подвергался пластическому деформированию ε_{20} , то его кривую упрочнения можно описать зависимостью

$$\sigma_1 = A_1 (\varepsilon_{10} + \varepsilon_{20} + \varepsilon_1)^n. \quad (9)$$

Параметры, описанные формулами (3)–(8), будут иметь вид

$$\sigma_T = A_1 (\varepsilon_{10} + \varepsilon_{20})^n;$$

$$\varepsilon_{ш} = n - \varepsilon_{10} - \varepsilon_{20};$$

$$\sigma_{ш} = A_1 n^n;$$

$$\sigma_B = A_1 n^n e^{-n+\varepsilon_{10}+\varepsilon_{20}};$$

$$\frac{\sigma_T}{\sigma_B} = \left(\frac{\varepsilon_{10} + \varepsilon_{20}}{n} \right)^n e^{n-\varepsilon_{10}-\varepsilon_{20}}.$$

Разрушение металла произойдет при деформации, равной $\varepsilon_p - \varepsilon_{20}$.

Параметр ε_{pp} (7) дает координату конечной точки кривой упрочнения, а также координату одной точки кривой пластичности. Действительно, если кривую пластичности строят в координатах « $\varepsilon_{pp}, \sigma_0 / \sigma$ » ($\sigma_0 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$),

то $\varepsilon_p = \varepsilon_{pp}$ при $\sigma_0 / \sigma = 1 / 3$. При наличии координат одной точки кривая пластичности может быть построена, например, по методике [48].

Если металл анизотропный, то в испытании образца на одноосное растяжение определяют коэффициент анизотропии

$$r = \ln \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_3}, \quad (10)$$

где ε_2 — деформация волокна в направлении ширины образца при начальной ширине b_0 и конечной b , $\varepsilon_2 = \ln(b_0 / b)$; ε_3 — деформация волокна в направлении толщины при начальной толщине s_0 и конечной s , $\varepsilon_2 = \ln(s_0 / s)$.

При наличии *плоскостной анизотропии* коэффициент r зависит от направления вырезки образца по отношению к направлению прокатки листа. Обычно определяют коэффициент анизотропии r_0 для образца, вырезанного в направлении прокатки, коэффициент r_{45} для образца, вырезанного под углом 45° к направлению прокатки, и коэффициент r_{90} для образца, вырезанного под углом 90° . Вычисляют его среднеарифметическое значение

$$r_{cp} = \frac{1}{4}(r_0 + 2r_{45} + r_{90}). \quad (11)$$

Коэффициент r (10) в процессе растяжения образца несколько меняется. Обычно его вычисляют при $\varepsilon_1 = 0,15$, если локализация деформации происходит при деформации больше, чем $0,15$.

При незначительном влиянии направления вырезки образца на величину r принимают, что листовой металл имеет *нормальную анизотропию*. Тогда в испытании металла на одноосное растяжение определяют констан-

ты A_1 , ε_{10} и n , а константы зависимости (1) вычисляют по формулам:

$$A = A_1 \left(\frac{3}{2} \frac{1+r}{2+r} \right)^{(1+n)/2}; \quad (12)$$

$$\varepsilon_0 = \sqrt{\frac{2}{3} \frac{2+r}{1+r}} \varepsilon_{10}. \quad (13)$$

Интенсивности напряжения и деформации

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{3}{2} \frac{1+r}{2+r}} \sigma_1; \quad (14)$$

$$\varepsilon_i = \sqrt{\frac{2}{3} \frac{2+r}{1+r}} \varepsilon_1. \quad (15)$$

В разделительных операциях показателем штампуемости обычно является стойкость инструмента при заданных точности и качестве поверхности, по которой происходит разделение металла. Причем качество этой поверхности обычно оценивается величиной заусенца и соотношением двух ее частей: части с малой шероховатостью, по которой металл контактировал с боковой поверхностью инструмента в процессе его пластического внедрения, и части с большой шероховатостью, образовавшейся при разрушении металла.

К технологическим свойствам и характеристикам листового металла, которые влияют на стойкость инструмента, относятся *пластичность* (характеризуется интенсивностью деформации, накопленной за период, предшествующий разрушению), *прочность* (пределом текучести и прочностю), *микроструктура* (величиной зерна и степенью его однородности, наличием более твердых частиц с абразивным характером воздействия на инструмент), *физико-химическое состояние* и *микрогеометрия поверхно-*

сти. С повышением пластичности штампуемость обычно улучшается, увеличивается часть поверхности разделения с малой шероховатостью, возрастает стойкость инструмента, так как снижаются контактные напряжения на рабочих кромках инструмента за счет увеличения площади контакта. Штампуемость улучшается при снижении пределов текучести и прочности, что обычно связано с повышением пластичности. Снижение прочности приводит к снижению контактных напряжений и повышению стойкости инструмента. Стойкость инструмента выше при более мелкой и равномерной микроструктуре металла, малой загрязненности металла нерастворимыми примесями и частицами с абразивным характером воздействия на инструмент.

От микрогеометрии и физико-химического состояния поверхности листового материала зависит ее способность удерживать смазочно-охлаждающий слой, что является единственным резервом улучшения штампуемости металла при его штамповке в состоянии высокой прочности и малой пластичности. Для улучшения штампуемости на поверхность таких листовых металлов иногда наносят покрытия, обладающие смазывающим свойством или способные хорошо удерживать смазочный материал.

При штамповке на высокоскоростных прессах стойкость инструмента зависит также от температуры нагрева инструмента и ее градиента. С увеличением теплопроводности и теплоемкости листового металла температура нагрева инструмента и ее градиент снижаются, стойкость инструмента увеличивается.

В операциях *гибки* показателями штампуемости наиболее часто являются пружинение, минимальный ра-

диус изгиба, степень изменения качества поверхности от деформации при изгибе. Технологические свойства металла, влияющие на его штампуемость, определяются *отношением предела текучести к модулю упругости*, пластичностью, макро- и микроструктурой, однородностью механических свойств по листу, ленте, рулону и т. п. и всей поставки металла для данных изделий, точностью и стабильностью отклонения по толщине от номинала для всей поставки, способностью поверхности удерживать смазочный материал.

Отношение предела текучести к модулю упругости является основным фактором, влияющим на *пружинение*, т.е. на упругое изменение кривизны изогнутой части изделия при разгрузке, когда раскрывается штамп. Оно прямо пропорционально этому отношению. Металл имеет практически неизменный модуль упругости, поэтому чем меньше его предел текучести, тем лучше штампуемость. Чтобы получить заданную точность гибки, пружинение обычно учитывают корректировкой размеров пуансона и матрицы и настройкой штампа. Такая корректировка эффективна, если предел текучести и отклонение по толщине металла достаточно стабильны. *Минимальный радиус изгиба* зависит от пластичности металла, т.е. от величины ε_p , так как формоизменение ограничивается разрушением металла на выпуклой поверхности изогнутого участка. Если металл имеет грубую микроструктуру, крупную неравномерную зернистость, то при изгибе вследствие большой пластической деформации поверхностных слоев может существенно ухудшаться микрогеометрия поверхности. Способность удерживать смазочный материал, зависящая от микрогеометрии поверхности и ее

состояния, имеет значение, когда на поверхности контакта металла с инструментом действуют высокие контактные напряжения и возникает опасность разрыва и выдавливания смазочного материала, схватывания и задиоров.

В операциях вытяжки осесимметричных и коробчатых деталей показателями штампуемости является *предельный коэффициент вытяжки K_n* , определяемый отношением наибольшего диаметра заготовки, при котором еще возможна вытяжка, к диаметру стакана (для коробчатой детали — диаметры условных заготовки и стакана), а также *стойкость инструмента* и иногда коэффициент использования металла, который может существенно снижаться из-за плоскостной анизотропии. Силовые параметры обычно не имеют определяющего значения, они лишь могут отражаться на стойкости инструмента.

На коэффициент K_n влияют *параметры кривой упрочнения ε_{i0} , n , σ_T / σ_B , ε_p* и *коэффициент нормальной анизотропии r* . Чем меньше ε_{i0} , σ_T / σ_B и больше n , ε_p и r по сравнению с единицей, тем больше K_n . Наличие плоскостной анизотропии приводит к нарушению осевой симметрии процесса, к окружной разнотолщинности стенки вытягиваемой детали и волнистости кромки. Последнее приводит к увеличению припуска на обрезку кромки и увеличению расхода металла.

На K_n влияют также *микрогеометрия и физико-химическое состояние поверхности* (имеется оптимальная микрогеометрия поверхности, обеспечивающая требуемые условия трения, причем имеет значение различие в микрогеометрии с одной стороны листа по сравнению с другой) и *относительная толщина стенки вытягиваемого изделия* (с увеличением от-

ношения толщины листа к диаметру изделия штампуемость обычно улучшается, повышается коэффициент $K_{\text{п}}$, снижаются требования к техническому уровню и состоянию штампа и прессы).

Стойкость вытяжного штампа зависит от прочностных характеристик листового металла. В зависимости (1) они отражены в основном коэффициентом A , а также зависят от n и ε_{i0} . С увеличением прочности металла возрастают напряжения на поверхностях его контакта с инструментом. Вследствие этого увеличивается интенсивность изнашивания инструмента, повышается вероятность налипания обрабатываемого металла на рабочую кромку матрицы в результате выдавливания смазочного материала с поверхности контакта. Требования к техническому уровню и состоянию штампа и прессы повышаются, увеличиваются материальные затраты в целом.

В операциях обтяжки и рельефной формовки формоизменение металла осуществляется путем его растяжения и обтягивания по поверхности инструмента. Показателем штампуемости является *параметр предельного формоизменения*, которое ограничивается разрушением металла, причем разрушению может предшествовать локализация деформации. Дополнительным показателем может быть степень ухудшения микрогеометрии поверхности при деформации металла. Параметром предельного формоизменения может служить относительная предельная глубина формуемой оболочки, относительное удлинение контура сечения оболочки и относительное увеличение площади поверхности металла при его формоизменении.

Локализация деформации предшествует разрушению металла, когда ус-

ловия его деформации при штамповке близки к условиям одноосного растяжения или плоской деформации. Но чаще имеют место такие условия штамповки, которые препятствуют локализации деформации. Ее развитие в той или иной мере замедляется, и она протекает не в таком явном виде, как в условиях одноосного растяжения.

Если условия формоизменения металла в операции не препятствуют развитию локализации деформации, то предельное значение главной деформации ε_1 в направлении наибольшего растяжения металла равно $\varepsilon_{\text{ш}}$ (4). Параметр предельного формоизменения зависит в основном от $\varepsilon_{\text{ш}}$ и r (10): чем они больше, тем равномернее растягивается металл, тем больше его формоизменение.

На замедление локализации влияет в основном отношение $\varepsilon_2 / \varepsilon_1$ между деформациями удлинения главных волокон, взятых на поверхности формуемой оболочки; в этом отношении $\varepsilon_2 \geq \varepsilon_1$. В результате замедления локализации увеличивается предельное значение деформации ε_1 по сравнению с $\varepsilon_{\text{ш}}$. Влияние отношения $\varepsilon_2 / \varepsilon_1$ на ε_1 отражается кривой Келлера. Некоторое влияние на положение кривой оказывает характер распределения деформации по оболочке. Она располагается тем выше в плоскости $\varepsilon_1, \varepsilon_2 / \varepsilon_1$ графика, чем неравномернее распределение деформации. Замедление локализации может быть настолько сильным, что разрушение металла возникает раньше, чем локализация. В этом случае параметр предельного формоизменения тем больше, чем больше ε_p , $\varepsilon_{\text{ш}}$ и r .

Дополнительный показатель штампуемости, обеспечивающий оптимальную шероховатость поверхности металла, вводится в случаях, когда это имеет значение при производстве за-

данного изделия. Шероховатость поверхности тем больше, чем грубее микроструктура, крупнее и неоднороднее зерна.

При штамповке углеродистой листовой стали характерным дефектом на участках двухосного растяжения являются полосы скольжения. Этот дефект связан с наличием площадки текучести на кривой упрочнения. Чтобы устранить площадку текучести, непосредственно перед штамповкой металлу сообщают небольшую, порядка 0,01 деформацию на специально предназначенных для этого станах.

В операциях вытяжки сложных несимметричных деталей (типа деталей кузова автомобиля) формообразование происходит как за счет втягивания металла пуансоном в матрицу, так и за счет его двухосного растяжения и обтягивания по пуансону, т.е. операция вытяжки совмещается с операцией обтяжки. Технологические свойства металла должны обеспечивать обрабатываемость металла по показателям штампуемости обеих операций.

В операциях вытяжки с утонением стенки формоизменение происходит в основном за счет уменьшения толщины стенки заготовки протягиванием ее через зазор между пуансоном и матрицей. Уменьшение толщины и формоизменение ограничены разрушением стенки. На поверхностях контакта металла с инструментом действуют высокие контактные напряжения.

Штампуемость металла определяется обычно предельным коэффициентом утонения стенки, стойкостью инструмента, коэффициентом использования материала и материальными затратами на подготовительные операции.

Предельный коэффициент утонения стенки m_n по условию разрыва стенки

тем меньше (формоизменение тем больше), чем интенсивнее упрочняется металл, т.е. чем больше константа n в зависимости (1).

Стойкость инструмента зависит в основном от отношения между показателями прочности обрабатываемого металла и материала инструмента. Это соотношение обычно выбирают на базе производственного опыта. На стойкость инструмента влияют также способность поверхности металла удерживать смазочный материал и загрязненность металла нерастворимыми примесями и частицами с абразивным характером воздействия на инструмент. Часто для повышения стойкости на поверхность металла наносят покрытия, обладающие смазывающими свойствами или способностью хорошо удерживать смазочный материал.

На коэффициент использования металла существенно влияет плоскостная анизотропия. Она приводит к нарушению осевой симметрии процесса, увеличению высоты неровностей кромки вытягиваемого стакана. В результате припуск на обрезку неровностей по кромке увеличивается.

В операциях отбортовки отверстия и раздачи конца трубы показателем штампуемости является *предельный коэффициент формоизменения*. Формоизменение осуществляется за счет растяжения и уменьшения толщины металла. Возможности формоизменения в основном зависят от параметров $\varepsilon_{ш}$ и ε_p кривой упрочнения и ограничиваются разрушением по кромке борта или трубы, которому может предшествовать локализация деформации. Деформация растяжения металла по кромке перед локализацией существенно больше деформации $\varepsilon_{ш}$, т.е. локализация деформации значительно запаздывает под воздействием градиента деформации. Деформация ε_{ip} , при которой разрушается металл,

в этих операциях больше деформации ε_p , при которой разрушается металл в шейке образца для испытания металла на растяжение. На значение предельного коэффициента существенно влияет отношение толщины металла к диаметру отверстия под отбортовку или трубы. Существенно сказывается также разнотолщинность, она приводит к нарушению осевой симметрии процесса, усиливает локализацию деформации. Подобный эффект возникает и при наличии плоскостной анизотропии листового металла.

Испытания технологических свойств листовых металлов и технологические пробы. Испытания технологических свойств листовых металлов сводятся к испытаниям механических, физических и других его свойств и характеристик, поскольку технологические свойства, от которых зависит штампуемость металла в операции, определяются частью этих свойств и характеристик. Технологическая проба представляет собой пробное выполнение операции на образцах металла с помощью лабораторного штампа или приспособления, моделирующих производственный штамп. Она позволяет определить показатели штампуемости опробованного металла и сравнить их с показателями, удовлетворяющими требования производства. Но выявить, какое именно свойство или характеристика или же их сочетание обеспечили такой показатель, проба обычно не может.

Испытания образцов металла на одноосное растяжение для определения механических свойств. Для вычисления трех констант зависимостей (1) и (2) выбирают точки M , N и L на экспериментальной кривой $\sigma_1(\varepsilon_1)$, которую строят по экспериментальным точкам как осредняющую (например, по методу наименьших квадратов). Если испытательная машина оснащена при-

борами для непрерывной записи изменений размеров образца и усилия, и компьютером, выдающим кривую $\sigma_1(\varepsilon_1)$ в готовом виде, то вычисление необходимых для построения кривой данных отпадает. Три точки дают три уравнения (2) для вычисления трех констант. Точка M должна иметь координаты $\sigma_1 = \sigma_T, \varepsilon_1 = 0$; точка L — координаты конца кривой; точку N удобно выбрать так, чтобы

$$\sigma_N^2 = \sigma_M \sigma_L. \quad (16)$$

Это дает возможность записать три формулы для определения констант в явном виде:

$$\varepsilon_{10} = \frac{\varepsilon_N^2}{\varepsilon_L - 2\varepsilon_N}; \quad n = \frac{\ln(\sigma_M / \sigma_T)}{\ln[(\varepsilon_{10} + \varepsilon_N) / \varepsilon_{10}]};$$

$$A_1 = \frac{\sigma_L}{(\varepsilon_{10} + \varepsilon_L)^n}. \quad (17)$$

Если машина оснащена компьютером, то эти вычисления делает он, тогда отпадает необходимость в использовании условия (16), чтобы записать ε_{10} , n , A_1 в явном виде.

При выборе методов измерений образца и вычислений напряжения σ_1 и деформации ε_1 необходимо учитывать следующие обстоятельства. Площадь F_0 поперечных сечений рабочего участка образца в его исходном состоянии при точности изготовления образца согласно ГОСТам может быть неодинаковой. Различия для сечений с наибольшей и наименьшей площадью в образце из листового проката могут достигать 2 %. Для образцов, вырезанных из труб и других полуфабрикатов, это различие может достигать 5 % и более вследствие разнотолщинности, так как обработка поверхностей образца для выравнивания толщины обычно не до-

пускается. Вследствие этого для каждого поперечного сечения из ряда сечений с площадями $F_{01}, F_{02}, \dots, F_{0k}, \dots$ имеется своя зависимость силы растяжения образца $P_k(\varepsilon_k)$ в виде

$$P_k = \sigma_k F_k = AF_{0k}(\varepsilon_{10} + \varepsilon_k)^n e^{-\varepsilon_k}, \quad (18)$$

где $k = 1, 2, 3, \dots$

На плоскости P_1, ε_1 зависимости (18) для ряда сечений представляют собой множество непересекающихся кривых, занимающих полосу, ширина которой тем больше, чем больше различие между площадями сечений. При растяжении в статических условиях на обычной испытательной машине можно считать, что усилие в любой момент времени одно и то же для всех сечений: $P_k = P$. Отсюда и из равенства (18) следует, что в различных сечениях деформация различна, т.е. растяжение образца неравномерно с самого начала пластической деформации.

В момент, когда усилие достигает максимума, деформация равна $\varepsilon_{ш}$ только в самом слабом сечении шейки; во всех других сечениях она меньше. Расчеты показывают, что в сечении, площадь которого, например, на 1 % больше, деформация меньше на 23 %, если $n = 0,3, \varepsilon_{10} = 0$; на 39 % меньше, если $n = 0,3, \varepsilon_{10} = 0,1$; на 40 % меньше, если $n = 0,4, \varepsilon_{10} = 0,2$.

Из расчета следует, что применяемый иногда метод определения константы n по измерениям размеров сечения, удаленного от шейки образца, или по измерениям продольной базы, взятой вне шейки, является весьма грубым и всегда дает заниженный результат.

Метод построения кривой $\sigma_1(\varepsilon_1)$ по результатам измерений продольной базы образца содержит следующую некорректность. Вследствие неравномерного растяжения как всего образ-

ца, так и выбранной для измерений базы, вычисление деформации как $\ln(l/l_0)$ по измерениям текущей длины l продольной базы l_0 в действительности дает осредненную по базе деформацию

$$\varepsilon_{cp} = \ln \frac{\int_{l_0}^l [F_0(x_0) / F(x_0)] dx_0}{l_0}, \quad (19)$$

где $F_0(x_0)$ и $F(x_0)$ — начальная и текущая площади поперечных сечений образца в виде функций координаты x_0 , взятой по его оси.

Среди всех сечений внутри измеряемой базы есть сечение, в котором деформация равна вычисленной по уравнению (19). Если бы напряжение σ_1 вычисляли по измерениям именно этого сечения, то оно соответствовало бы вычисленной по (19) деформации. Но расположение этого сечения заранее неизвестно, экспериментатор его и не ищет. Измерения проводят для случайно выбранного сечения, не обязательно в пределах базы. Эта некорректность не приводит к существенным неточностям при вычислении A_1 и n_1 , если образец взят от прокатанного листа, разнотолщинность и неоднородность которого относительно малы. Но если образец взят от трубы или от штампованного полуфабриката, разнотолщинность и неоднородность которых значительно больше, ошибку трудно оценить, так как для оценки необходимо найти функцию $F_0(x_0)$ и аналогичную функцию в отношении неоднородности металла вдоль образца. Метод определения кривой $\sigma_1(\varepsilon_1)$ по результатам изменения данного поперечного сечения и усилия не содержит этой некорректности.

Относительная ошибка при измерении толщины больше, чем при измерении продольной базы. Но когда используют метод измерения про-

дольной базы для вычисления деформации, то измерение толщины остается обязательным, так как для вычисления напряжения необходимо знать площадь сечения образца. В итоге точность общего результата определяется точностью измерения толщины образца.

Метод, в котором деформация вычисляется по измерениям поперечного сечения, можно использовать и для количественной оценки неоднородности металла вдоль образца; для этого в испытании необходимо проводить измерения одновременно в нескольких сечениях образца, чтобы затем построить для каждого сечения кривую упрочнения. Степень различия констант A_1, ε_1 и n кривых упрочнения для различных сечений образца будет отражать неоднородность металла.

Оценка структурного состояния. Характер микроструктуры, т.е. структурный состав, величина и форма зерна, степень его однородности, наличие загрязнений, нерастворимые включений, оценивается согласно ГОСТ 5639–82, ГОСТ 16523–70. Методика оценки структурного состояния регламентирована этими ГОСТами.

Оценка склонности к деформационному старению, в результате которого появляется площадка текучести на кривой упрочнения металла, проводится в соответствии с ГОСТ 7268–82.

Оценку микрогеометрии поверхности проводят по ее шероховатости. Параметры, характеристики и обозначения регламентированы ГОСТ 2789–73 и ГОСТ 2.309–73. Основным параметром является среднее арифметическое отклонение профиля Ra . Он отражает среднюю арифметическую высоту неровностей профиля в пределах базовой длины. Способность удерживать смазочный материал зависит от этого параметра, а также от типа, направления неровностей, их шага. Для

определения параметров шероховатости служат профилометры щуповые завода «Калибр» типа «Калибр-201», «Калибр-252».

Технологические пробы. *Технологическая проба на вырубку-пробивку* осуществляется на штампе для вырубки кружка (длина окружности 100 мм), оснащенном силоизмерительным устройством. Принимается оптимальный зазор между пуансоном и матрицей, соответствующий толщине и роду металла. Условия вырубки — обычные для штампов с жестким или пружинным съемником.

По технологической пробе оценивают условное напряжение, взятое как отношение максимальной силы вырубки к произведению длины поверхности разделения на толщину листа; глубину пластического внедрения кромок инструмента к моменту появления трещин в зоне разрушения (ширину блестящего пояса); качество поверхности разделения. По результатам пробы можно косвенно судить о прочности и пластичности металла, величине зерна, дать ориентировочную оценку ожидаемой стойкости инструмента.

Технологические пробы на изгиб можно разделить на три группы. В пробах первой группы определяют пригодность металла по минимальному радиусу изгиба, при котором происходит разрушение; второй группы — по числу циклов гибки до разрушения металла: изгиба — разгиба — перегиба — разгиба; третьей группы — по пружинению после разгрузки. В пробах всех групп обычно оценивают момент изгиба или силу, создающую этот момент на определенном плече. К первой группе можно отнести пробы по Вольтеру, Гютю; ко второй группе — пробы на перегиб и на двойной кровельный замок; к третьей группе — пробы на загиб

угла листа прибором «Flex» и на пружинение по Элеру.

Технологические пробы на осесимметричную вытяжку делают для определения предельного коэффициента вытяжки.

В пробе по методу ЦНИИТМАШа на штампе-приборе вытягивается цилиндрический стакан диаметром 50 мм из образцов в виде диска; диаметр их варьируется от значения, при котором вытяжка возможна, до значения, при котором происходит разрыв заготовки в окружном сечении, проходящем через точку на участке контакта с тороидной поверхностью торца пуансона.

Радиусы скругления рабочих кромок матрицы и пуансона и зазор принимают оптимальными для данной толщины металла. Применяют обычный для данного металла смазочный материал. Прижимное устройство настраивают на оптимальную силу. Сравнение металлов одной и той же марки по предельному коэффициенту вытяжки проводят на одном и том же штампе-приборе и при неизменных условиях проведения пробы.

Достоверность предельного коэффициента вытяжки для металла зависит от числа образцов одного и того же диаметра, вытянутых без разрыва и разорвавшихся.

В приборе для проведения пробы по методу Фукуи матрица штампа-прибора имеет коническую (угол при вершине 60°) рабочую поверхность, которая сопрягается с цилиндрической поверхностью отверстия диаметром приблизительно 25 мм тороидной поверхностью оптимального радиуса. Пуансон — со сферической или плоской со скругленной кромкой рабочей поверхностью, прижимного устройства нет, образцы — в виде диска с варьируемым диаметром. Методи-

ка проведения пробы такая же, как и пробы по методу ЦНИИТМАШа. Металлы сравнивают по предельному коэффициенту вытяжки. Кроме того, оценивают изменение микрогеометрии листа в зоне интенсивного двухосного растяжения-обтяжки металла по сферическому пуансону, зависящее от величины зерна. Анализируют вид трещины и ее место относительно направления прокатки. Поведение металла в зоне контакта со сферическим пуансоном характеризует частично некоторые показатели его штампуемости в операциях рельефной формовки и обтяжки.

Оценка предельного коэффициента вытяжки путем варьирования диаметра заготовки весьма трудоемка из-за большого числа проб и образцов, требует статистической обработки результатов. Предложено несколько способов усовершенствования методики проведения пробы и оценки результатов. Так, способ Энгельгардта и Гросса оценки результатов пробы на вытяжку стаканчика заключается в следующем. В штампе-приборе совмещенного действия из полосы, отрезанной от листа, вырубается круглый образец и затем вытягивается в стаканчик. Соотношение между диаметрами стаканчика и образца равно 0,577, т.е. такое, что вытяжка идет без отрыва дна, но стаканчик вытягивается не полностью. Когда сила вытяжки достигает максимума P_{\max} и затем начинает уменьшаться, невтянутый еще фланец образца жестко зажимается под прижимом. При дальнейшем продвижении пуансона в матрицу вытянутая часть образца растягивается и при силе разрыва P_p у нее обрывается дно. Прибор фиксирует силы P_{\max} и P_p . Опробованный металл сравнивают с другим металлом по коэффициенту $T = (P_p - P_{\max}) / P_p$.

Технологическую пробу на осесимметричную формовку делают для определения показателя наибольшего формоизменения металла в штампе-приборе. Методика проведения пробы по Эриксену регламентирована ГОСТ 10510–80. Она заключается в формовке на заготовке осесимметричного углубления с помощью пуансона со сферическим торцом радиусом 10 мм и матрицы диаметром 27 мм. В приборе имеется прижимное устройство, квадратный образец со стороной не менее 90 мм; может быть использована неразрезанная на квадраты полоса такой же ширины.

В наборе инструмента для прибора имеются также пуансоны с радиусами сферы 7, 4 и 1,5 мм и соответствующие им матрицы диаметрами 17, 11 и 5 мм. Образец должен иметь стороны квадрата не меньше 50, 30 и 15 мм соответственно. Этот дополнительный набор инструментов применяют в случаях, когда ширина ленты меньше 90 мм.

В пробе соотношение между размером образца и диаметром матрицы значительно больше предельного коэффициента вытяжки, поэтому металл практически не втягивается в матрицу. Формообразование идет за счет двухосного растяжения металла внутри контура матрицы.

Показателем наибольшего формоизменения является глубина формовки h_3 в момент появления трещины в окружном сечении, находящемся в зоне контакта металла с пуансоном. Этот момент практически совпадает с моментом максимума силы формовки, что может служить признаком для останова движения инструмента.

Дополнительным показателем штампуемости является изменение микрогеометрии поверхности листа в зоне наибольшего растяжения по пуансону, вид трещины, положение ее отно-

сительно направления прокатки. Они отражают величину зерна, анизотропию в отношении пластичности металла.

Проба на осесимметричную формовку дает хороший показатель штампуемости и в операциях обтяжки.

Штампуемость данного металла в операциях вытяжки сложных несимметричных деталей типа автокузовных сравнивается со штампуемостью другого металла по результатам двух проб: на осесимметричную вытяжку и формовку. Штампуемость тем лучше, чем выше оба показателя.

Проба на отбортовку отверстия в листе заключается в отбортовке отверстия, просверленного в листе, с помощью цилиндрического пуансона с плоским или сферическим торцом и матрицы. В пробе отбортовка ведется до такого диаметра по кромке отверстия, когда на кромке появляется трещина. Отношение диаметра отверстия к этому диаметру является показателем пробы.

Существуют и другие, менее распространенные и известные технологические пробы для листового металла. В них моделируется данная штамповочная операция. Условия проведения пробы следует по возможности приближать к условиям производственной штамповки.

Оценка штампуемости с помощью диаграмм предельных деформаций. Диаграммы предельных деформаций С.П. Келлера и Г.М. Гудвина позволяют устанавливать границы предельных деформаций, действующих в плоскости листа. Диаграмма предельных деформаций (ДПД) строится в осях главных логарифмических деформаций ε_1 и ε_2 , действующих в плоскости листа. По оси ординат диаграммы отложена наибольшая главная деформация ε_1 , а по оси абсцисс — наименьшая главная дефор-

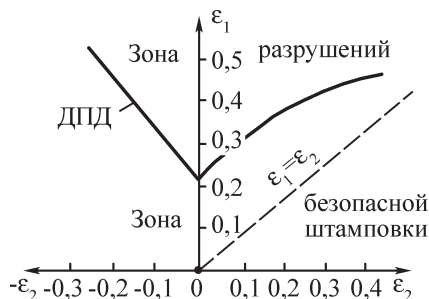


Рис. 5. Диаграмма предельных деформаций

мация ϵ_2 (рис. 5). ДПД делит уровень деформаций на две зоны: выше кривой ДПД — область разрушений листового металла, ниже диаграммы — область безопасных условий штамповки.

При этом виды деформированного состояния в плоскости листового проката представлены на рис. 6.

При $\epsilon_1 = \epsilon_2$ имеет место двухосное равномерное растяжение, при $\epsilon_2 = 0$ (деформация в направлении ϵ_2 отсутствует) — плоское деформированное состояние.

Деформированное состояние в границах от $\epsilon_2 = 0$ до $\epsilon_2 = \epsilon_1$ наблюдается в операциях формовки и осу-

ществляется за счет утонения толщины листа.

При $\epsilon_1 = -2\epsilon_2$ возникает линейное растяжение. Все деформации, лежа-

щие на прямой $\epsilon_1 = -\left(\frac{r+1}{r}\right)\epsilon_2$, отражают линейное растяжение, r — коэффициент нормальной анизотропии.

В области $(\epsilon_1 = -\epsilon_2) \dots (\epsilon_1 = -2\epsilon_2)$ происходит значительное растяжение в направлении ϵ_1 и сжатие в направлении ϵ_2 , что присуще таким операциям, как вытяжка, раздача, отбортовка, и в некоторых сечениях при формоизменении автокузовных деталей.

Существует несколько способов построения ДПД (табл. 11) [1, 2, 3].

Растяжение образцов с выточками.

Испытания проводят на разрывной машине. Предварительно на рабочую часть образцов наносят координатную сетку в виде окружностей диаметром 3...4 мм, растяжение проводят до разрушения.

Измеряя в окрестности разрыва главные оси эллипсов, в которые превратились окружности, рассчитывают главные критические деформации, по которым строят ДПД, $\epsilon_1 = \ln(a/d)$;

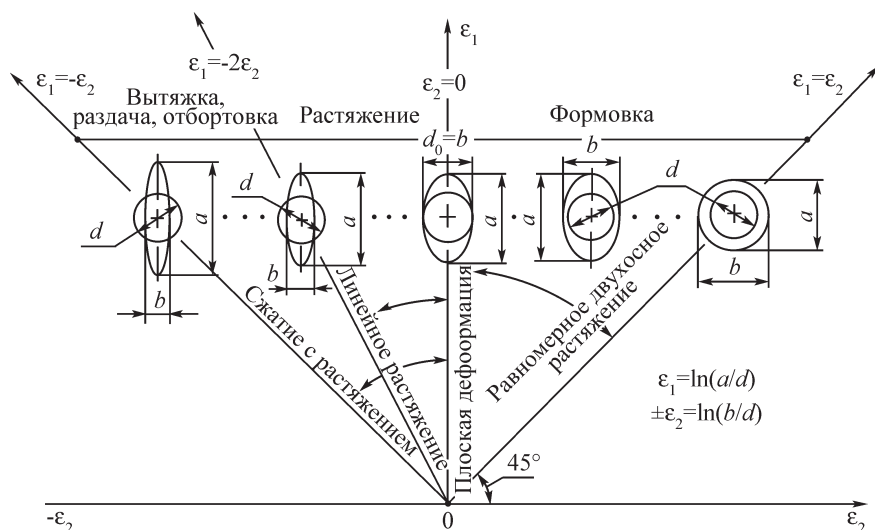


Рис. 6. Виды деформированного состояния

11. Способы построения диаграмм предельных деформаций

Наименование	Схемы испытаний	Образец	Размеры, мм	ДПД
Растяжение образцов с выточкой			$r_1 = 10; 15; 20; 25; 30$	
Формовка полос переменной ширины полусферическим пуансоном			$a = 40; 60; 80; 100; 120; 140$	
Формовка круглых образцов с боковыми вырезами			$r_2 = 20; 30; 40; 50$	
Отбортовка полос переменной ширины			$d = (0,2...3)D_1$ $D = 50...100$ $B = (0,7...2,0)D_1$ $A \geq 2 D_1$ $D_1 = D + 2S_0$	

$\pm \varepsilon_2 = \ln(b/d)$, где a, b — оси эллипсов, d — исходный диаметр окружностей координатной сетки. Испытания предназначены для построения ДПД левой ветви.

Как показывает опыт, левая ветвь ДПД близка к прямой линии. С учетом нормальной анизотропии r критические деформации при линейном растяжении равны:

$$\varepsilon_1 = (1 + r)n; \quad -\varepsilon_2 = m,$$

где n — показатель деформационного упрочнения.

Формовка полос переменной ширины и круглых образцов с боковыми вырезами полусферическим пуансоном осуществляется в специальных штампах с механическим или гидравлическим прижимом, обеспечивающим отсутствие проскальзывания образца под прижимом. На рис. 7 показана схема штампа с автономным гидравлическим прижимом. С помощью ручного насоса 6, цилиндрического гидроцилиндра 4, кольцевого поршня 5 осуществляется прижим кольцом 3 образца к

матрице 2. Далее пуансоном 1 производится формовка образцов. Штмп устанавливается на универсально-испытательную машину растяжения-сжатия, оснащенную силоизмерительным устройством. При достижении максимума усилия машина отключается и образцы извлекаются из штампа.

На рис. 8 показаны образцы после испытаний.

Испытания проводят также в автоматическом режиме на испытательных машинах типа МТЛ-10 Г и ИА 5073-100 с использованием специальной оснастки.

На образцы перед испытаниями наносят координатную сетку в виде окружностей диаметром 2...4 мм, проводят формовку до появления трещины и по результатам измерений координатной сетки, в окрестности трещины строят ДПД (как в п. 1). Между пуансоном и образцом устанавливают полиуретановую прокладку толщиной 0,5...0,8 мм. Построенные графики охватывают как левую, так и правую ветви ДПД (см. табл. 11).

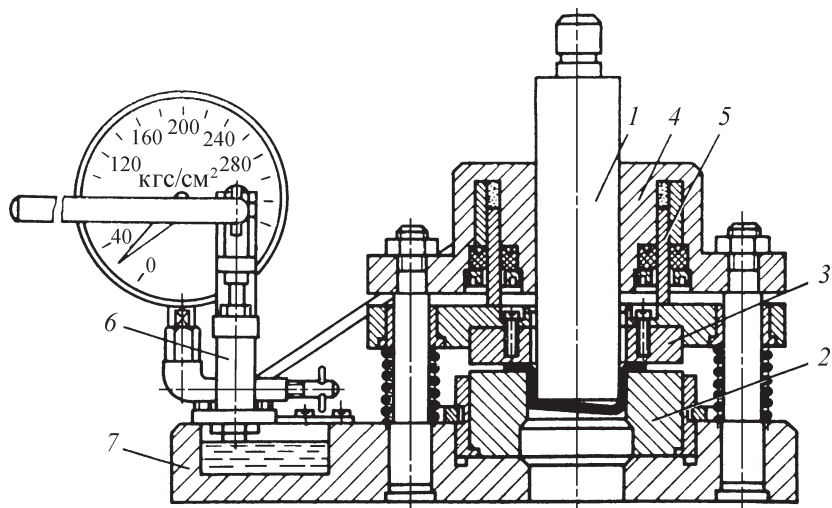


Рис. 7. Схема штампа с автономным гидравлическим прижимом

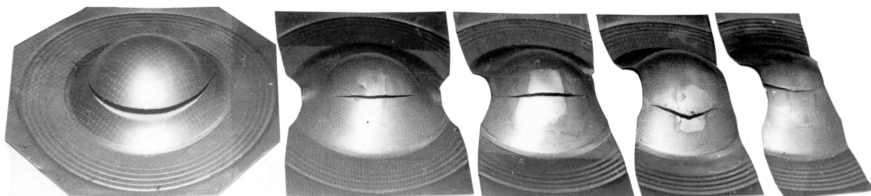


Рис. 8. Образцы после испытаний

Отбортовка полос переменной ширины с центральным отверстием производится в штампах-приборах и в испытательных машинах МТЛ-10 Г с использованием специальной оснастки (рис. 9), содержащей пуансон 1, матрицу 2, прижим 3, ловитель 4. Установка образцов осуществляется с помощью ловителя, центрирующего их относительно пуансона. В пуансоне сделано неглубокое отверстие, куда входит ловитель, а также выборка центральной части для снижения трения. Между образцом и пуансоном устанавливают полиэтиленовую разового пользования прокладку в виде шайбы толщиной 0,1...0,3 мм со смазочным материалом.

Испытание выполняется в автоматическом режиме, осуществляется прижим образца, далее пуансон формирует —

отбортовывает образец до максимума усилия, в момент которого наблюдается потеря устойчивости на кромке отверстия, и пуансон останавливается. Трещины на кромке не образуются, а первоначальные круглые отверстия превращаются в эллипсы.

Отверстия в образцах выполняют, собирая их в пакеты, с наружных сторон используя листовую металл большей толщины.

Размеры образцов должны соответствовать указанным в табл. 11. Так, для штампов-приборов с пуансонами диаметром 70 мм диаметр отверстия составляет 15 мм, для пуансонов диаметром 52 мм для МТЛ-10Г — 12 мм. Ширина образцов B равна 50, 65, 80, 95, 110, 125, 140 мм. Процесс обработки экспериментальных данных и построения ДПД компьютеризирован.

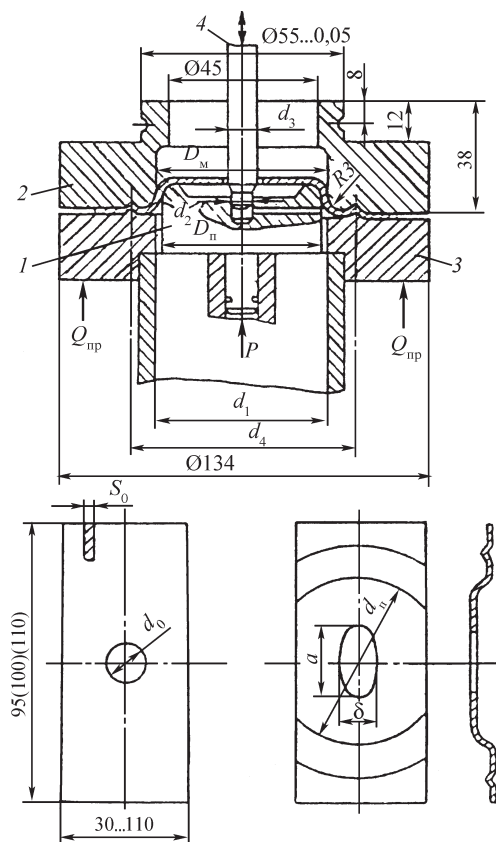


Рис. 9. Штамповая оснастка для испытаний листового металла на машине МТЛ-10Г и образцы для отбортовки полос с центральным отверстием

С помощью корреляционного анализа получают уравнения левой и правой ветвей ДПД.

После испытаний измеряют главные оси эллипсных отверстий, в которые превратились первоначально просверленные круглые отверстия. Далее рассчитывают главные деформации ε_1 и $\pm\varepsilon_2$ так же, как при испытаниях образцов с выточками, и строят ДПД.

Методика оценки штампуемости с использованием ДПД заключается в следующем.

1. Одним из способов строят ДПД.
2. С помощью деформационных сеток, нанесенных на заготовку произ-

водственной детали, определяют поле деформаций $\varepsilon_1^* = \varepsilon_1^*(\varepsilon_2^*)$ в выбранных сечениях, в том числе «опасных» по трещинам и разрывам.

3. Наносят это поле деформаций на ДПД и определяют коэффициент использования пластичности η как отношение накопленной деформации в данном сечении к критической, т.е. до ДПД: $\eta = \varepsilon_1^* / \varepsilon_1 \leq 1$.

4. Определяют запас пластичности в выбранном сечении, принимая ординату ε_1 , где происходит измерение до нижней границы ДПД, за 100 %:

$$\Delta = 100 - \eta \geq 10\%.$$

Здесь величина η в %.

Запас пластичности считается удовлетворительным, если он составляет не менее 10 %, он компенсирует неравномерности свойств листового проката, неоднородность смазочных материалов, применяемых при штамповке, износ инструмента и т.д. При значительном запасе Δ не исключена возможность перехода на штамповку из металла менее пластичного, более дешевого и даже меньшей толщины, если это позволяет конструкция и служебные свойства детали.

Примеры использования ДПД для оценки штампуемости.

1. Исследования были проведены для определения возможности применения к стали марки 08кп толщиной 1,2 мм (ТУ 14-11-248-88) взамен освинцованной стали О8 Ю для топливного бака зерноуборочного комбайна Дон-1500 (рис. 10, а).

Координатные сетки в виде окружностей наносились на угловых участках в направлении ε_2 , причем заготовка была несколько уменьшена в размерах. Глубокая вытяжка и сварка двух половин прошли успешно. Коэффициент использования

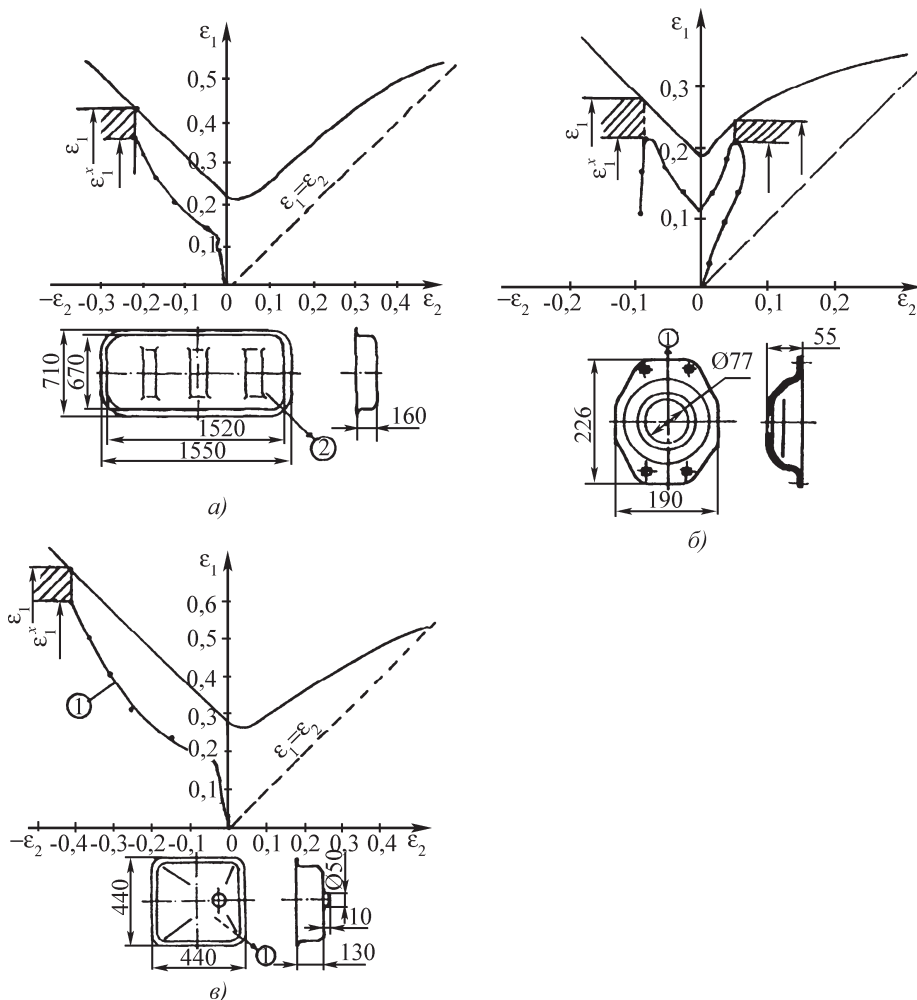


Рис. 10. Примеры использования ДПД:

a — глубокая вытяжка топливного бака; *б* — вытяжка детали фланец, *в* — вытяжка и отбортовка кухонной мойки

пластичности в угловых участках был $\eta = 0,374/0,432 = 0,865$, что позволило рекомендовать новую марку стали в производство.

2. На рис. 10, *б* показаны фланец зерноуборочного комбайна и ДПД. Координатные сетки наносились в направлении ϵ_1 , для этого сечения и построены поля деформаций, захватывающие как область сжатия с растяжением — левая часть, так и двухосное растяжение — правая часть поля. Это

объясняется тем, что деталь имеет центральное отверстие. Для детали «фланец» была уменьшена толщина и размеры заготовки, а также использована малоуглеродистая сталь повышенной прочности 08ГСЮТ взамен освинцованной стали 08Ю. Коэффициент использования пластичности $\eta = 0,23/0,28 = 0,82$ в левой части ДПД и $\eta = 0,225/0,26 = 0,865$ в правой части ДПД, что удовлетворительно при глубокой вытяжке данной детали.

3. Для глубокой вытяжки и отбортовки отверстия в дне кухонной мойки, показанной на рис. 10, *в* (схема нагружения сжатие-растяжение), использовались коррозионно-стойкие стали 04X17Т-ГР и 04X17Т по ТУ 14-1-4954–91 и ТУ 14-1-4955–91 толщиной 1 мм. Эти безникелевые

стали содержат титан и по стоимости ниже, чем содержащие Ni, обладают хорошей штампуемостью.

Координатные сетки наносили в угловых участках по сечению ε_1 , по которому строили поле деформаций ε_1 . Коэффициент использования пластичности $\eta = 0,61/0,68 = 0,897$.

Глава 4

ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА И СПОСОБЫ ЕГО РАЗДЕЛЕНИЯ НА ЗАГОТОВКИ

1. ЗАЧИСТКА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛА

Если на поверхности слитков, поковок, сортового проката обнаружены дефекты — коррозия, плены, волосовины, трещины, закаты, подрезы, расслоения, риски, то они должны быть удалены перед дальнейшей обработкой. Крупные поверхностные дефекты удаляют газопламенной обработкой, пневматическими молотками, зачисткой шлифовальными кругами. Для удаления поверхностных дефектов на стальных заготовках используют электрокорундовые шлифовальные круги на бакелитовой связке с зернистостью 12...60. Окружная скорость шлифовальных кругов составляет 30...50 м/с. Обработанные участки поверхности должны иметь плавные переходы.

При большом числе дефектов проводят обдирку на обдирочных, фрезерных или строгальных станках в зависимости от формы и вида исходного металла. Если глубина дефектов на прокате из углеродистых качественных конструкционных сталей превышает значения, указанные в табл. 1, то металл бракуют.

Очистку поверхности проката от продуктов коррозии и окалины можно производить механическим способом травления. Травление без механической очистки не обеспечивает надежного удаления окалины, поэтому предварительно применяют механическую обработку (зачистку поверхности), обдирку, шлифование, очистку стальными щетками, дробеочистку.

Выбор способа зачистки зависит от вида исходного металла (слиток, отливка, прокат), его назначения, марки металла, вида и степени развития дефекта, формы и размера сечения (табл. 2). По экономическим показателям зачистка пневматическими молотами в 2,5—3 раза дешевле, чем шлифовальными кругами. Ручная газопламенная зачистка без подогрева дешевле обработки пневматическими молотками на 30...40 % и приблизительно одинакова в случае подогрева.

Горячекатаные прутки, используемые для штамповки в открытых штампах, на некоторых производствах подвергают обточке в целях удаления безуглеродженного слоя и повышения точности по диаметру. Эффективна обточка на бесцентровых токарных станках, в которых прутки поступа-

1. Допустимая глубина зачистки дефектов (углеродистая качественная конструкционная сталь, ГОСТ 1050—88)

Диаметр или толщина заготовки, мм	Глубина зачистки, не более
До 80	Половина суммы предельных отклонений
80...140	Сумма предельных отклонений
140...200	5 % диаметра или толщины
Св. 200	6 % диаметра или толщины

2. Выбор способа зачистки для устранения дефектов в зависимости от марки стали

Сталь	Способ зачистки
Ст 2...Ст 6, 10...60, 15Г...50Г, 15Х...35Х, 15ХФ, 15ХМ, 15НМ, 20ХН, 12ХН2, 12ХН3А	1. Пневматическим молотком 2. Газопламенная без подогрева
65, 70, 60Г...70Г, 30Г2...50Г2, 38ХА, 50Х, 40ХГ, 40ХФА, 33ХС...40ХС, 40ХН...50ХН, 30ХН3А, 30ХГС, 38ХМЮА	1. Пневматическим молотком 2. Газопламенная с подогревом не ниже 180 °С
У9...У13, ШХ6...ШХ15, ШХ15СГ, Х, 9ХС, ХВГ, 7Х3, 8Х3	1. Пневматическим молотком 2. Газопламенная с подогревом не ниже 300 °С
08...45, 15Г...60Г, 15Х...45Х, 33ХС, 15ХМ, 30ХМ, 35ХМ, 20ХН...40ХН, 12ХН3А, 30ХГСА, 35ХГСА	Обработка на фрезерном станке
У8...У13, ШХ15, ШХ15СГ, 12Х18Н9, 4Х10С2М, Х, 9ХС, ХВГ, 7Х3, 4ХВ2С, Х12, Х12М, Р9, Р18	Шлифовальными кругами

тельно перемещается сквозь вращающиеся многолезцовые головки. Производительность бесцентрового токарного станка в 3—4 раза выше производительности универсального токарного станка.

2. РАЗДЕЛЕНИЕ МЕТАЛЛА НА ЗАГОТОВКИ

Операции разделения исходного металла (отливок, поковок, прутков, труб, полос, профилей) на заготовки — самые распространенные в металлообрабатывающем производстве. Экономичность их существенно влияет на эффективность всего технологического процессаковки или штамповки и прежде всего на расход металла. Разделение можно производить различными способами (рис. 1). Каждый способ характеризуется совокупностью технико-экономических показателей и имеет свою рациональную область применения.

Отрубка — отделение заготовки внедрением клинового инструмента. Отрубку горячего металла выполняют на молотах и гидравлических прессах и применяют для отделения

негодных частей от основной заготовки или для разделения исходного металла на заготовки под ковку. Отход металла при отрубке незначительный. Отрубка как кузнечная операция рассмотрена в гл. 13.

Способ отрубки применен в машинах «МИР» для импульсного холодного или горячего разделения металла, разработанных в Харьковском авиационном институте (рис. 2). Разделение осуществляется внедрением движущихся навстречу друг другу клинообразных пластин — ножей. Начальная скорость внедрения ножей при импульсной отрубке составляет до 30 м/с. Отходы при импульсной отрубке малы, что позволяет условно отнести этот способ к безотходным.

Обкатка клиновым инструментом. Этот безотходный способ применяют для разделения прутков круглого профиля и труб из металлов средней и высокой твердости на относительно длинные заготовки. Сначала во вращающийся пруток, зажатый в патрон токарного станка, внедряется ролик, образуя V-образную канавку (рис. 3). Затем нажимом на консольный конец прутка отделяют его часть разрушением по

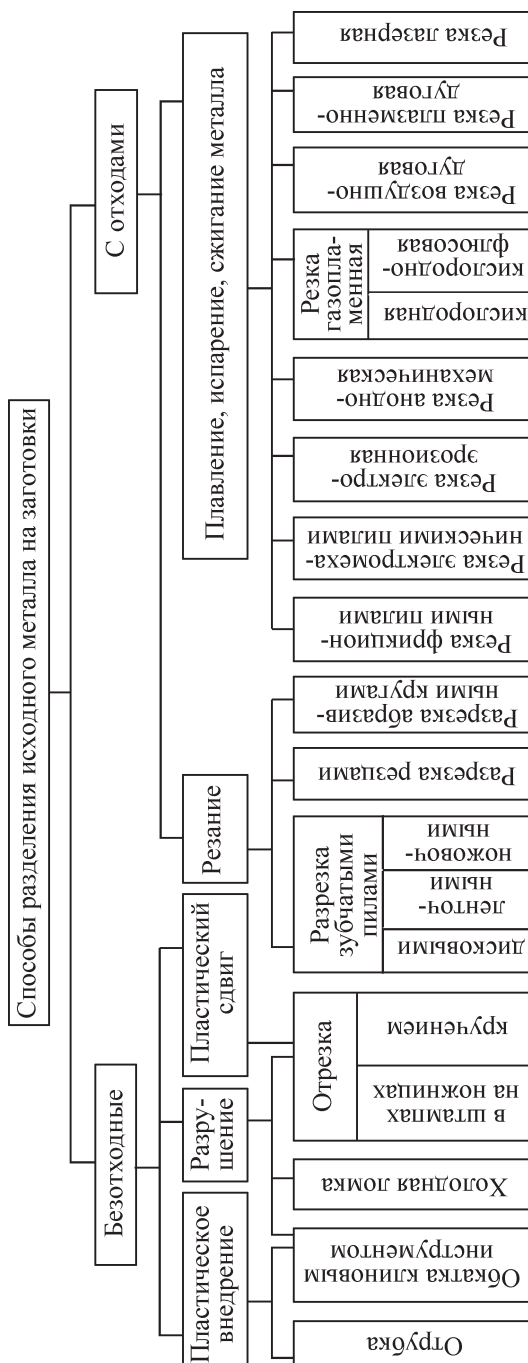


Рис. 1. Классификация способов разделения исходного металла на заготовки

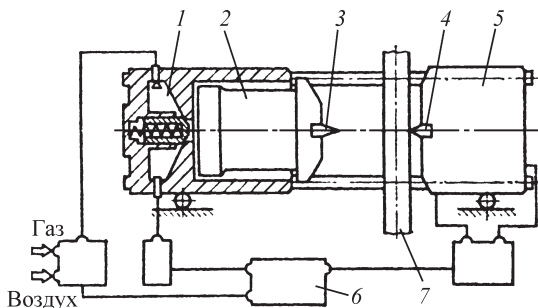


Рис. 2. Схема машины «МИР» для импульсной отрубки:

1 — камера сгорания; 2 — шток; 3, 4 — ножи; 5 — шабат; 6 — блок управления; 7 — разрезаемый металл

плоскости надреза. Число оборотов проката до полного отделения заготовки зависит от механических характеристик металла, размера сечения прутка и величины прогиба свободного конца прутка. Полученная этим способом заготовка имеет фаски по кромкам и шероховатую поверхность торцов. Способ находит ограниченное применение.

Холодная ломка. Способ представляет собой разделение проката на заготовки разрушением по предварительно нанесенным концентраторам напряжений (надрезам) путем попе-

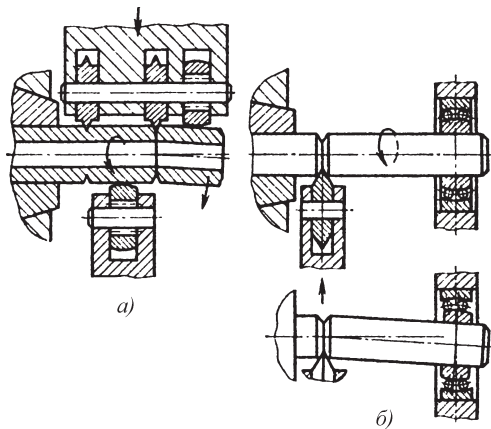


Рис. 3. Схемы разделения круглого проката и труб на заготовки обкаткой клиновым роликом (а), обкаткой и разрушением (б)

речного статического или динамического нагружения.

Холодная ломка является производительным безотходным способом разделения проката из твердых металлов: сталей 45, 40Х, ШХ15 и др. Мягкие металлы при холодной ломке сильно деформируются, поэтому для них она мало пригодна. Применяют ломку низкоуглеродистых сталей с нагревом до 250...300 °С. Ломку применяют преимущественно для разделения прутков диаметром сечения более 50 мм на заготовки длиной более 0,8 диаметра сечения. Особенно эффективна ломка для разделения проката больших сечений.

Различают одноопорную (а), двухопорную (б) и консольную (в) ломки (рис. 4). Наименьшую точ-

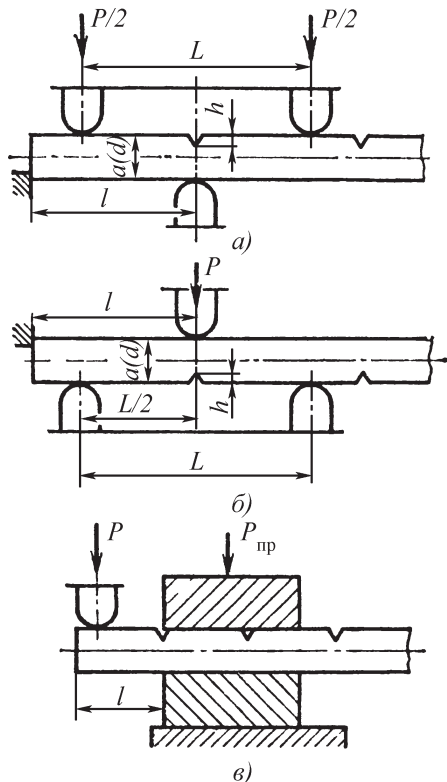


Рис. 4. Схемы холодной ломки ($P_{пр}$ — сила прижима)

ность поверхности раздела имеют заготовки, полученные консольной ломкой, что объясняется асимметрией нагружения. Ломке предшествуют разметка прутка и нанесение на нем надрезов на глубину h , определяемую по эмпирической формуле

$$h = K^3 \sqrt{a},$$

где a — высота или диаметр сечения, мм; $K = 1 \dots 2$ — коэффициент, зависящий от прочности сталей (для хрупких сталей $K = 1$).

Для сечений высотой более 50 мм глубина надреза не превышает $h_{\max} = 0,05a + 3$ мм. При чрезмерной глубине надреза качество ломки ухудшается.

Надрез наносят разными способами: газовой резкой, дисковой пилой и др. В современных прессах-холодильниках концентраторы напряжений наносят вдавливанием специального пуансона, образующего на прутке канавку с профилем равностороннего треугольника. Ширина b надреза зависит от способа его нанесения и не превышает 5...8 мм. Форма и размеры надреза влияют на эффективность ломки. Чем надрез уже и чем меньше радиус основания, тем больше проявляется концентрация напряжений и эффективнее ломка.

Ломку выполняют на универсальных кривошипных и гидравлических прессах и на специальных вертикальных и горизонтальных гидравлических прессах. Одноопорная ломка безопаснее, так как отделяемая заготовка перемещается свободным концом вниз.

Силу ломки определяют по следующим формулам [13]:

для круглого профиля

$$P = K_1 \frac{0,4d^3 \sigma_B}{L};$$

для квадратного профиля при ломке по стороне сечения

$$P = K_1 \frac{0,7a(a-h)^3 \sigma_B}{L};$$

для квадратного профиля при ломке по диагонали

$$P = K_1 \frac{0,4a^3 \sigma_B}{L},$$

где K_1 — коэффициент, учитывающий характер действия силы, форму сечения и другие факторы: $K_1 = 0,8 \dots 1,1$ — при ломке круглого и квадратного профиля по диагонали; $K_1 = 1,05 \dots 1,1$ — при ломке квадратного профиля по стороне сечения; d, a — диаметр или сторона квадрата сечения; L — расстояние между опорами, $L \approx 2a$; σ_B — временное сопротивление материала заготовки.

Преимущества холодной ломки: малая энергоемкость, простота и долговечность инструмента, возможность безотходного разделения проката больших сечений и использования универсальных прессов, а также возможность по излому контролировать качество металла.

Недостатки холодной ломки: неуниверсальность способа (непригодность для разделения труб, профилей и пластичных металлов); необходимость предварительного нанесения надреза; отклонение от плоскостности и шероховатая поверхность торцов получаемых заготовок; нестабильность размеров и объема заготовок; образование торцовых трещин при ломке прутков из некоторых высоколегированных сталей; необходимость специальных мероприятий по технике безопасности для защиты от возможного отделения кусочков металла, отлетающих с большой скоростью, и от удара резко перемещающимися прутком и отде-

ляемой заготовкой. Особенностью силового режима ломки является мгновенное падение силы, сопровождающееся сильным звуковым эффектом.

Отрезка в штампах и на ножницах.

Способы и механические схемы. Отрезку в штампе или на сортовых ножницах осуществляют без отхода металла путем смещения (сдвига) отрезаемой части прутка по поверхности раздела под воздействием сближающихся ножей. Это наиболее распространенный и экономичный способ разделения проката на заготовки. Точность формы и размеров отрезаемой заготовки зависит от степени развития пластической деформации и характера разрушения. В общем случае поверхность заготовки (рис. 5) состоит из недеформированного участка 1, участка смятия 2, утяжин 3, гладких пластических («блестящих») поясков 4 и шероховатых волнообразных участков 5 на торцах. В зависимости от свойств отделяемого металла, способа и условий отрезки, размеров заготовки отдельные участки могут быть более или менее выражены.

В заготовке различают передний *П* и задний *З* концы. Искажения формы больше у заднего конца. От торцов в глубь заготовки распространяются зоны пластической деформации 6, в которых при холодном деформировании металл упрочняется, изменяя структуру и механические характеристики.

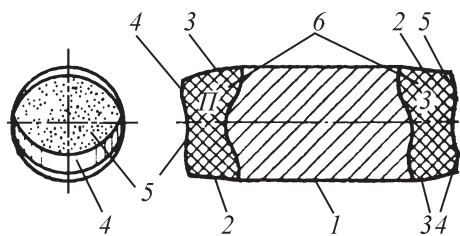


Рис. 5. Характерные участки поверхности и приторцовые зоны пластической деформации в заготовке, отрезанной от прутка в штампе или на ножницах

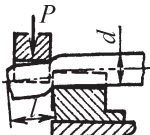
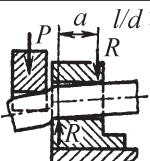
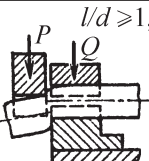
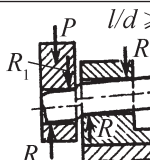
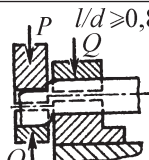
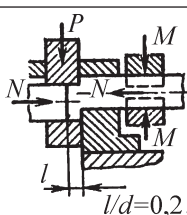
От температуры металла и скорости деформирования существенно зависит качество получаемых заготовок. Отрезка в штампах и на ножницах может быть выполнена следующими способами (табл. 3):

1. Открытая отрезка, при которой не ограничивается подвижность прутка и его отрезаемой части относительно ножей. Способ не обеспечивает получение заготовок точной формы и потому находит лишь ограниченное применение в единичном производстве для отрезки длинных заготовок ручными ножницами.

2. Не полностью открытая отрезка отличается от способа 1 ограничением поворота прутка в неподвижном ноже, но подвижность отрезаемой части не ограничена, как и в способе 1. Этот способ также не обеспечивает точной формы отрезаемых заготовок. Благодаря применению открытого подвижного ножа отличается простотой удаления заготовки («на провал»). Способ эффективен при высокой скорости отрезки (более 40 м/с).

3. Не полностью закрытая отрезка принципиально отличается от не полностью открытой тем, что исключена возможность поворота и изгиба не только прутка, но и его отрезаемой части. Это достигается применением пассивного или активного поперечного зажима прутка в ножах. Заготовки, отрезанные по этому способу, имеют значительно меньшее искажение формы, чем по способам 1 и 2, поэтому не полностью закрытая отрезка находит все большее распространение и является основным способом безотходной отрезки в штампах и на сортовых ножницах точных заготовок длиной более 0,8 высоты сечения прутка. Не полностью закрытую отрезку с пассивным поперечным зажимом обычно осуществляют в штампах с цельными втулочными ножами (с поперечным зазором между

3. Классификация способов и схем отрезки заготовок сдвигом

Отрезка	Без прижима	С поперечным зажимом		С осевым сжатием
		пассивным	активным	
Открытая		—	—	—
Не полностью открытая	—			—
Не полностью закрытая	—			—
Закрытая	—	—	—	

прутком и ножом), а с активным поперечным зажимом — в штампах с открытыми ножами-полувтулками и зажимными устройствами, обеспечивающими прижим прутка к ножам внешней силой Q . Эта схема является наилучшей схемой не полностью закрытой отрезки и обеспечивает получение наиболее точных заготовок.

4. Закрытая отрезка отличается от предыдущих тем, что определяемая часть прутка, замкнутая в полости ножей, подвергнута осевому сжатию, вследствие чего в зоне реза создается благоприятное для пластической деформации напряженное состояние сжатия. При достаточных удельных силах осевого сжатия [$q_{ос} = (2...3)\sigma_T$] разделение происходит путем пластическо-

го сдвига без разрушения. Заготовка составляет одно целое с прутком до полного отделения (рис. 6). Торцы заготовки имеют гладкую ровную перпендикулярную к оси поверхность. Закрытая отрезка — единственный из че-

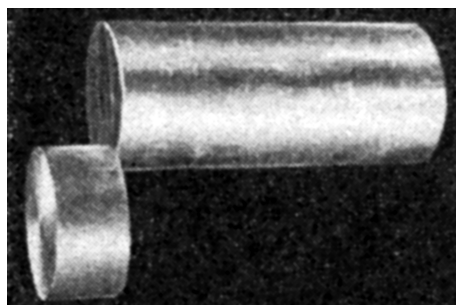


Рис. 6. Сдвиг отделяемой заготовки при закрытой отрезке с осевым сжатием

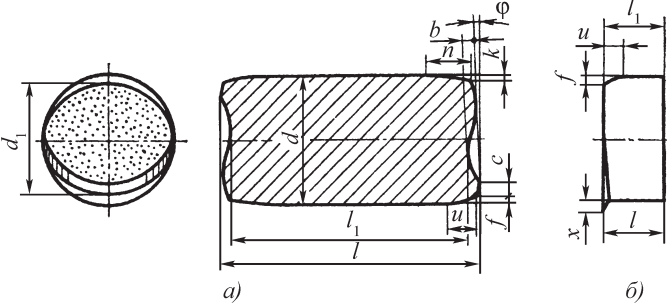


Рис. 7. Схемы измерения заготовки, отрезанной не полностью открытой или не полностью закрытой отрезкой (а), и точной короткой заготовки (б), полученной закрытой отрезкой

тырех способов, принципиально пригодный для получения геометрически точных, коротких заготовок длиной более 0,2 высоты сечения прутка.

Однако при больших преимуществах закрытая отрезка имеет и существенный недостаток, сдерживающий до сих пор ее практическое применение. Под влиянием больших сил осевого сжатия при закрытой отрезке происходит схватывание металлов прутка и ножей и образование дефектов (задиров)

на торцах заготовки и плоскостях ножей. Способ 4 нашел применение для получения точных заготовок из медных прутков и прутков из мягкого алюминия, у которых явление схватывания почти не проявляется.

Качество заготовки и его оценка. Качество отрезаемой заготовки оценивают комплексом показателей, характеризующих

ее геометрическую точность, состояние поверхностей среза и свойства металла в приторцовых деформированных зонах. Оценку геометрической точности проводят по результатам обмера заднего конца заготовки, имеющего обычно большие искажения (рис. 7). Для сравнительной оценки геометрической точности заготовок разных размеров используют относительные показатели неточности, приведенные в табл. 4.

4. Параметры заготовки и относительные показатели, характеризующие ее геометрическую неточность

Параметр, мм, обозначение	Относительный показатель неточности, формула для определения	Параметр, мм, обозначение	Относительный показатель неточности, формула для определения
Диаметр d	Овальность торца $O = (d - d_1) / d$	Глубина впадины на торце b	Отклонение торца от плоскостности $b' = b / d$
Высота торца d_1			
Длина: наибольшая l	Отклонение от параллельности торцов $e = (l - l_1) / l$		
наименьшая l_1		Ширина пластического пояска c	Относительная гладкость торца $c' = c / d$
Утяжка: продольная u	Утяжка: продольная $u' = u / d$		
поперечная f	поперечная $f' = f / d$	Длина заусенца x	Относительная длина заусенца $x' = x / d$
Вмятина: продольная n	Смятие: продольное $n' = n / d$		
поперечная k	поперечное $k' = k / d$	Угол скоса торца ϕ°	—

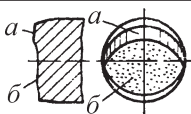

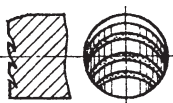

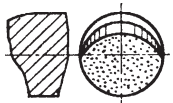

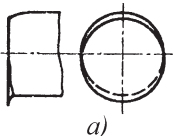
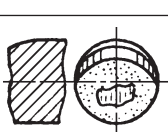
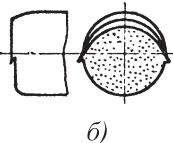
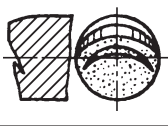
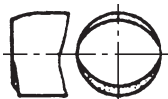

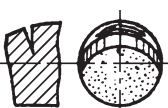

К основным показателям, от которых существенно зависит точность заготовки, относятся утяжка (продольная или поперечная), отклонения от плоскостности и от параллельности торцов и угол скоса торцов.

Качество поверхности торцов определяется относительной гладкостью c' и отсутствием дефектов. При отрезке способами 1, 2, 3 на торцах заготовок всегда имеются два неоднородных участка: большой участок шероховатой поверхности и узкий пластический пояс (см. рис. 5). Только заго-

товки, отрезанные способом 4, имеют гладкие блестящие торцы ($c' = 1$), без шероховатых участков. При неправильном выборе способа, условий или параметров отрезки на торцах могут появиться некоторые из дефектов, приведенных в табл. 5. Несколько блестящих поясков на торце могут появиться при отрезке с недостаточным осевым зазором между ножами, а ступенчатый торец при отрезке — с чрезмерно большим.

Заусенец торцовый возникает при отрезке сильно затупленными ножами

5. Неоднородность и возможные дефекты на торцах заготовок, отрезанных сдвигом

Дефект	Эскиз	Дефект	Эскиз
Неоднородность поверхности: a — плоский гладкий пояс; b — шероховатая волнистая поверхность		Наплыв	
Несколько гладких поясков		Задир	
Ступенчатый торец		Вырыв	
Заусенец: a — торцовый; b — боковой		Зарез	
		Закол	
		Скол	
Пригар		Поперечные трещины	
Торцовые микро- и макротрещины			

или при слишком большом осевом зазоре, заусенец боковой образуется при отрезке от проката круглого профиля в штампе с постоянным абсолютным осевым зазором (не убывающим от середины к краям сечения).

Пригары, наплывы, зарезы и задиры на торцах заготовки — дефекты, являющиеся результатом трения волнистых поверхностей торцов прутка и заготовки; возникают, если заготовка не имеет возможности отойти от прутка сразу после образования поверхности среза.

Вырывы на торцах наблюдаются при получении заготовок из твердых сталей с чрезмерным осевым зазором. При неправильном ведении процесса холодной отрезки от прутков из твердых хрупких сталей в приторцовых зонах могут возникнуть торцовые или поперечные трещины.

Иногда трещины образуются не сразу, а через некоторое время после отрезки.

Параметры и силовые характеристики процесса отрезки. Различают геометрические и силовые параметры процесса отрезки. К геометрическим параметрам относятся поперечный и осевой зазоры, угол наклона прутка (рис. 8).

Поперечный зазор между отверстием ножа и прутком необходим для обеспечения возможности введения прутка в ножи. Он всегда оказывает вредное влияние на отрезку, снижая геометрическую точность заготовок. При наличии поперечного зазора на заготовке появляется участок смятия (см. рис. 5) и овальность торца, поэтому поперечный зазор должен иметь минимально

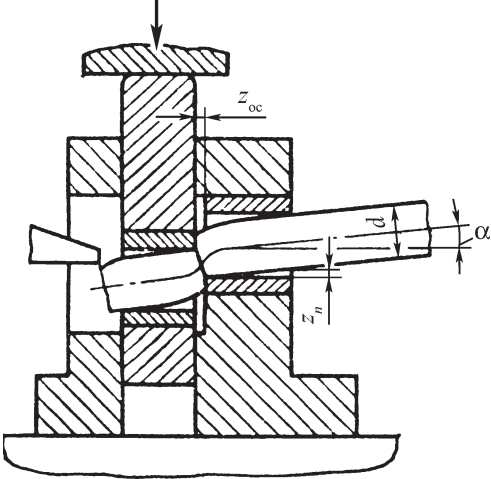


Рис. 8. Геометрические параметры:
 $z_{\text{п}}$ — поперечный зазор; $z_{\text{ос}}$ — осевой зазор;
 α — угол наклона прутка

необходимую величину, которая зависит от точности проката, отклонения от соосности ножей, деформации прутка в зоне деформирования.

Ориентировочные значения поперечных зазоров при отрезке заготовок от стальных прутков с заправленными концами в штампах с втулочными ножами приведены в табл. 6.

Устранение поперечного зазора достигается применением разъемных ножей. Поперечный зазор в неподвижном ноже можно устранить, применяя отрезку с редуцированием прутка (см. табл. 15).

Угол наклона прутка α . Для того чтобы обеспечить перпендикулярность торцов заготовки к ее оси, необходимо при не полностью открытой и не полностью закрытой отрезке придать прутку наклонное положение относительно

6. Поперечные зазоры в штампах с втулочными ножами, мм

Пруток	Диаметр сечения прутка, мм				
	10...25	26...50	51...60	61...80	81...100
Горячекатаный	1,5	1,5...2,0	2,5	3,0	3,5
Калиброванный	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7

направления реза. Если заготовку отрезать без наклона прутка, то торцы будут не перпендикулярны к оси, потому что трещины скалывания от кромок ножей идут под углом к направлению реза.

Угол отклонения трещины и, следовательно, угол α наклона прутка (см. рис. 8) или ножа (см. табл. 14, схема 2.2) зависят в основном от прочности разрезаемого металла и условий отрезки (скорости, температуры). Наибольшая перпендикулярность торцов достигается при оптимальном для каждого металла угле наклона. Зависимость угла наклона α прутка от твердости углеродистой стали приведена ниже:

НВ	110	135	160	185	200	240
α , °	9	8	7	4,5	2	0

Ориентировочно угол наклона для прутков из углеродистых сталей можно определить из выражения

$$\alpha = 11,5 - 0,01\sigma_B,$$

где σ_B в МПа.

Оптимальные значения угла наклона для сталей ШХ15, 9ХС, У10А, Р18 $\alpha \leq 8^\circ$, а для сталей 20Х, 12ХН3А $\alpha = 2 \dots 3^\circ$. Для облегчения автоматизации отрезки и упрощения конструкций штампов и ножниц рекомендуется принимать для всех сталей среднее значение угла α , т.е. $\alpha = 4^\circ$.

При отрезке заготовок от прутков из сталей с $НВ \geq 200$ наклон прутка не оказывает существенного влияния на перпендикулярность торцов полученной заготовки.

Осевой зазор между подвижным и неподвижным ножами — важнейший геометрический параметр, от которого зависят качество торцов и геометрическая точность заготовок, отрезаемых не полностью открытой и не полностью закрытой отрезкой. Назначение осевого зазора — обеспечивать образование оптимальной, бездефектной по-

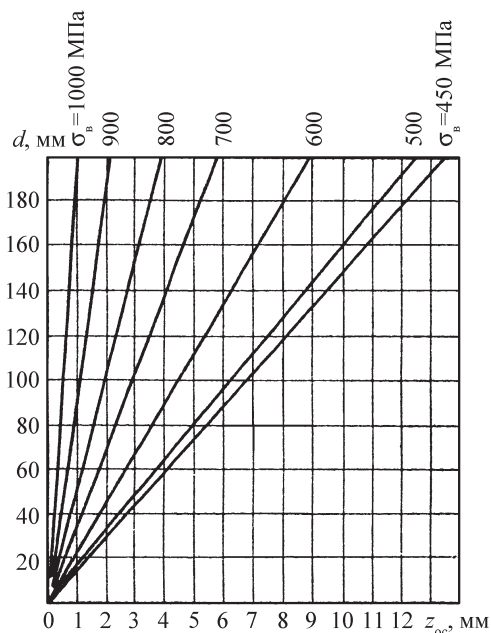


Рис. 9. Значения осевого зазора в зависимости от предела прочности металла и диаметра сечения прутка

верхности среза путем слияния трещин скалывания, распространяющихся от режущих кромок ножей.

Оптимальный осевой зазор назначают в зависимости от характеристик прочности деформируемого металла, высоты поперечного сечения, схемы и температурно-скоростных условий в пределах $(0 \dots 0,1)d$ (рис. 9). При закрытой отрезке, а также при всех способах отрезки с повышенной и высокой скоростями осевой зазор не нужен.

Различают абсолютный $z_{ос}$ и относительный $z_o = z_{ос} / d$ осевые зазоры.

Наилучшее качество торцов обеспечивается при постоянном относительном осевом зазоре по всему сечению. При отрезке заготовок от проката круглого профиля (или квадратного в угловом направлении) для постоянства относительного осевого зазора необходимо, чтобы абсолютный осевой зазор был переменным.

Для прутков круглого профиля применяют два способа создания постоянного относительного осевого зазора: фасонная заточка ножей (рис. 10, а) и наклонное расположение рабочих плоскостей к плоскости разреза (рис. 10, з).

Для ножа с цилиндрическим отверстием применяют заточку, обеспечивающую изменение абсолютного осевого зазора по закону

$$z_{oc} = \frac{z_{oc\max}}{d} \sqrt{d^2 - 4x^2},$$

где $z_{oc\max}$ — абсолютный осевой зазор в диаметральной сечении; x — расстояние от оси сечения.

Применяют и другие формы заточки ножей (рис. 10, б, в). Размеры фасонной заточки можно выбирать по графику (рис. 11). Величину осевого зазора при отрезке заготовок от прутков круглого профиля с наклоном на угол α следует определять по формуле

$$z_{oc} = K(\sqrt{d^2 - 4x^2} - \varepsilon_{p\max}d) \sin \alpha,$$

где K — коэффициент, зависящий от твердости металла ($K = 1$ для твердых, $K = 1,3$ для мягких сталей); $\varepsilon_{p\max}$ — относительное внедрение ножа в пруток к моменту слияния скалывающихся трещин (приведено ниже):

Материал	АД1	М1	35, 40, 45	30ХГСА	40Х	12Х18Н9
$\varepsilon_{p\max}$	0,18	0,13	0,18	0,16	0,16	0,22
Материал	ХВГ, У8А	В95, 9ХС	Р6М5	ЛС59-1, Д16	Х12М, 3Х2В8	
$\varepsilon_{p\max}$	0,17	0,14	0,17	0,12	0,15	

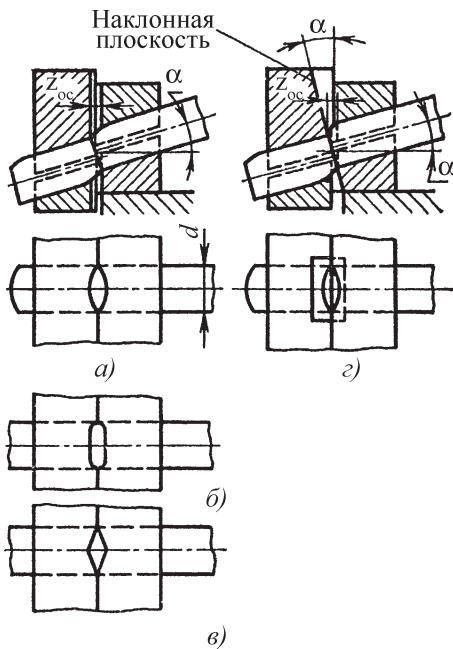


Рис. 10. Формы рабочих поверхностей ножей, обеспечивающие постоянно относительного осевого зазора при отрезке заготовок от прутков круглого профиля

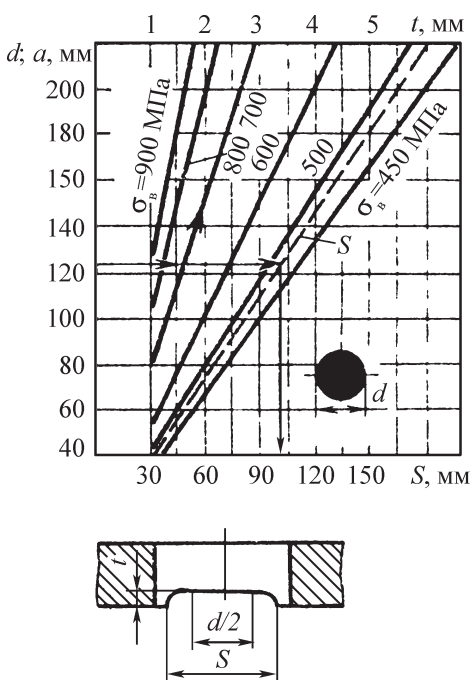


Рис. 11. Размеры фасонной заточки ножей

Сила поперечного зажима Q_3 — активная сила, прикладываемая к прутку в поперечном направлении для прижима его к ножу и устранения поперечного зазора, придания отрезаемой части прутка стабильного относительно ножей положения, улучшения схемы напряженного состояния металла в зоне реза и уменьшения пластических деформаций отрезаемой части прутка.

Не полностью закрытой отрезкой с активным поперечным зажимом прутка по обе стороны от поверхности среза, при оптимальном осевом зазоре между ножами и угле наклона прутка, в большинстве случаев можно получать заготовки с ровными торцами, перпендикулярными к оси заготовки, полностью исключить поперечное смятие и уменьшить овальность торцов. Сила поперечного зажима определяют как часть силы отрезки, т.е.

$$Q_3 = K_3 P_p,$$

где K_3 — коэффициент, зависящий от механических свойств металла, относительной длины заготовки и зажимных полуштуков, конструкции зажимного устройства (табл. 7).

В известных конструкциях отрезных штампов и ножниц $K_3 = 0,6...2,5$. Активный поперечный зажим при не полностью закрытой отрезке уменьшает искажение формы заготовки по сравнению с пассивным зажимом. Продольная утяжка уменьшается на 25...30 %, овальность торцов — на 9...20 %, отклонение от плоскостности — на 17...50 %, исключается смятие, сужается зона пластической деформации.

исключается смятие, сужается зона пластической деформации.

Сила поперечного зажима обязательно должно сниматься в момент образования поверхности раздела, чтобы отрезаемая заготовка могла отойти от прутка (для предотвращения трения торцов заготовки и прутка и образования дефектов).

Сила осевого сжатия N . Сжимающей осевой силой разрезаемый участок прутка нагружается при закрытой отрезке (см. табл. 3). Осевая сила создает в очаге деформации благоприятное напряженное состояние трехосного неравномерного сжатия с высоким гидростатическим давлением, под воздействием которого изменяется характер процесса образования поверхности раздела — полностью исключается разрушение. Разделение происходит путем пластического сдвига. Торцы заготовки имеют плоскую зеркально-гладкую поверхность.

Значение удельной силы осевого сжатия, при котором успешно протекает закрытая отрезка, зависит от механических характеристик металла (σ_T ; σ_B) и от длины отрезаемой заготовки.

При закрытой отрезке заготовок длиной 0,1...0,7 диаметра сечения от прутков из мягких сталей и алюминиевых сплавов необходимо, чтобы удельная сила осевого сжатия составляла $(2...5)\sigma_T$ разрезаемого металла. Чем меньше относительная длина заготовки l/d , тем больше значение необходимой удельной силы осевого сжатия. При закрытой отрезке с повышенной

7. Значения коэффициента K_3

Относительная длина заготовки l/d	Сталь		
	10, 15	Ст 5, 20, 25, 30	35, 40, 45, У10А
0,8...1,2	1,0	0,9	0,8
1,2...1,5	0,9	0,8	0,7
Св. 1,5	0,8	0,7	0,6

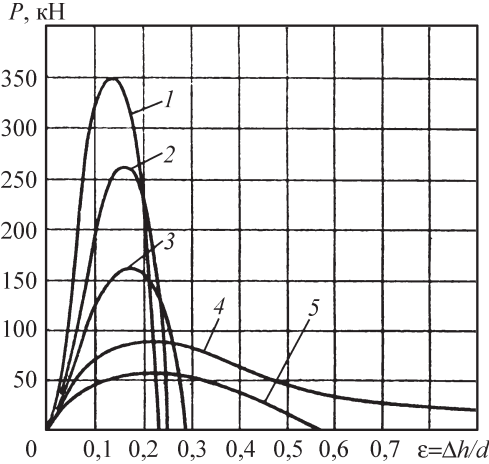


Рис. 12. Типовые кривые «сила — ход ножа» для некоторых металлов:
1 — стали 9XC; 2 — стали 40; 3 — стали 10; 4, 5 — алюминиевого сплава АД1 (1, 2, 3, 5 — не полностью закрытая отрезка; 4 — закрытая отрезка)

и высокой скоростью удельная сила осевого сжатия может быть уменьшена до $(0,3...0,5)\sigma_T$.

Сила отрезки P. Сила зависит от характеристик прочности металла, площади поперечного сечения прутка, схемы отрезки и скорости деформирования. Типовые кривые «сила — ход ножа» при не полностью закрытой и закрытой отрезке заготовок от прутков приведены на рис. 12.

При не полностью открытой и не полностью закрытой отрезке сила возрастает сравнительно плавно, а затем резко снижается. Резкое падение силы — одна из особенностей этих способов отрезки. Для определения мак-

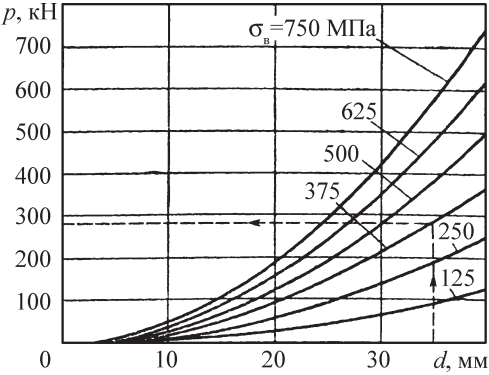


Рис. 13. Зависимость силы не полностью закрытой отрезки от диаметра прутка

симальной силы отрезки можно использовать приближенные формулы:

$$P = K_p \tau_p F; P = 0,72 K_p \sigma_v F,$$

где K_p — коэффициент, зависящий от схемы отрезки и от скорости деформирования (табл. 8); τ_p — удельная сила отрезки; σ_v — предел прочности; F — площадь поперечного сечения прутка.

Силу не полностью закрытой отрезки в автоматическом режиме можно определить по графику (рис. 13).

Сила закрытой отрезки состоит из двух составляющих: силы деформирования и силы, необходимой для преодоления контактного трения, возникающего по плоскостям контакта заготовки и ножей и в направляющих ползуна штампа.

Поэтому удельная сила τ_{pz} (табл. 9) и сила закрытой отрезки на 35...100 % больше, чем при не полностью закрытой отрезке.

8. Значения коэффициента K_p при различных способах отрезки

Отрезка	Скорость деформирования*, м/с	K_p
Не полностью закрытая	До 0,5	1,0
	Св. 2	1,3...1,4
Закрытая	До 0,5	1,4...2,0

* До 0,5 м/с — нормальная скорость деформирования, св. 2 — повышенная.

9. Удельные силы при закрытой отрезке коротких заготовок от прутков диаметром 15...30 мм

Металл	σ_B , МПа	σ_T , МПа	Относительная удельная сила осевого сжатия $q_o = q_{oc} / \sigma_T$	Удельная сила отрезки $\tau_{pz} = P_{max} / F$, МПа
Сталь:				
10	395	233	3	643
20Х	537	282	3,5	779
40Х	819	485	3,4	1000
Медь М2	251	234	1,8	296
Латунь				
ЛС59-1	487	256	3,5	341

Распорная сила T действует со стороны ножей на прутки и отрезаемую от него заготовку. Такие же по значению, но противоположные по направлению силы действуют со стороны прутка и заготовки на ножи, стремясь раздвинуть их и увеличить осевой зазор между ножами. Распорную силу при не полностью закрытой отрезке без поперечного зажима можно определить по формуле

$$T = (0,18...0,35)P,$$

а при отрезке с поперечным зажимом по формуле

$$T = (0,1...0,18)P.$$

Работа деформации при отрезке графически выражается площадью, ограниченной кривой, и осью абсцисс на графике «сила — ход ножа»:

$$A = \lambda P_{max} h,$$

где λ — коэффициент заполнения площади графика, зависящий от свойств металла, схемы и скорости отрезки (табл. 10); h — высота сечения прутка.

Отрезка с нагревом. Нагрев проката перед отрезкой применяют в целях предотвращения образования дефектов, для снижения силы отрезки или для повышения точности отрезаемых заготовок. Для предотвращения трещин при отрезке прутков, охлажденных в зимнее время на улице, их подвергают подогреву перед операцией до температуры 50...200 °С. При подогреве также устраняются масляные пятна и ледяная корка. Среднеуглеродистые стали подогревают до 50 °С, высокоуглеродистые и низколегированные до 80 °С в водяной ванне.

Прутки больших сечений из легированных и высокоуглеродистых сталей проявляют склонность к образова-

10. Значения коэффициента λ для различных способов отрезки заготовок от прутков из сталей средней твердости

Отрезка	Скорость деформирования, м/с*	λ
Не полностью закрытая	До 0,5	0,18
	Св. 2	0,11
Закрытая	До 0,5	0,4...0,7

* До 0,5 м/с — нормальная; свыше 2 — повышенная.

11. Температура нагрева сталей для снижения силы отрезки, °С

Сталь	Диаметр или сторона квадрата, мм	
	До 50	Св. 50
40, 45, 50, 55,	450...500	450...500
50Г, 40Х, 40ХС, 18ХГТ, 30ХГТ, 40ХН, 12ХН3А, 12Х2Н4А, 20Х2Н4А	500...550	550...600
30ХН3А, 40ХН3А	550...600	550...600

нию трещин во время отрезки как без нагрева, так и при небольшом подогреве, поэтому их приходится нагревать перед операцией до более высоких температур. Размеры поперечных сечений прутков из высокоуглеродистых и легированных сталей, которые необходимо нагревать до 400...500 °С, приведены ниже.

σ_B , МПа	500	600	800	1000
d , не менее, мм	100	80	60	50

Прутки крупных сечений из высокоуглеродистых, легированных сталей и высокопрочных сплавов для уменьшения силы отрезки и устранения динамического характера нагружения нагревают до температуры 450...600 °С (табл. 11).

Для повышения геометрической точности заготовок, получаемых не полностью открытой или не полностью закрытой отрезкой от проката из низкоуглеродистых сталей, применяют нагрев до температур зоны синеломкости. Так, нагрев прутков из стали 10 в интервале 100...150 °С и стали 20 в интервале 200...300 °С обеспечивает существенное повышение точно-

сти заготовок. Повышению точности заготовок, отрезаемых от прутков из отожженной стали ШХ15, способствует нагрев до 500...600 °С.

Прутки из быстрорежущей стали можно разрезать на бездефектные заготовки только с нагревом до 650...750 °С.

Для улучшения закрытой отрезки стальных прутков на короткие заготовки рекомендуется нагрев до 450...700 °С.

Отрезка с охлаждением. Для повышения качества не полностью открытой и не полностью закрытой отрезки некоторых металлов эффективно охлаждение прутков до криогенных температур. При этом уменьшается пластическая деформация, повышается геометрическая точность отрезаемых заготовок. Сила отрезки при этом возрастает в 1,4–1,6 раза, а работа деформации убывает по сравнению с отрезкой без предварительного подогрева прутка в 2–3 раза. Оптимальные температуры охлаждения прутка зависят от химического состава стали (возрастают с увеличением содержания углерода):

Марка стали	10	15	20	
Температура, °C	–170...–180	–160...–170	–155...–165	
Марка стали	15ХГН2А	18ХГТ	40Х	А12
Температура, °C	–90...–100	–80...–90	–70...–80	–130...–140

Охлаждение прутков до температур –5 °С можно проводить углекислотой (сухой лед), а до температуры –196 °С — жидким азотом.

Наибольший эффект повышения точности заготовок при отрезке с предварительным охлаждением прутка отмечается у низкоуглеродистых

сталей. Заметно повышается плоскостность торцов, снижается пластическая деформация приторцовых зон. Отрезка с охлаждением в производстве находится в эксплуатационном состоянии. Рациональное применение нагрева или охлаждения позволяет повысить качество отрезаемых заготовок, но оно усложняет и удорожает процесс разделения проката на заготовки. Поэтому отрезку с предварительным нагревом или охлаждением следует применять лишь в том случае, когда требуемое качество заготовки не может быть обеспечено другими более простыми способами разрезки.

Отрезка с повышенной и высокой скоростью. Скорость деформирования значительно влияет на качество отрезаемых заготовок. При обычной отрезке на кривошипных машинах скорость деформирования не превышает 0,3 м/с. Увеличение скорости до 2...5 м/с существенно повышает геометрическую точность заготовок, отрезаемых от стальных прутков. Не полностью закрытую отрезку всех сталей с повышенной скоростью (более 2 м/с) надо вести без осевого и поперечного зазоров (см. табл. 3), что упрощает переналадку штампов и ножиц. Увеличение скорости свыше 6...10 м/с не оказывает существенного влияния на качество заготовок при не полностью закрытой отрезке, но повышает его при не полностью открытой отрезке (см. табл. 3). При высокой скорости (более 40 м/с) благоприятное влияние оказывает сила инерции, прижимающая отрезаемую часть прутка к подвижному ножу и предотвращающая ее изгиб в процессе отрезки. Зависимость необходимой минимальной скорости отрезки от относительной длины заготовки показана на рис. 14.

Применение повышенных и высоких скоростей благоприятно и при закрытой отрезке: уменьшается в 4–10 раз необходимая удельная сила осево-

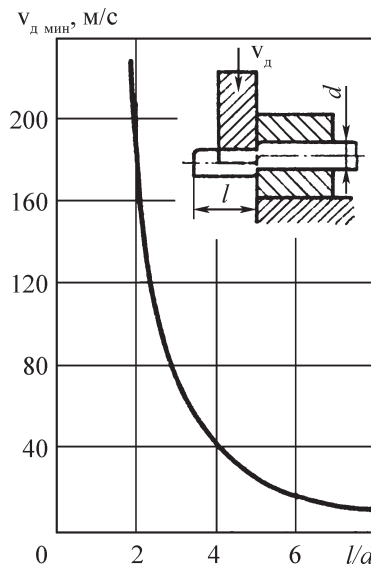


Рис. 14. Зависимость скорости отрезки от относительной длины заготовки при скоростной не полностью открытой отрезке (сталь 45)

го сжатия и, что особенно важно, не происходит схватывания металлов прутков и ножей. Скоростной закрытой отрезкой можно получать точные короткие заготовки от стальных прутков при удельных силах $(0,34...0,4)\sigma_T$.

Большой эффект улучшения качества заготовок дает повышенная скорость при отрезке заготовок от проката из низкоуглеродистой стали. На разрезку латуни ЛС59-1, титанового сплава ОТ4 увеличение скорости до 70 м/с не влияет. При не полностью закрытой отрезке заготовок от стального прутка применение повышенной скорости обеспечивает более высокие показатели качества, чем другие условия (табл. 12).

Использование повышенных (2...5 м/с) и высоких (более 20 м/с) скоростей — основной и наиболее перспективный путь дальнейшего улучшения безотходной отрезки стального сортового проката в штампах и на ножницах. Внедрение скоростной разрезки в производство сдерживается отсутствием оборудования.

12. Влияние температуры и скорости отрезки на показатели геометрической неточности заготовок, отрезаемых от прутка диаметром 30 мм из стали 10

Не полностью закрытая отрезка с поперечным зажимом (см. табл. 3)	Температура, °C	Скорость отрезки, м/с	Показатели геометрической неточности			
			Смятие k'	Утяжка f'	Отклонение от плоскостности торца b'	Угол скола торца φ°
Пассивным	20	0,16	0,12	0,09	0,035	4
Активным	20	0,16	—	0,08	0,030	4,5
	300	0,16	—	0,049	0,015	1,5
	196	0,16	—	0,03	0,010	1,5
	20	2,5	—	0,03	0,008	1,0

Штампы для отрезки на прессах. Отрезку заготовок от стального проката диаметром до 60 мм преимущественно проводят в отрезных штампах на кривошипных прессах. При выборе конструкции можно руководствоваться приведенной ниже классификацией отрезных штампов, в основе которой лежат следующие признаки: 1 — способ и схема отрезки, 2 — кинематика ножей, 3 — способ удаления заготовки, 4 — число одновременно отрезаемых заготовок, 5 — число выполняемых переходов.

По способам и схемам отрезки штампы делят на три группы (табл. 13): для не полностью открытой отрезки; для не полностью закрытой отрезки; для закрытой отрезки. Наиболее просты по конструкции и в эксплуатации штампы для не полностью открытой отрезки, однако получаемые заготовки, как правило, имеют значительные искажения формы, поэтому эти штампы применяют только в тех случаях, когда к точности заготовок не предъявляют высоких требований.

Простейший штамп для не полностью открытой отрезки с пассивным поперечным зажимом прутка (см. табл. 13, тип 1.1) показан на рис. 15. Штамп имеет неподвижный нож-втулку 1 и открытый подвижный нож 2 в форме пластины с полуцилиндриче-

ской выемкой. Отрезка открытым ножом сопровождается изгибом отрезаемой части. Отрезанные заготовки имеют малую геометрическую точность. Торцев заднего конца заготовки менее точен, чем переднего.

Штампы типа 1.3 с активным поперечным зажимом прутка не обеспечивают существенного повышения геометрической точности заготовок, поскольку подвижный нож у них тоже открытого типа. Однако применение разъемного неподвижного ножа облегчает введение прутка.

Штампы типов 1.2 и 1.4 отличаются от предыдущих тем, что в подвижном ноже имеется жесткий упор, к которому при подаче прижимают с неболь-

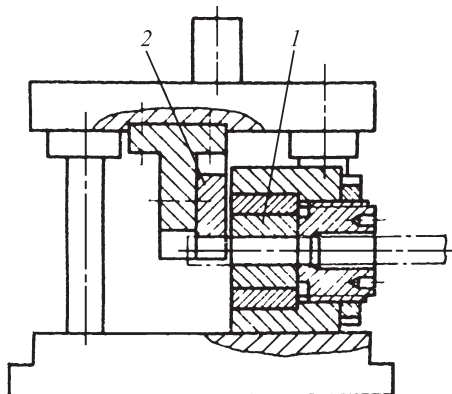




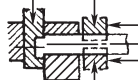

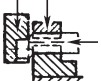
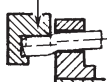
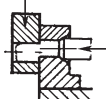


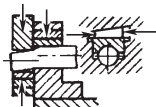
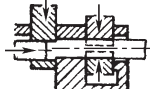
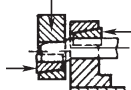



Рис. 15. Штамп для не полностью открытой отрезки с пассивным поперечным зажимом

13. Классификация отрезных штампов по первому классификационному признаку (по способам и схемам отрезки)

Для не полностью открытой отрезки		Для не полностью закрытой отрезки		Для закрытой отрезки
с пассивным поперечным зажимом	с активным поперечным зажимом	с пассивным поперечным зажимом	с активным поперечным зажимом	
1.1. С зажимом в неподвижном втулочном ноже 	1.3. С зажимом в неподвижном разъемном ноже 	1.5. С зажимом во втулочных ножах 	1.9. С зажимом в разъемных ножах 	1.13. С осевым сжатием в пределах упругости 
1.2. С зажимом в неподвижном втулочном ноже и осевым упором 	1.4. С зажимом в неподвижном разъемном ноже и осевым упором 	1.6. С зажимом во втулочном неподвижном ноже и на подвижной опоре 	1.10. С зажимом редуцированием 	1.14. С осадкой в ножах 
—	—	1.7. С зажимом во втулочном ноже и на неподвижной опоре 	1.11. С зажимом, удаляемым в заданный момент отрезки 	1.15. С высадкой, в подвижном ноже 
—	—	1.8. С зажимом в ножах для устранения поперечного зазора 	1.12. С зажимом, пропорциональным силе отрезки 	—

шой силой передний торец прутка. Это повышает геометрическую точность заготовок из сталей средней и повышенной твердости и позволяет отрезать короткие заготовки ($l/d \geq 0,6$) с умеренными искажениями формы. Применение этих штампов особенно эффективно при скорости отрезки $v_d \geq 2$ м/с.

Более высокую геометрическую точность заготовок обеспечивают штампы

для не полностью закрытой отрезки, которые могут быть с пассивным или с активным поперечным зажимом. В штампах с пассивным поперечным зажимом прутки не имеют жесткой фиксации в ножах, поэтому точность отрезаемых в них заготовок ниже, чем в штампах с активным зажимом. Применяемые в штампе ножи втулочного типа просты и экономичны, допускают мно-

гократное использование путем их поворота при затуплении режущей кромки. Точность заготовок, отрезаемых в этих штампах, зависит от точности размеров сечения прутка и твердости металла. Чем точнее прокат, тем меньше может быть поперечный зазор и тем выше точность отрезаемых заготовок.

Штампы типов 1.3 и 1.7, отличаются тем, что в них применен открытый подвижный нож, что упрощает удаление отрезанной заготовки («на провал»). Передний конец прутка опирается на подвижную (тип 1.6) или неподвижную (тип 1.7) опору. Эти штампы применяют для отрезки длинных заготовок ($l/d > 2$).

В штампах типа 1.7, известных как «штампы с противогибом», уровень опоры и ее расстояние от неподвижного ножа подбирают в зависимости от механических свойств разрезаемого металла и от требуемой длины заготовки. Недостатками штампов типа

1.5–1.7 является наличие поперечного зазора в ножах, снижающего точность отрезаемых заготовок.

Штамп типа 1.8 отличается от предыдущих конструкций штампов данной группы тем, что в нем применены ножи-полувтулки, а поперечный зазор полностью устраняется с помощью специальных фиксирующих устройств. К штампам этого типа относится штамп СШТ-18, разработанный в Станкине и внедренный в производство. Штамп обеспечивает отрезку точных заготовок длиной $l/d \geq 0,8$ от прутков из среднеуглеродистых и легированных сталей с твердостью 160...250 НВ, а также алюминиевых сплавов типа В95. В штампе (рис. 16) применены подпружиненные клиновые соединения, обеспечивающие выборку поперечного зазора между прутком и ножами, но не препятствующие отходу отрезанной заготовки от прутка (что предотвращает возникновение дефектов на торцах).

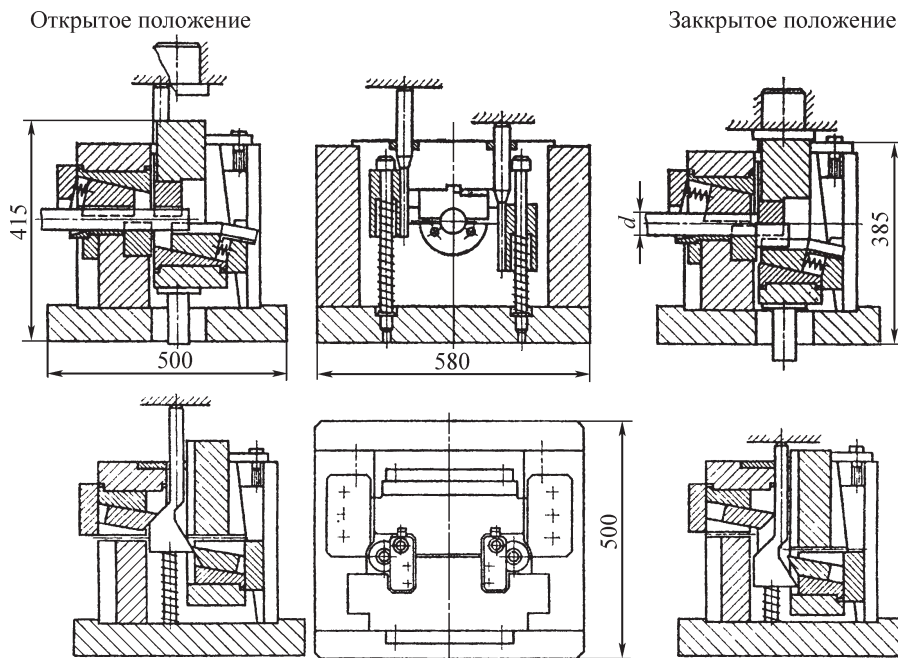


Рис. 16. Штамп СШТ-18 для не полностью закрытой отрезки прутков из сталей средней и повышенной твердости

Наибольшую точность отрезаемых заготовок обеспечивают штампы подгруппы для не полностью закрытой отрезки с активным поперечным зажимом. В них не только нет поперечного зазора, но прутки прижимаются к ножам с заданной силой, чем полностью устраняется смещение прутка относительно ножей и достигается уменьшение пластических деформаций.

Штампы типа 1.9 с постоянным поперечным зажимом в разъемных ножах, осуществляемым механическими, гидравлическими или пневматическими устройствами, применимы в тех случаях, когда при отрезке отсутствует трение заднего торца заготовки о торец прутка, например, при наклонном расположении прутка в штампе.

В штампах типа 1.10 обеспечивается равномерный поперечный зажим прутка в неподвижном ноже, создаваемый в результате редуцирования. Благодаря редуцированию обеспечивается высокая точность заготовки по поперечному сечению и по объему. Штампы этого типа весьма перспективны.

В штампах типов 1.11 и 1.12 устранен недостаток, присущий штампам типа 1.9. Поперечный зажим снимается после образования поверхности раздела, и заготовка может свободно отойти от прутка в осевом направлении, чем предотвращается трение и возникновение дефектов (задилов, пригаров) на торцах. Разница между типами 1.11 и 1.12 состоит в том, что в первом поперечный зажим постоянен в процессе отрезки и снимается мгновенно в момент образования поверхности среза, а во втором сила поперечного зажима пропорциональна силе отрезки. Схема одной из конструкций штампов с поперечным зажимом прутка силой, пропорциональной силе отрезки, приведена на рис. 17 (штамп с «дифференцированным» зажимом).

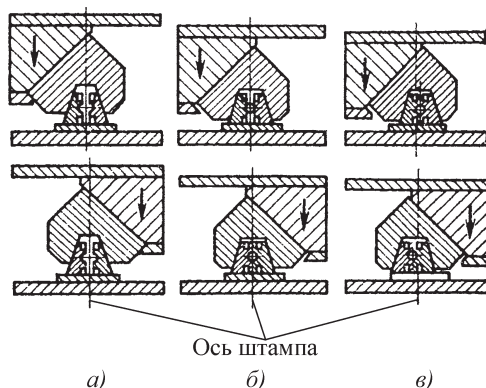


Рис. 17. Схема работы штампа для не полностью закрытой отрезки с дифференцированным зажимом:

а — исходное положение; б — прутки зажаты; в — отрезка заготовки

Сила поперечного зажима в этом штампе в любой момент отрезки составляет $Q = (1,5...2,5)P$. Штамп обеспечивает разделение стальных прутков на точные заготовки длиной более 0,8 высоты сечений. Недостатком конструкции является большая потеря на трение в клиновых парах, в результате чего резко возрастает потребная сила $P_{пр}$ пресса, которое может быть определено по формуле

$$P_{пр} = \frac{2P}{1 - 2\mu}(1 + \mu),$$

где P — сила отрезки; μ — коэффициент контактного трения в клиновых парах.

На рис. 18 представлена другая (разработанная в ЭНИКМАШе) конструкция штампа с поперечным зажимом прутка силой, пропорциональной силе отрезки, в которой тоже использованы клиновые механизмы. Преимуществом этой конструкции является отсутствие перемещения клиновых соединений под нагрузкой. В штампе предусмотрен наклон прутка. При отрезке заготовок в этом штампе от прутков из среднеуглеродистой или легированной стали обеспечивается

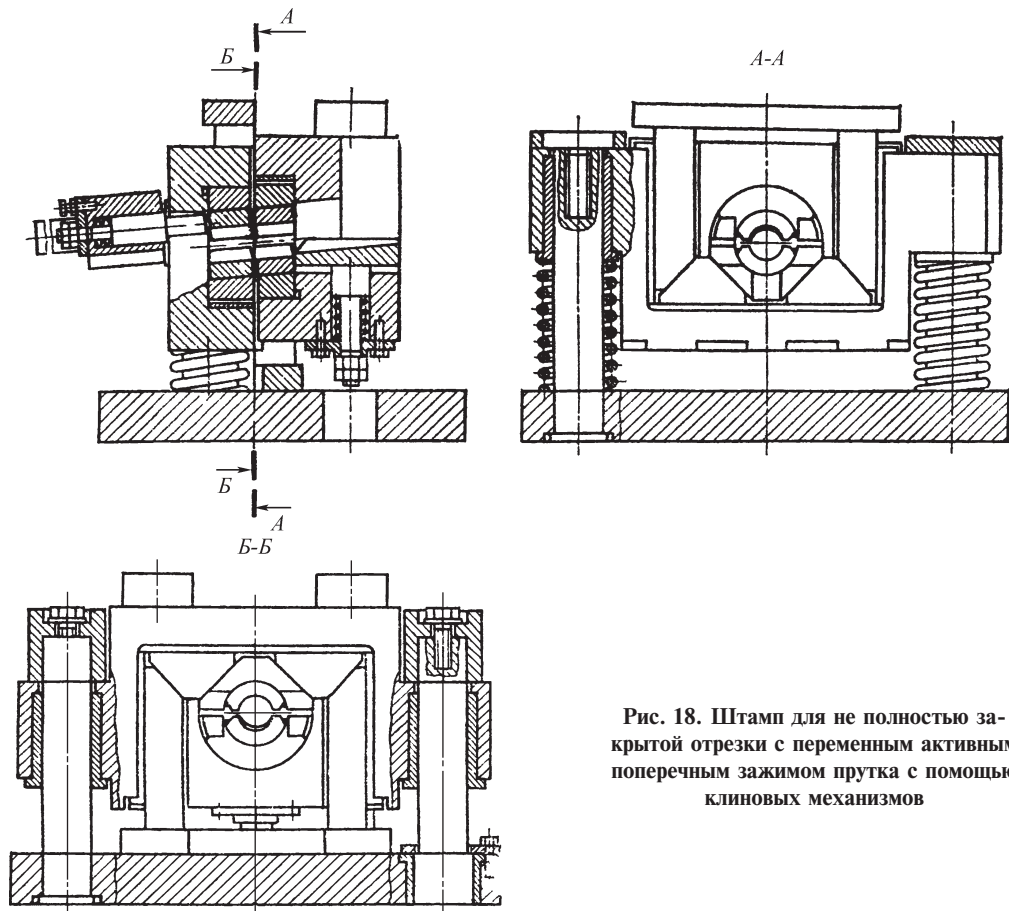


Рис. 18. Штамп для не полностью закрытой отрезки с переменным активным поперечным зажимом прутка с помощью клиновых механизмов

хорошая точность (угол скоса торца не более 1° , продольная утяжка до 0,4, отклонение от плоскостности торца не более 0,01). На рис. 19 приведен чертеж штампа того же типа с рычажными механизмами.

Штампы для закрытой отрезки (с осевым сжатием прутка в зоне отрезки) предназначены для получения геометрически точных коротких заготовок ($l/d = 0,2 \dots 0,8$). В штампе типа 1.13 прутки подвергают осевому сжатию с напряжением, не превышающим предела упругости разрезаемого металла. Отрезка в таком штампе при обычных скоростях деформирования не обеспечивает получения точных коротких заготовок. При скоростях более 2 м/с в этом штам-

пе можно отрезать точные короткие заготовки длиной $l/d \geq 0,3$. В штампах типов 1.14 и 1.15 металл в зоне реза сжимают удельной силой $(2 \dots 5)\sigma_T$, благодаря чему создается благоприятное напряженное состояние всестороннего неравномерного сжатия, что в принципе обеспечивает отрезку точных коротких заготовок ($l/d = 0,2 \dots 1,0$) при обычных скоростях деформирования.

На рис. 20 приведена конструкция штампа типа 1.14 для закрытой отрезки точных заготовок от прутков из мягкого алюминия. В этом штампе сила отрезки передается через рычаг 2 на ползун 4, несущий подвижный нож 3, и на подвижное устройство поперечного зажима 1. При опускании ползу-

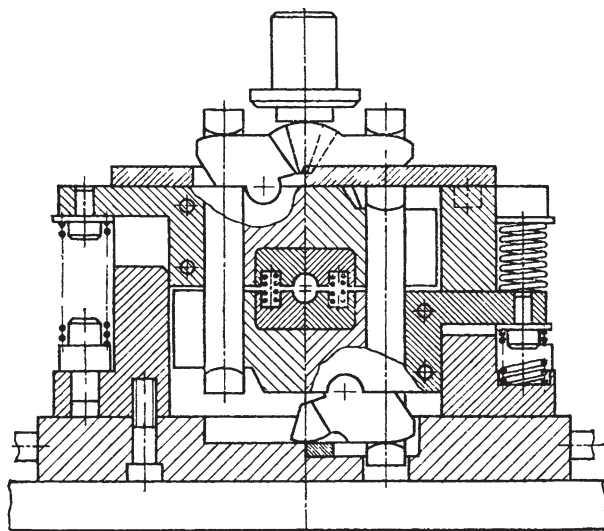


Рис. 19. Штамп для не полностью закрытой отрезки с переменным активным поперечным зажимом прутка и отрезаемой части с помощью рычажных устройств

на пресса вначале происходит зажим прутка и его осевое смещение (при котором осуществляется осевое сжатие), а затем отрезка заготовки. Штамп пригоден для отрезки точных коротких заготовок от прутков из меди и мягкого алюминия.

На рис. 21 представлена конструкция штампа-автомата типа 1.14 для закрытой отрезки точных коротких заго-

товок от алюминиевых прутков, разработанного в Станкине. Пруток 1 цанговым зажимным и подающим устройством 2 вводится в отверстие неподвижного ножа 3, имеющего заходной конус, и продвигается на величину подачи. При движении вниз плиты 6 регулируемый упор 7 перемещает клин 8, который через клиновую ползушку 4 сжимает отрезаемую часть

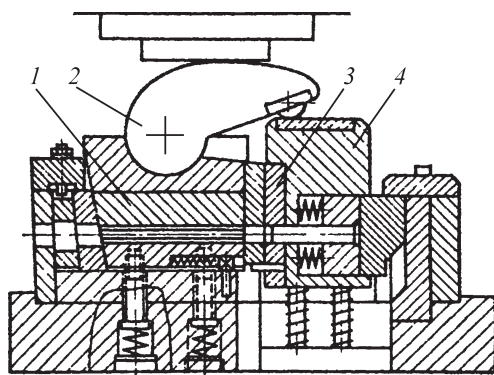


Рис. 20. Конструктивная схема штампа для закрытой отрезки коротких заготовок от алюминиевых прутков

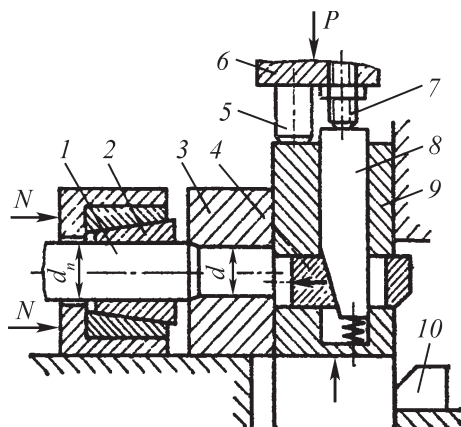


Рис. 21. Принципиальная схема штампа-автомата для закрытой отрезки точных коротких заготовок

прутка в замкнутой полости ножей. Необходимое значение осевой силы достигается регулированием упора 7 относительно бойка 5. При дальнейшем движении ползуна пресса боек 5 перемещает подвижный нож 9 вниз, и происходит отрезка заготовки в условиях всестороннего сжатия металла в зоне реза. Удаление отрезанной заготовки происходит перемещением ползушки 4 от клина 10. При обратном ходе ползуна пресса подвижный нож возвращается в исходное положение с помощью буферного устройства.

Штампы для закрытой отрезки типа 1.15 отличаются от штампов типа 1.14 большей пластической деформацией отрезаемой части прутка. Конец прутка подвергается высадке в подвижном ноже осевой силой, прикладываемой к переднему торцу. Штамп этого типа разработан в ЭНИКМАШе.

Для получения коротких заготовок из стальных прутков штампы для закрытой отрезки применить пока не удастся из-за того, что при высоких удельных силах осевого сжатия в процессе отрезки на поверхности контакта торца заготовки с режущими кромками ножа происходит схватывание металлов, и на торце заготовки и на ножах быстро возникают задиры и пригары.

По кинематике ножей отрезные штампы можно разделить на три группы (табл. 14): с поступательным перемещением ножей; с вращательным перемещением; со сложным движением ножей. Наиболее распространены штампы с поступательным перемещением ножей.

Поступательное перемещение одного ножа обычно происходит в вертикальном направлении (см. табл. 14, тип 2.1). Во многих штампах этого типа прутки располагают с наклоном на угол α , для того чтобы поверхность среза была перпендикулярна к оси

прутка. Тот же эффект может быть достигнут при горизонтальном расположении прутка, если нож перемещается наклонно, под углом α (тип 2.2). Штампы с горизонтальным перемещением одного ножа (тип 2.3) применяют обычно в случаях, если требуется уменьшить необходимую силу пресса или закрытую высоту, что может быть достигнуто, например, применением клинового механизма.

Штампы с реверсивным перемещением одного ножа (тип 2.4) могут быть двух исполнений.

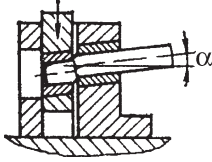
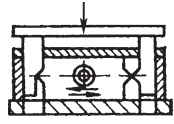
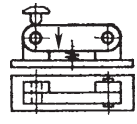
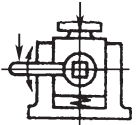
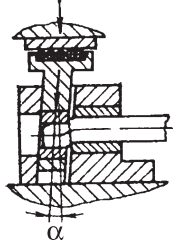
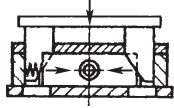

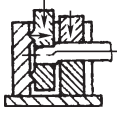
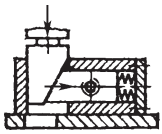
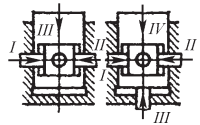
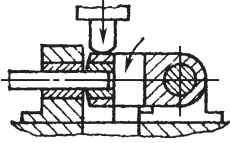
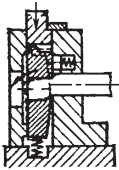
1. Направление движения ножа изменяется на противоположное за один ход ползуна при отрезке одной заготовки. Нож смещается сначала в одну сторону, внедряясь в прутки на глубину меньше ширины блестящего пояса, а затем в противоположную, до полного отделения. Заготовки имеют симметричные концы, без заусенцев.

2. Направление движения ножа изменяется при каждом последующем ходе ползуна, при отрезке каждой следующей заготовки (схема показана). Заготовки, отрезанные в таком штампе, имеют форму, благоприятную для последующей осадки.

Преимуществом штампа типа 2.5 является суммирование скоростей обоих ножей, что может повысить точность заготовок, если их суммарная скорость превышает 1,5 м/с. В штампах типа 2.6 отрезку заготовки осуществляют после предварительной надрезки в двух-трех направлениях на глубину 0,3...0,5 ширины блестящего пояса. Заготовки имеют симметричную форму концов с утяжиной по периметру, без заусенца. Штампы этого типа еще не получили применения в производстве.

Вращательное перемещение одного ножа (тип 2.7) или обоих (тип 2.8) ножей применяют в отрезных штампах с целью получения конструктивно

14. Классификация отрезных штампов по второму классификационному признаку (по кинематике ножей)

С поступательным перемещением ножей		С вращательным перемещением ножей	Со сложным перемещением ножей
2.1. С вертикальным перемещением одного ножа 	2.4. С горизонтальным реверсивным перемещением одного ножа 	2.7. С вращательным перемещением одного ножа в плоскости реза 	2.10. С поворотом вокруг оси прутка и поступательным перемещением ножа 
2.2. С наклонным перемещением одного ножа 	2.5. С горизонтальным перемещением обоих ножей 	2.8. С вращательным перемещением обоих ножей в плоскости реза 	2.11. С вертикальным и горизонтальным (вдоль оси) перемещением ножа 
2.3. С горизонтальным односторонним перемещением одного ножа 	2.6. С трех- и четырехсторонним перемещением одного ножа 	2.9. С вращательным перемещением одного ножа в осевой плоскости 	2.12. С вертикальным перемещением с поворотом в осевой плоскости одного ножа 

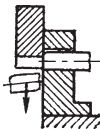
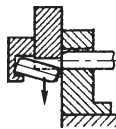
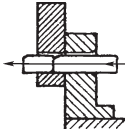
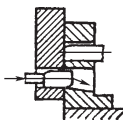
простых устройств для активного поперечного зажима прутка или уменьшения необходимой силы прессы. В штампе типа 2.9 обеспечивается переменный осевой зазор между ножами.

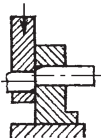
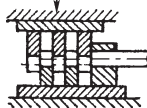
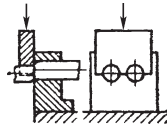
Штампы со сложным движением ножей создают для достижения оптимального напряженно-деформированного состояния металла в зоне отрезки путем перемещения ножей по заданной траектории. Штампы типа 2.10 применяют для разрезки прутков квадратного профиля.

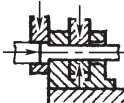
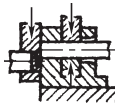
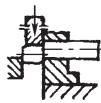
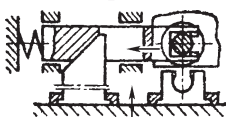
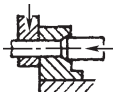
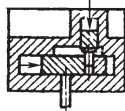
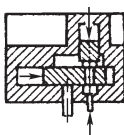
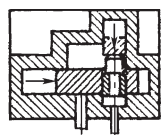
Классификация отрезных штампов по способу удаления заготовки приведена в табл. 15. Надежное и быстрое удаление отрезанной заготовки из штампа имеет важное значение для обеспечения устойчивой, безотказной работы штампа. Для удаления заготовки в известных штампах используется падение ее под действием собственной силы тяжести или выталкивание приложенной силой.

В табл. 15 представлена классификация отрезных штампов по числу

15. Классификация отрезных штампов по третьему, четвертому и пятому классификационным признакам

3. По способу удаления заготовки			
Со свободным падением заготовки	С поворотом и падением заготовки	С проталкиванием заготовки прутком	С выталкиванием заготовки в нижнем положении ползуна
			

4. По числу одновременно отрезаемых заготовок		
Для одной заготовки	Для двух заготовок и более	
	4.1. От одного прутка	4.2. От двух прутков и более
		

5. По числу выполняемых переходов			
Для одного перехода	Для двух переходов и более		
	5.1. Для высадки и отрезки	5.2. Для формовки и отрезки	5.3. Для отрезки и калибровки
			
	5.4. Для надрезки и отрезки	5.5. Для редуцирования и отрезки	5.6. Для отрезки и осадки
			
	5.7. Для отрезки и выдавливания	5.8. Для отрезки, выдавливания и осадки	—
			

одновременно отрезаемых заготовок и по числу выполняемых технологических переходов. По числу одновременно отрезаемых заготовок все штампы делят на две группы: для отрезки

одной заготовки; для отрезки двух заготовок и более. Первые уступают вторым по производительности, но проще по конструкции и в эксплуатации. В связи с необходимостью

обеспечения конкурентоспособности отрезки точных коротких заготовок в штампе с вырубкой из листового полуфабриката разработка штампов для одновременной отрезки двух заготовок и более является актуальной задачей применительно к закрытой отрезке.

Штампы для одновременной отрезки от прутка нескольких заготовок известны двух типов: 4.1 — для одновременной отрезки нескольких заготовок от одного прутка; 4.2 — для одновременной отрезки заготовок от двух прутков и более. Особенностью штампа типа 4.1 является различие в показателях качества первой и остальных заготовок.

Многопозиционную отрезку (тип 4.1) рекомендуется применять при длине крайней заготовки более 1,2 высоты сечения и длине остальных заготовок не менее 0,6 высоты сечения. При использовании активного поперечного зажима можно уменьшить предельную длину крайней заготовки до 0,8 высоты сечения. Многопозиционной отрезкой можно одновременно получать заготовки разной длины.

Штамп типа 4.2 не отличается по схеме отрезки от штампа для отрезки одной заготовки, представляя собой соединение двух таких штампов в одном. Штамп обеспечивает удвоенную производительность, но при этом возрастает потребная сила пресса, увеличиваются габаритные размеры штампа и усложняется подача прутков.

По числу выполняемых технологических переходов отрезные штампы можно разделить на две группы (см. табл. 15): штампы для одного перехода; штампы для двух переходов и более. Штампы для двух переходов могут быть одно- или двухпозиционными. В однопозиционных оба перехода выполняются на одной рабочей позиции за один ход ползуна пресса, а в

двухпозиционных отрезанная заготовка перемещается на вторую позицию, и второй переход выполняется в процессе одного хода ползуна или при следующем ходе.

Штампы типов 5.1–5.3 применяют при закрытой отрезке коротких заготовок от алюминиевых прутков. В штампе типа 5.4 перед отрезкой производится надрезка. Надрезы, являющиеся концентраторами напряжений, способствуют спрямлению поверхности среза, предотвращают образование заусенца.

В штампе типа 5.5 прутки при введении в неподвижный нож подвергаются редуцированию, что повышает точность отрезаемых заготовок и позволяет применять менее точные прутки.

В штампе 5.6 заготовки после не полностью закрытой отрезки подвергаются на второй позиции осадке — калибровке в закрытой матрице. В штампе типа 5.7 на второй позиции производится поперечное выдавливание. Могут быть получены короткие заготовки с фасками и наметками.

В штампе типа 5.8 после отрезки и поперечного выдавливания заготовка калибруется закрытой осадкой. В этом штампе имеется подвижный в осевом направлении втулочный нож.

Ножи отрезных штампов и сортовых ножи. При отрезке от прутков круглого профиля заготовок высокого качества необходимо применять для каждого размера сечения свой комплект ножей. Форма и размеры ножей должны быть максимально приближены к профилю проката. Для унификации ножей иногда используют ножи одного размера для отрезки заготовок от прутков разных сечений, но при этом существенно снижается точность отрезаемых заготовок.

По форме режущей части ножи разделяют на закрытые (очковые, втулоч-

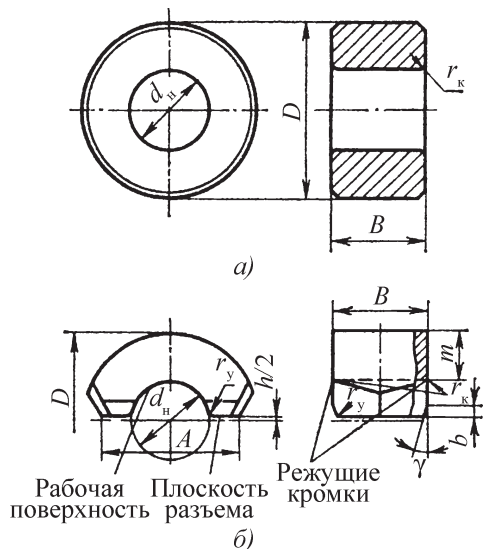


Рис. 22. Типовые конструкции ножей отрезных штампов

a — втулочный; *б* — полувтулочный

ные) и открытые (разъемные, полувтулочные, плоские). По внешней форме ножи бывают призматические и цилиндрические. Для отрезки заготовок от профилей сложной формы иногда применяют составные ножи.

Типовые конструкции разъемных ножей приведены на рис. 22, 23. Ширина ножа B назначается из условия недопущения смятия от чрезмерной удельной силы на поверхности контакта с прутком (табл. 16).

16. Рекомендуемые параметры полувтулочных ножей (см. рис. 22, 23 размеры, мм)

d	D	A	B	m	r_k	Масса, кг
20	50	42	25	15	0,10	0,2
25	60	50	30	17,5	0,13	0,3
32	75	60	40	21,5	0,16	0,5
40	90	78	50	25	0,20	1,0
50	110	93	60	30	0,25	1,8
63	130	105	75	33,5	0,32	3,0

Для обеспечения зажима прутка, с учетом колебания размеров сечения, между ножом и прижимом делают зазор h .

Обычно его принимают равным $h = 0,06d$. На режущей плоскости ножа делают фаски b под углом γ , чтобы избежать задевания режущих кромок ножей друг за друга. При отрезке с наклоном прутка угол фаски равен углу наклона прутка.

Прутки квадратного профиля можно разрезать по стороне и по диагонали, причем в первом случае ножи и прижим имеют простую плоскую форму рабочей поверхности, а штамп более универсален, но качество реза хуже.

У открытых ножей-полувтулок для исключения заклинивания прутка и предупреждения образования продольных рисок на его боковой поверхности скругляют боковые острые кромки по дуге радиуса $r_y = 0,05d$. Для повышения стойкости ножей рекомендуется скруглять режущие кромки по дуге радиуса $r_k \leq 0,005d$.

Рекомендуемые геометрические параметры ножей приведены в табл. 17.

Габаритные размеры ножей сортовых ножниц должны соответствовать размерам ножевого пространства. В открытых ножах предусматривают перекрытие для избежания задевания верхнего ножа за нижний. В зависимости от диаметра сечения проката перекрытие делают от 16 до 40 мм.

Согласно ГОСТ 25454–82 параметры шероховатости поверхностей, образующих режущую кромку ножа, и его опорных поверхностей не должны превышать $Ra = 1,25$ мкм.

Для обеспечения стойкости ножи отрезных штампов должны быть изготовлены из инструментальной стали, хорошо воспринимающей ударную нагрузку с высокими удельными силами, и термически обработаны (табл. 18–20).

Дозирование заготовок по объему (массе). Для современных технологиче-

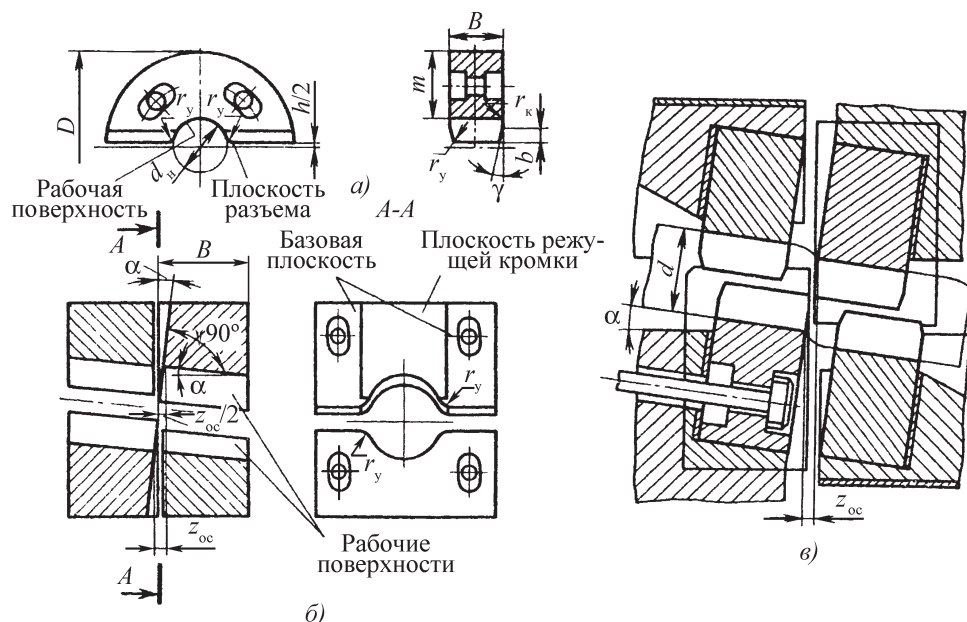


Рис. 23. Отрезные ножи сортовых ножниц:

а — полувтулочный; б — призматические; в — крепление ножей в ножницах

ских процессов металлообработки нужны точные по объему (массе) заготовки. Так, например, заготовки для точной объемной штамповки должны иметь отклонение объема не более 1,5...2,5 %.

Объем V отрезаемой заготовки является функцией ее длины l и площади поперечного сечения F :

$$V = lF.$$

17. Рекомендуемые параметры ножей (формулы для расчета)

Параметр, мм, обозначение	Втулочный нож	Полувтулочный нож	Обозначения, примечание
Диаметр отверстия d_n	Для холодной отрезки $d + z_n$ Для отрезки с нагревом $d + z_n + \eta$	Для отрезки прутка: горячекатаного $1,02 + \Delta$; калиброванного $1,02d$; горячекатаного с предварительным нагревом $1,02 + \Delta + \eta$	Δ — наибольшее положительное отклонение диаметра сечения прутка $\eta = \beta t d$; β — коэффициент линейного расширения; t — температура нагрева прутка, °C
Толщина A		$(0,5...0,8) d$	—
Ширина B		$(1,0...1,2) d$	—
Радиус скругления углов r_y	—	$0,05d$	—
Зазор между ножом и прижимом h	—	$0,06d$ $0,17d$	при $d > 20$ мм при $d \leq 20$ мм

Окончание табл. 17

Параметр, мм, обозначение	Втулочный нож		Обозначения, примечание
Радиус скругления режущих кромок r_k	До $0,005d$		—
Ширина фаски b	—	$b = \varepsilon_{p\max} d - \frac{h}{\cos \alpha}$	$\varepsilon_{p\max}$ — относительное внедрение ножа при максимальной силе отрезки (см. табл. 18); α — угол наклона прутка

18. Относительная глубина внедрения ножа при максимальной силе отрезки

Сталь	σ_B , МПа	$\varepsilon_{p\max}$	Сталь	σ_B , МПа	$\varepsilon_{p\max}$
10	340...450	0,24	P18	680...840	0,17
20	420...540	0,21	65Г	820...970	0,16
45	600...720	0,20	9ХС	790...960	0,14
12ХН3А	590...720	0,16			

19. Стали для ножей отрезных штампов и сортовых ножниц (холодная отрезка)

Стали	Температура, °С		HRC	σ _в , МПа	
	закалки	отпуска		на изгиб	на сжатие
Для мягких сталей					
У8А	760...770	160...180	60...62	2400	5400
У10А	770...790	160...180	60...62	2400	5400
9ХС	860...880	180...200	60...62	3000	3600
6ХС	870...890	180...200	56...57	2900	4500
7Х3	850...880	200...220	55...56	2900	4500
Для сталей повышенной прочности					
Х6ВФ	980...1000	150...170	60...62	3000	4500
		280...300	55...57	3500	4000
Х12М	1000...1020	170...200	60...62	2600	4000
		320...350	56...58	3100	3700
Для прочных сталей					
Р6АМ5	1060...1190	530...570	61...63	4500	—
6Х6В3МФС	1060...1075	525...535	57...59	4200	—

20. Стали для ножей отрезных штампов и сортовых ножниц (отрезка с нагревом)

Сталь	HRC	Температура нагрева, °С
6ХВ2С, 6ХС	50...54	До 300
4Х5МФС, 4Х5В2ФС, 5Х3ВМФС, 5ХГМ	48...50	300...500
	42...48	Св. 500

Площадь F сечения прутка непостоянна, так как имеют место отклонения размеров в пределах установленных допусков и искажение формы сечения. Длина l заготовки также колеблется вследствие неточности подачи прутка, поворота его вокруг оси, нестабильности процесса отрезки и т.д. Поэтому фактический объем отрезанной заготовки отличается от номинального значения на величину

$$\Delta V = \Delta V_F + \Delta V_l = \Delta Fl + \Delta l F,$$

где $\Delta V_F = \Delta Fl$ — изменение объема, вызванное отклонением площади поперечного сечения ΔF ; $\Delta V_l = \Delta l F$ — изменение объема, вызванное отклонением длины заготовки Δl .

Необходимая точность объема заготовок обеспечивается при отрезке заготовок от калиброванного проката. Однако калиброванный прокат значительно дороже горячекатаного, выпуск его лимитирован мощностями металлургического производства, а диаметр сечения не превышает 100 мм. При получении заготовок из проката круглого профиля обычной точности их немерность по объему вследствие колебания только диаметра прутка может достигать 5...6 % при больших и средних диаметрах и 13...17 % при малых диаметрах сечений.

Обеспечить повышение стабильности объема заготовок можно применением редуцирования прутка перед отрезкой или использованием дозированной отрезки. Редуцирование может выполняться как отдельная операция или в отрезном штампе как технологический переход, предшествующий отрезке (см. табл. 15, тип 5.5).

Для дозированной отрезки необходимо применять специальные устройства — дозаторы. С помощью дозатора измеряют перед деформированием размеры сечения, объем или массу единицы длины прутка. По результатам измерений определяют длину l отрезаемой заготовки и соответственно корректируют положение упора штампа (ножниц) или шаг подачи прутка. В табл. 21 приведена классификация принципиально возможных способов и схем измерения прутка, которые могут быть применены в дозирующих устройствах. В разработанных и используемых дозаторах применяют в основном схему VI, реже схемы IV, V, I. На рис. 24 приведена схема отрезки с дозированием по результатам измерения сечения прутка бесконтактным индукционным датчиком. Пруток 1 при подаче к ножам проходит через измерительную головку 3 , перед входом в которую установлен фотодатчик 2 . Перемещаясь, пруток прерывает свето-

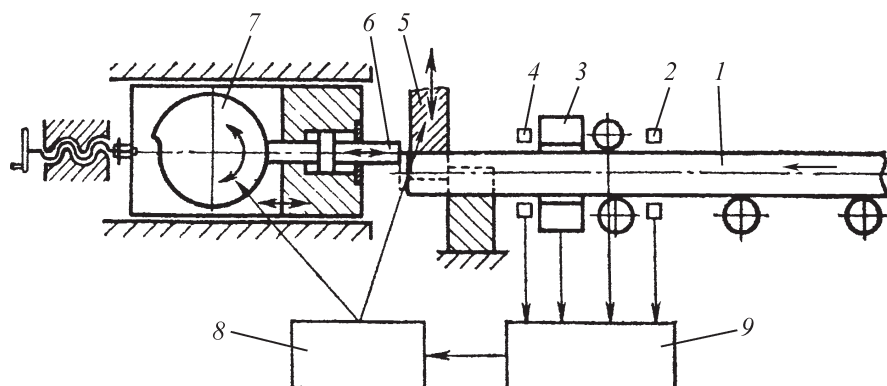


Рис. 24. Схема отрезки с дозированием

21. Способы измерения прутка в дозирующих устройствах

Измеряемый параметр	Схема измерения	Возможные способы измерения	Особенности способа
Диаметр сечения прутка в двух или более плоскостях	I 	Контактный, фотоэлектрический, пневматический, ультразвуковой, радиоизотопный	Искажения формы сечения и местные неровности на поверхности прутка снижают точность измерения
Периметр сечения прутка	II 	Контактный с обкаткой поперечного сечения измерительным роликом	
Площадь боковой поверхности единицы длины прутка	III 	Бесконтактный с использованием токов высокой частоты	
Площадь поперечного сечения прутка	IV 	Индукционный, проекционный, радиоизотопный	
Масса отрезанной заготовки	V 	Взвешивание первой отрезанной заготовки	Невозможно дозирование первой заготовки, отрезаемой от каждого прутка
Масса прутка	VI 	Взвешивание прутка перед разрезкой	Обеспечивает высокую точность дозирования
Объем единицы длины прутка		Измерение объема единицы длины прутка гидравлическим датчиком	Обеспечивает высокую точность дозирования, но непригоден для горячих прутков

вой поток фотодатчика. Подается команда на вращение измерителя пути прутка. Второй фотодатчик 4 включает измеритель поперечного сечения.

От фотодатчиков и измерительной головки сигналы поступают в электронное устройство 9, в котором вырабатываются данные для системы управления 8. Из системы управления поступает команда на привод кулачка 7, который, вращаясь, корректирует положение упо-

ра 6. Пруток, касаясь упора, замыкает контакты, подающие команду на отрезку заготовки ножами 5. Устройство обеспечивает точность объема заготовки (отклонение не более $\pm 2\%$).

Массовый рефлексный метод (см. табл. 21, схема V) дозирования основан на взвешивании первой отрезанной от прутка заготовки. Длину первой заготовки определяют расчетным путем. Заготовку отрезают, взвешива-

ют, по ее фактической массе вычисляют длину точной заготовки и соответственно корректируют положение упора. Этот метод обеспечивает высокую точность дозирования, но первая заготовка получается немерной. Кроме того, процесс дозирования не совмещен по времени с отрезкой, что снижает производительность метода.

Универсальными и удобными в эксплуатации являются устройства, в основе которых лежит определение массы единицы длины прутка его взвешиванием (см. табл. 21, схема VI). Пруток располагают на нескольких опорах, и по реакции опор счетно-решающий блок вычисляет длину отрезаемой заготовки и подает соответствующую команду на корректировку упора. Устройство пригодно для прутков любого профиля при холодной и горячей отрезке. Возможно сочетание этого метода дозирования с оптимизацией раскроя. В этом случае вычислительное устройство выбирает оптимальный вариант раскроя взвешенной штанги на заготовки заданной длины и подает команду на соответствующую корректировку упора. Применение дозирующих устройств позволяет отрезать точные по объему (массе) заготовки с отклонением 1,5...3 % не только из горячекатаных прутков, но и из подката, что обеспечивает снижение стоимости исходного металла на 15...20 %.

Ножницы. *Механизация и автоматизация отрезки.* Сортовой прокат отрезают путем сдвига в штампах, на кривошипных прессах или ножницах. Применяют сортовые и комбинированные ножницы. В основе конструкции современных ножниц заложена схема не полностью закрытой отрезки с активным поперечным зажимом (см. табл. 3) и наклоном прутка на угол 4°. Выпускаемые станкостроительной промышленностью сортовые ножницы серии Н1300 и Н1800 имеют жесткую станину закрытого типа и дифференцированный поперечный зажим прутка и отрезаемой части. Ножницы снабжены упором, точно устанавливаемым на заданную длину с пульта управления. На ножницах возможна одно- и двухручьева отрезка.

Технические характеристики ножниц приведены в табл. 22–24. Достижимые показатели геометрической неточности заготовок из сортового проката, получаемых на ножницах, приведены в табл. 25. Весьма перспективным для совершенствования безотходной отрезки точных заготовок от сортового проката на точные заготовки является применение скоростных машин. В Харьковском авиационном институте (ХАИ) созданы машины типа МИР-100Х, ВСМП, ПМН-2 для холодной скоростной отрезки проката (табл. 26).

22. Ножницы сортовые

Модель	Наибольший размер сечения проката, мм		Число ходов в мин	Мощность привода, кВт	Габаритные размеры, мм	Масса, т
	Круг	Квадрат				
НБ 1425	36	32	63	2,5	1090×900×1350	1,24
НБ 1427	40	36	56	4,8	1590×905×1590	1,90
НБ 1428	45	40	50	6,8	1590×1000×1880	2,54
НБ 1429	56	50	50	6,8	1825×1015×2080	3,90
НБ 1431	67	58	45	11,00	2050×1210×2035	5,40

23. Ножницы сортовые кривошипные закрытые для получения заготовок машиностроительного назначения из сортового проката

Модель	Наличие дифференцированного зажима	Номинальная сила	Число ходов в мин	Наибольший размер сечения разрезаемого проката, мм			Наибольшая отрезаемой заготовки, мм	Мощность привода, кВт	Габаритные размеры, мм	Масса, т
				Круг	Квадрат	Полоса				
Н 1534	Нет	2500	40	100	90	300	630	20	7000×3050×3000	12,7
Н 1538		6300	20	140	125	400	630	55	7360×4020×4600	39,4
НА 1540		10000	28	160	140	320	1000	100	17480×4500×4500	85,53
Н 1542		16000	20	200	180	400	1000	157	17400×5000×5150	120,0
Н 1830 В		1000	75	56	55	100	630	18,8	8700×2000×3000	11,2
Н 1834	Есть	2500	40	80	70	160	630	36	11250×2600×2980	21,0
Н 1838 А		6300	26	125	110	250	1000	58	9770×4350×5835	62,57

24. Комплексы оборудования на базе кривошипных ножниц для получения заготовок из круглого и квадратного проката

Модель комплекса	Ножницы			Стеллаж	Механизм раскладки прутков	Роликовый конвейер привоной	Механизм дорезания остатка прутка	Механизм отбраковки немерных концов
	Модель	Номинальная сила, кН	Наибольший диаметр разрезаемого проката, мм					
АКН 1830В-1	Н 1830В	1000	56	+	+	+	+	+
АКН 1834Б-1	Н 1834Б	2500	85	+	+	+	+	+
АКН 1834-1	Н 1834	2500	80	+	+	+	+	+
АКН 1838 А	Н 1838 А	6300	125	+	+	+	+	+
	Н А1540	10000	160	+	+	+	–	–
	Н А1542	16000	200	+	+	–	–	–
	Н 1544	25000	220	+	+	–	–	–

25. Относительные показатели неточности геометрической формы заготовок, полученных на сортовых ножницах для точной отрезки (см. табл. 23)

Металл	Диаметр прутка, мм	Угол скоса торца φ, °	Утяжка		Отклонения от плоскостности b'
			продольная u'	поперечная f'	
Сталь:					
15	50	2,0	0,60	0,090	0,02
45	56	0,6	0,27	0,045	0,012
40Х	45	–	0,50	0,050	0,008
40ХС	40	0,7	0,24	0,020	0,01

Окончание табл. 25

Металл	Диаметр прутка, мм	Угол скоса торца ϕ , °	Утяжка		Отклонения от плоскостности b'
			продольная u'	поперечная f'	
3Х13	45	1,0	0,60	0,070	0,01
12ХН3А	50	0,5	0,45	0,040	0,01
40ХН	33	0,5	0,27	0,030	0,003
65Г	40	0,2	0,31	0,044	0,009
P18	40	0,3	0,28	0,034	0,022
Титановые сплавы:					
BT9	32	0,2	0,24	0,017	0,014
BT14	40	0,6	0,27	0,017	0,011

26. Машины для импульсной холодной отрезки, разработанные в ХАИ

Параметр	Марка установки		
	МИР-100Х	ВСПМ	ПМН-2
Наибольший диаметр поперечного сечения проката, мм	100	30	50
Энергия удара, кДж	300	5	15
Производительность, заготовок/мин	12...16	20...25	20
Масса, кг	16170	7700	9600

В Германии изготовлена механизированная линия PXS 125 с механическим пресом для холодной резки стальных прутков круглого профиля на точные короткие заготовки при повышенных скоростях. В линии имеется устройство для заправки концов прутка, автоматической отбраковки немерных концов, счета отрезанных заготовок. Стальные заготовки с относительной длиной $l/d = 0,2...0,8$, отрезанные на этой линии, имеют ровные параллельные торцы.

Основные технические данные линии

Номинальная сила, кН 1250
 Скорость отрезки, м/с 2
 Число ходов ползуна в минуту 30...60
 Диаметр сечения прутков, мм 15...60
 Наименьшая длина заготовок . . . 0,2 диаметра

В Венгрии разработана и изготавливается машина (типа UD) для резки стальных прутков диаметром 6...36 мм

на точные заготовки при повышенных скоростях.

Для автоматизации процесса получения заготовок из сортового проката, точных по форме и объему, применяют комплексы, в состав которых включают по мере необходимости следующее оборудование и устройства: стеллаж для прутков; устройство, автоматически отделяющее очередной прут от пачки; направляющее устройство для продвижения прутка в зону отрезки; сортовые ножницы (или пресс со штампом); дозирующее устройство; корректируемый упор или устройство для шаговой подачи; механизм удаления и сортировки немерных концов (переднего и заднего); транспортное устройство для удаления заготовок; счетчик отрезанных заготовок; шумозащитный кожух (иногда). При необходимости комплекс содержит также нагревательное устройство, механизм

подачи и выдачи прутка. Некоторые зарубежные комплексы имеют устройство для выравнивания формы концов прутков.

Современные автоматизированные комплексы оснащают электронным устройством, которое управляет работой всех механизмов и отключает установку, когда отрезано нужное число заготовок. Для укладки и отделения очередного прутка применяют автоматизированные стеллажи различных типов: с пневматическим ворошителем, с отсекателями, с регулируемой щелью и др.

Существуют устройства для отделения немерных (концевых) заготовок двух типов: удаляющие и предупреждающие. Последние устанавливают наличие стыка между прутками и подают сигнал для срабатывания механизма автоматического удаления немерной заготовки. В основе предупреждающих устройств могут быть электронный, пневматический, индуктивный, радиоизотопный и другие способы обнаружения стыка прутков.

К комплексам предъявляют различные требования в зависимости от характера производства. При массовом и крупносерийном производстве необходима высокая автоматизация и механизация. При рациональной организации комплексом управляют один — два оператора (один у нагревателя, второй у пульта управления).

На станкостроительных предприятиях изготавливают на базе сортовых ножниц серий Н1300, Н1500, Н1800 комплексы для точной отрезки заготовок от проката разных размеров (см. табл. 24). Комплекс АКН 1830В-1, например, предназначен для холодного деформирования в одном или двух ручьях круглого, квадратного и полосового проката из конструкционных, пружинных, инструментальных и других специальных сталей.

В состав комплекса входят кривошипные ножницы Н1830В и механизированный стеллаж мод. СМ9. Отрезка производится с наклоном и дифференцированным зажимом прутка. Комплекс обеспечивает отрезку в автоматическом режиме в одном из трех ручьев или одновременно в двух крайних. Концевые остатки отсортировываются. Основные технические данные комплекса АКН 1830 В-1 приведены ниже.

Номинальная сила отрезки, кН	1000
Наибольший диаметр разрезаемого проката при $\sigma_B = 600$ МПа, мм:	
в центральном ручье	56
в крайних ручьях	38
Длина отрезаемых заготовок, мм:	
наибольшая	630
наименьшая	45
Производительность при отрезке заготовок длиной 60 мм, шт/мин:	
в одном ручье	30
в двух ручьях	55
Суммарная мощность электродвигателей, кВт	22,8
Габаритные размеры, м	8,7×3,7×3
Масса комплекса, т	20

На рис. 25 показана схема комплекса, в состав которого входят механизированный стеллаж 1, газовая

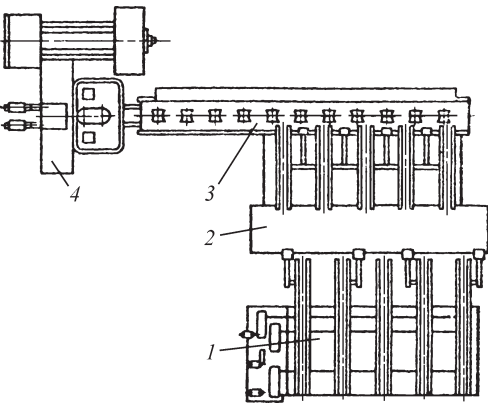


Рис. 25. Автоматизированный комплекс для отрезки проката на базе сортовых ножниц силой 10000 кН

печь 2, автоматизированный роликовый конвейер 3 с механизмом перекладки по ручьям и досылателем отрезаемых концов прутков, ножницы 4 с механизмом отбраковки немерных концов, устройством механизированной смены ножей и счетчиком заготовок.

Применение современных комплексов с отрезными штампами или сортовыми ножницами для разделки сортового проката обеспечивает получение без отходов заготовок высокого качества, хорошей точности по объему при высокой производительности и автоматизации производства.

Научно-исследовательским институтом тяжелого машиностроения (Ростов-на-Дону) разработаны типовые комплексы средств механизации разрезки сортового и профильного проката в штампах, на кривошипных прессах и на сортовых ножницах. Комплексы средств механизации отрезки заготовок от проката в штампах (модели 70-377-0-0, 70-391-0-0, 70-407-0-0) базируются на кривошипных прессах К2132А, К2132 и предназначены для получения заготовок из прутков с сечением диаметром 25... 50 мм. Комплекс состоит из стеллажа поштучной выдачи, пневматического питателя, роликового механизма подачи, кривошипного прессы со штампом и разгрузочного устройства.

Комплексы средств механизации разрезки проката на сортовых ножницах (модели 70-356-0-0...70-397-0-0) базируются на сортовых ножницах Н1038, Н1534, Н1538 и предназначены для отрезки заготовок от прутков с сечением диаметром 25...130 мм. Комплексы 70-395-0-0...70-397-0-0 предназначены для отрезки с подогревом. Комплекс состоит из стеллажа, выполняюще-

го роль бункера, с механизмом поштучной выдачи материала на приводной роликовый конвейер и кривошипных закрытых ножниц с приводным роликовым конвейером и лотком для сбора заготовок. В состав комплексов 70-395-0-0...70-397-0-0 входят также нагревательная печь и конвейер выдачи заготовок.

Для эффективного применения отрезки в мелкосерийном и гибком автоматизированном производстве важное значение имеет быстрая переналадка ножниц на отрезку заготовок разных размеров. В ЭНИМСе создан быстропереналаживаемый модуль для безотходной отрезки заготовок от стальных прутков диаметром 15...80 мм длиной от 40 мм. Модуль состоит из гидропресса, приводящего в действие механизм отрезки, механизма подачи, магазина прутков. Переналадка модуля занимает 5 мин. Штучное время отрезки 5...20 с. В модуле применен способ не полностью закрытой отрезки с активным поперечным (дифференцированным) зажимом прутка и отрезаемой части.

Разрезка кручением. Применяют для деления на заготовки прутков круглого профиля и преимущественно труб. Пруток 1 (рис. 26) и его отделяемая часть фиксируются зажимами 2 и 3. На поверхности прутка

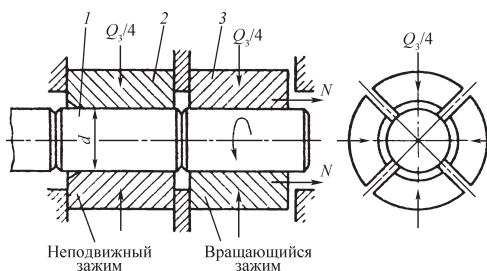


Рис. 26. Схема разрезки кручением

по плоскостям раздела нанесены концентраторы в виде круговых V-образных канавок. Зажим 3 может поворачиваться вокруг оси и перемещаться вдоль нее. При повороте зажима 3 с зажатой в нем отрезаемой частью прутка происходит отрезка кручением. Возможность разрезки кручением и качество поверхности раздела определяются механическими свойствами разрезаемого металла. Разрезка кручением хрупких сталей (Р18, 3Х2В8, ХВГ, 9ХС и др.) невозможна, а при разрезке вязких сталей получаются некачественные заготовки, поэтому способ пригоден только для разрезки прутков и труб из среднеуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей 35–50, 35Х, 40ХС, 65Г и титановых сплавов, а также труб из сталей 20, 20Г, 20Х. Этим способом можно отрезать заготовки длиной более одного диаметра от прутков и более трех диаметров от труб. С применением вставок можно отрезать от труб заготовки длиной от 0,8 внешнего диаметра сечения.

Необходимый для разрезки крутящий момент определяют по формулам:

для прутка

$$M = \frac{\pi}{12} d^3 m^3 \left(\tau_p - \frac{K}{3} \right);$$

для трубы

$$M = \frac{\pi}{12} d^3 \left[\left(\tau_p - \frac{K}{3} \right) (m^3 - \alpha^3) + \alpha^3 K \ln \frac{m}{\alpha} \right];$$

сила зажима прутка

$$Q_3 = 2,2 M / (\mu d);$$

сила отрыва

$$N_o = 0,01 Q_3.$$

В формулах

$$m = \frac{d - 2h}{d}; K = \frac{\tau_p - \tau_y}{\ln \gamma_p / \gamma_y},$$

где τ_p — касательное напряжение сдвигу; τ_y — предел упругости на сдвиг; γ_p — относительный сдвиг при разрушении; γ_y — относительный сдвиг, соответствующий пределу упругости; $\alpha = d_{\text{вн}} / d$; $d_{\text{вн}}$ — внутренний диаметр трубы; μ — коэффициент контактного трения в зажимах; h — глубина V-образной канавки.

Наиболее рациональная область применения разрезки кручением — разделение толстостенных труб на заготовки.

Разрезка зубчатыми пилами находит широкое применение во всех отраслях металлообработки, являясь на ряде предприятий с мелкосерийным производством основным способом разделения проката на заготовки. Разрезание пилами обеспечивает хорошее качество поверхности реза и точную длину заготовки.

Разрезка дисковыми пилами. Применяется для разделения на заготовки металла в холодном и горячем состояниях. В кузнечном производстве горячее разрезание на круглопильных отрезных станках применяется редко. Дисковые пилы для холодного и горячего разрезания бывают цельные, со вставными зубьями и со сменными сегментами (рис. 27) диаметром 300...2000 мм, толщиной 2...15 мм. Профиль зуба зависит от назначения пильного диска (табл. 27). Скорость резания (м/с) определяют по формуле

$$v = \frac{\pi D n}{60 \cdot 1000},$$

где D — диаметр пильного диска, мм; n — частота вращения, мин^{-1} .

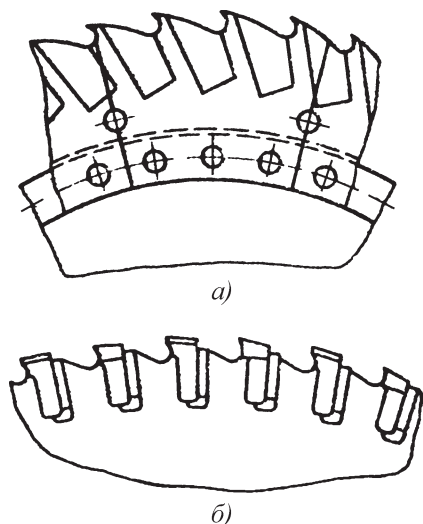


Рис. 27. Дисковые пилы:

а — сегментная; б — со вставными зубьями

Подачу на один оборот определяют по формуле

$$s_{об} = s_z z;$$

подачу в минуту по формуле

$$s_{мин} = s_{об} n = s_z z n,$$

где s_z — подача на один зуб, мм ($s_z = 0,05...0,2$ мм, большие значения — для мягких сталей); z — число зубьев диска.

Преимущества резки пилами: чистая поверхность, возможность раз-

резки точных и очень коротких заготовок, отсутствие упрочнения металла в приторцовых зонах, универсальность (возможность разрезать прутки разных сечений без смены инструмента). Производительность дисковой пилы определяется площадью поперечного сечения прутка, разрезанной в одну секунду, и зависит от частоты вращения, диаметра диска и величины подачи. При разрезании стальных профилей производительность составляет 2000...8000 мм²/с. Машинное время отрезки (мин) дисковой пилой (без учета вспомогательного хода) определяют по формуле

$$T_m = B / s_{ср},$$

где B — ширина разрезаемой заготовки, мм; $s_{ср}$ — средняя подача, мм/мин.

Скорость резания и стойкость пильного диска зависят от прочности разрезаемой стали (табл. 28). При разрезании углеродистых сталей стойкость составляет две-три смены, а легированных — не более восьми часов.

Повышение стойкости дисковых пил достигается покрытием твердым сплавом поверхности зубьев. Так, нанесение электроэрозионным способом слоя толщиной 0,1 мм твердого

27. Углы зубьев сегментных пил, градусы

Угол	Углеродистая сталь	Хромоникелевая сталь	Коррозионно-стойкая сталь	Алюминий	Медь, бронза
Передний	25	25	20	30	25
Задний	8	6	6	12	10

28. Скорость резания и стойкость пильного диска

Параметр	Временное сопротивление разрезаемого металла σ_v , МПа					
	до 500	500...600	600...700	700...800	800...900	св. 900
Скорость резания, м/мин	25...30	20...25	17...20	14...16	11...13	6...10
Стойкость до затупления, ч	16...20	10...16	8...10	6...8	4...6	3...4

сплава Т15К6 на переднюю и заднюю поверхности зубьев сегментных пил увеличивает стойкости в 3–4 раза. Фирма «Вагнер» (ФРГ) выпускает высокопроизводительные машины с твердосплавными пильными дисками диаметром 315...1530 мм для разрезания круглого металла до диаметра 520 мм с шириной пропила 4...11 мм.

Недостатки способа разрезания дисковыми пилами: наличие отхода металла, значительная стоимость инструмента, потребность в заточных станках, загрязнение рабочего места и воздушного пространства мелкой стружкой, невозможность разделения термически упрочненных металлов с $\sigma_{\text{в}} = 1200 \text{ МПа}$, сильный шум при работе.

НИИТМом (Ростов-на-Дону) разработаны комплексы для механизированной резки сортового проката и труб диаметром 25...160 мм в пакетах на фрезерно-отрезных станках моделей 8В66 и 8В66А. Комплекс состоит из стеллажа с механизмом поштучной выдачи металла, перекладчика, приспособления для формирования пакета, фрезерно-отрезного станка и разгрузочного устройства.

Разрезка ленточными пилами. Ленточно-отрезные станки (табл. 29) с инструментом в виде «бесконечной» зубчатой ленты находят все большее применение в заготовительном производстве. Они развивают скорость

10...240 м/мин, обеспечивают хорошее качество поверхности среза, высокую производительность (в 1,5–2 раза выше производительности фрезерно-отрезных станков), малый отход металла и удельный расход энергии; работа протекает с незначительным шумом. Ширина пропила обычно не превышает 2,2 мм. Ограничивающим фактором применения ленточно-отрезных станков является недостаточная стойкость ленточных пил (5...15 ч). Для устранения этого недостатка применяют биметаллические ленточные пилы.

Производительность при резании среднеуглеродистой стали ленточной пилой из легированной стали со скоростью 40...50 м/мин составляет 25 см²/мин, а биметаллической пилой с рабочей частью из быстрорежущей стали — 70 см²/мин.

Применяют ленточные пилы шириной 4...40 мм, толщиной 0,6...1,0 мм с шагом зубьев 1...6 мм. Зубья ленточной пилы разводят в обе стороны. Шаг зубьев прямо пропорционален толщине разрезаемого материала и обратно пропорционален твердости. Для резки заготовок большого сечения из мягких металлов рекомендуется применять ленточные пилы с крупным шагом зубьев (рис. 28).

Число зубьев выбирают в зависимости от толщины разрезаемой заготовки:

Толщина заготовки, мм	13	13...50	50...100	св. 100
Число зубьев на 1 см длины полотна . . .	6	4	3	2

29. Ленточно-отрезные станки

Параметр	Тип станка	
	8В545	8544
Максимальный размер разрезаемого металла, мм	500	350
Скорость резания, м/мин	10...90	16...87
Ширина пропила, мм	2,2	2,0

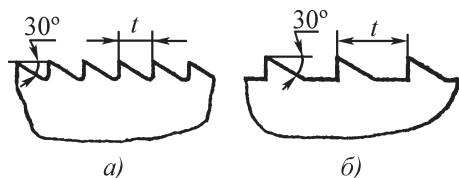


Рис. 28. Форма зубьев ленточных пил для сталей (а) и цветных металлов (б)

Форма зуба зависит от разрезаемого металла: для резки стальных заготовок рекомендуется зуб с передним углом $\gamma = 0^\circ \dots 30^\circ$, углом заострения $\beta = 44^\circ \dots 66^\circ$ и задним углом $\alpha = 30^\circ \dots 33^\circ$. Для надежной работы ленточной пилы важно обеспечить равнопрочность спая концов ленты.

Скорость резания ленточной пилой зависит от разрезаемого металла (табл. 30). Для резки алюминиевых сплавов, меди, латуни применяют также скоростную резку ленточными пилами со скоростью, значительно превышающей указанные в табл. 30.

Разрезка ножовочными пилами. Способ применяют в единичном, мелкосерийном и серийном производствах. Станкостроительная промышленность изготавливает ножовочно-отрезные станки с прямолинейным возвратно-поступательным перемещением пильного полотна (мод. 8725) и с движением по дуговой траектории (мод. 8А725) со следующими техническими данными:

	Мод. 8725	Мод. 8А725
Длина ножовочного полотна, мм	500	450
Наибольший диаметр разрезаемого металла, мм	250	250
Ширина пропила, мм	2,5	2,5
Число двойных ходов в минуту	120	140

Ножовочно-отрезные станки с дуговой траекторией движения инструмента имеют более высокую производительность ($30 \dots 40 \text{ см}^2/\text{мин}$), чем станки с возвратно-поступательным перемещением полотна. Благодаря меньшим габаритным размерам, массе

и мощности эти станки могут конкурировать с ленточно-отрезными и круглопильными по экономичности резки.

Основными параметрами ножовочного полотна являются его длина и шаг зубьев (табл. 31, рис. 29).

30. Рекомендуемые скорости резания ленточной пилой

Разрезаемый металл	Шаг зуба, мм	Скорость пильной ленты, м/мин
Сталь:		
конструкционная	1,8...2,5	60...93
высокоуглеродистая	1,4...3,2	15,5...23
хромистая быстрорежущая	2,5...3,2	23...45
никелевая	1,8...2,1	23...38
коррозионно-стойкая	1,1...2,1	15,5...60
инструментальная	1,8...2,1	30...60
Алюминиевые сплавы	1,8...4,2	123...245
Латунь мягкая	1,4...2,5	93...152
Медь	1,4...2,1	123...245

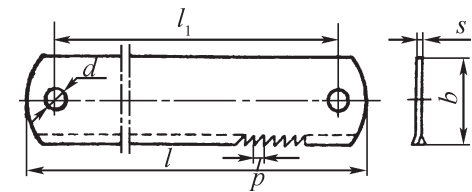


Рис. 29. Ножовочное станочное полотно

Производительность резки на ножовочных станках зависит от силы прижима полотна к разрезаемому металлу. Эту силу задают в зависимости от толщины полотна.

Основное машинное время разрезания стальных прутков на ножовочных станках с прямолинейным движением полотна приведено в табл. 32, скорость резания — в табл. 33.

Длину ножовочного полотна выбирают в зависимости от длины пропила (ширины сечения разрезаемого прутка), мм:

Длина полотна . . .	350	400	450	500	600
Длина пропила . . .	130	155	180	200	250

Шаг зубьев ножовочного полотна выбирают в зависимости от твердости

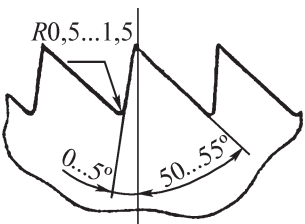


Рис. 30. Форма и размеры зуба ножовочного станочного полотна

металла и размеров разрезаемой заготовки: крупные зубья — для заготовок больших сечений из мягких металлов, мелкие зубья — для заготовок из твердых металлов с малыми размерами сечения:

σ_B , МПа	400...600	600
Шаг зубьев, мм.	3...4	2,5

Форма зуба ножовочного полотна и размеры углов показаны на рис. 30. Для снижения трения зубья ножовочных полотен имеют развод 0,6...0,8 мм.

Разрезка резцами на токарно-отрезных станках. Способ применяют в единичном и мелкосерийном производстве

31. Размеры полотен для ножовочных станков, мм (ГОСТ 6645–86)

l	$l_1 \pm 2$	s	p	b	d
330	300	1,25	1,8 2,5	25	8,2
380	350	1,25 1,60	1,8; 2,5 4,0	25 32	8,2
430	400	1,25 1,60 2,00	2,5 4,0 6,3	25 32 40	8,2
485	450	1,6 2,0	2,5 4,0 6,3	32 40	10,2
535	500	1,6 2,0	2,5 4,0 6,3	32 40	10,2
635	600	2,0 2,5	4,0 6,3 4,0 6,3	50	12,2

32. Машинное время, мин, разрезания стальных прутков ножовочными полотнами из быстрорежущей стали

Диаметр прутка или сторона квадрата, мм	Углеродистая		Легированная
	$\sigma_B < 600$, МПа	$\sigma_B > 600$, МПа	
10	0,18/0,22	0,22/0,29	0,34/0,42
15	0,36/0,48	0,46/0,67	0,71/1,05
20	0,55/0,78	0,81/1,07	1,23/1,55
25	0,84/1,10	1,22/1,54	1,81/2,34
30	1,22/1,56	1,71/2,15	2,50/3,24
35	1,65/2,05	2,20/2,81	3,46/4,33
40	2,15/2,5	2,90/3,72	4,36/5,68
45	2,56/3,25	3,60/4,53	5,22/6,82
50	3,26/4,00	4,46/5,31	6,20/8,25
60	4,38/5,30	6,10/8,33	9,30/11,67
70	5,89/7,50	8,21/10,22	12,40/15,70
80	7,56/9,55	10,41/13,87	15,40/19,80
90	9,38/12,00	13,21/17,21	19,30/24,60
100	11,42/14,85	16,65/21,20	24,60/31,60
120	16,60/21,00	23,60/30,90	33,80/44,80
130	19,80/24,50	27,50/35,60	39,80/51,90
140	21,58/28,00	30,40/40,10	46,90/58,90

Примечание. В числителе — для круглого, в знаменателе — для квадратного профиля.

33. Средняя скорость резания на ножовочных станках

σ_B , МПа	Скорость резания, м/мин	σ_B , МПа	Скорость резания, м/мин
Сталь углеродистая		Сталь хромоникелевая	
До 400	30	До 450	20
400...500	25	500...800	15
500...600	20	Более 800	10
600...800	15	Латунь	
От 800	10	До 360	25
		Более 360	20

для разделения круглых прутков и труб на заготовки с хорошим качеством поверхности среза и высокой точностью по длине. Разрезание производят на универсальных токарных и специальных токарно-отрезных станках и авто-

матах. Преимуществом способа является его универсальность и простота. Шероховатость поверхности торцов соответствует $R_z = 10...20$ мкм. На торцах по оси могут быть выступы до 1,5 мм. Уп-рочненный слой металла распростра-

ется на глубину до 0,2 мм от торцов. Отклонения, мм, по длине заготовок, от-

резанных на токарном станке, приведены ниже.

Диаметр сечения	6...20	20...50	50...100	100...200
Отклонение длины	0,2...0,4	0,4...0,6	0,6...0,8	0,8...1,2

Недостатки способа — низкая производительность (при разрезке прутка с сечением диаметром 50...80 мм отрезают одну-три заготовки в минуту); малая стойкость резцов; большой отход металла в стружку; высокая себестои-

мость заготовки. В кузнечно-заготовительном производстве этот способ находит ограниченное применение.

Отход металла определяется шириной резца, мм, которая зависит от диаметра разрезаемого прутка, мм:

Диаметр сечения прутка	80	80...150	150...350
Ширина резца	3...5	5...6	6...10

Машинное время, мин, на разрезание прутка круглого профиля определяют по формуле

$$T_{\text{м}} = \frac{0,5d + x}{ns};$$

на разрезание трубы

$$T_{\text{м}} = \frac{0,5(d - d_{\text{вн}}) + x}{ns},$$

где d — наружный диаметр прутка или трубы, мм; $d_{\text{вн}}$ — внутренний диаметр трубы, мм; $x = 2...5$ мм — перебеги резца; n — частота вращения шпинделя, мин⁻¹; s — подача резца, мм/об.

Снижение скорости резания по мере приближения резца к оси заготовки отрицательно сказывается на производительности и стойкости резцов. Станки с автоматическим увеличением частоты вращения шпинделя при приближении резца к оси обеспечивают повышение производительности до 30%.

Токарные отрезные резцы изготовляют из быстрорежущей стали и с пластинками из твердых сплавов. Применение твердосплавных резцов повышает производительность в 2—3 раза.

Разрезка абразивными кругами. Способ находит применение при разделении на заготовки проката, труб, про-

филей из высокопрочных металлов. Режущим инструментом при абразивной разрезке является диск из абразивных зерен и связующего вещества, которое выполняет двойную роль: удерживает зерна при резании и высвобождает их после изнашивания. В качестве абразива используют электрокорунд или карбиды кремния на вулканитовой или бакелитовой связке.

В нашей стране выпускают абразивные круги диаметром 300...600 мм, толщиной 0,5...4 мм.

Для абразивной резки применяют станки с ручной подачей круга, полуавтоматы с механической подачей и автоматы, в которых автоматически выполняют подачу материала, его зажим, подачу круга и снятие материала (табл. 34).

На абразивно-отрезных станках разрезают круглый прокат с сечением до 200 мм, трубы диаметром до 600 мм. Круги вращаются со скоростью 30...100 м/с, поэтому к ним предъявляют высокие требования по прочности и упругости.

Характеристика круга включает следующие параметры: размеры (внешний диаметр, толщину, диаметр отверстия), вид абразивного материала, зернистость, вид связки, твердость, структуру. Параметры круга выбирают в зави-

34. Технические данные абразивно-отрезных станков

Параметр	Станки с ручным управлением		Автоматы с неподвижной заготовкой	
	8220	8A240	8242	8252
Диаметр круга, мм	200	250	400	500
Толщина круга, мм	1...3	3...4	3...4	4...5
Скорость резания, м/с	50...80	50...80	48...80	48...80
Максимальный диаметр разрезаемого металла, мм	20	60	60	100

35. Рекомендуемые параметры абразивных кругов

Разрезаемый металл	Зернистость	Вид связки	Твердость
Алюминий и алюминиевые сплавы	80	В	СТ
Бронза твердая	50	Б	СТ2
Сталь твердая углеродистая	40	В	СТ
Сталь инструментальная	40	В	СТ

Примечание. Абразивный материал — электрокорунд.

симости от вида разрезаемого металла, режимов резания, требований к качеству поверхности среза (табл. 35). Круги изготавливают на бакелитовой (Б), вулканитовой (В) и металлической связках, армируют стеклотканью, капроном и другими материалами.

При выборе параметров круга необходимо, чтобы диаметр был возможно больше (так как при этом повышается производительность и уменьшается изнашивание), а толщина возможно меньше (снижается отход). Однако надо учитывать, что с уменьшением толщины снижается точность резки из-за увода тонкого круга при врезании.

Абразивный материал выбирают в зависимости от вида разрезаемого металла. Для резки сталей рекомендуют круги из электрокорунда. Зернистость выбирают в зависимости от режима работы и требуемой шероховатости и точности поверхности реза. Для разрезания сталей применяют круги с менее крупным зерном, чем для цветных сплавов. Твердость круга

должна быть такой, чтобы при работе абразивные зерна выкрашивались по мере затупления, образовывались новые режущие грани и обнажались новые зерна.

Преимущества абразивной резки: высокая геометрическая точность и малая шероховатость поверхности среза ($Ra = 0,32...1,25$ мкм), возможность резки высокопрочных металлов любой твердости, высокая производительность. Производительность резки углеродистых и конструкционных сталей абразивными кругами равна $240 \text{ см}^2/\text{мин}$, быстрорежущих $120 \text{ см}^2/\text{мин}$, коррозионно-стойких $30 \text{ см}^2/\text{мин}$. По экономичности способ превосходит разрезание дисковой пилой и на токарно-отрезных станках. Высота микронеровностей при оптимальной зернистости круга составляет 2 мкм . Поверхность среза обычно не нуждается в дальнейшей обработке.

К недостаткам способа относятся шум при работе, выделение пыли (требуется присоединение станка к вентиляционной системе), быстрое изна-

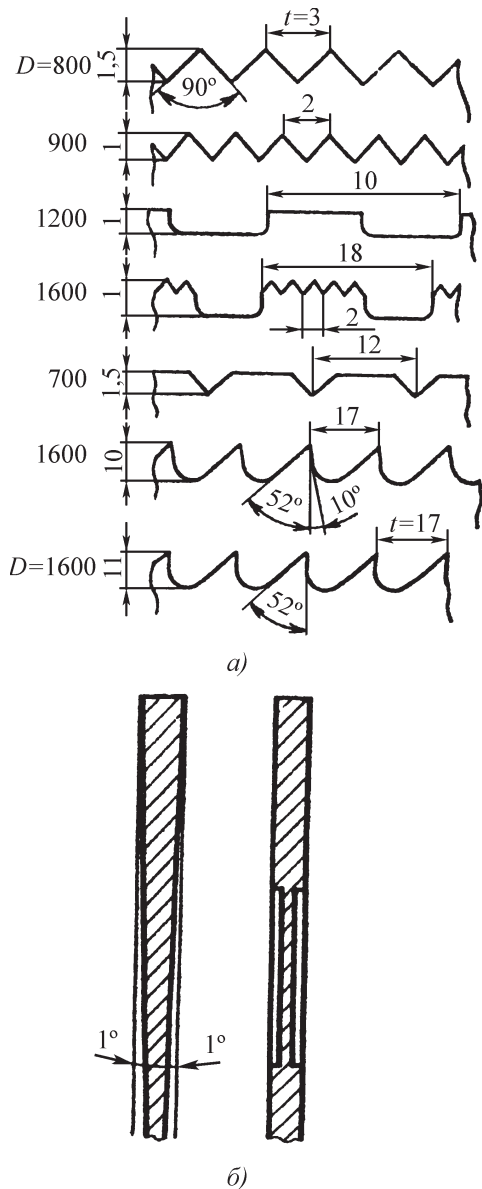


Рис. 31. Форма зубьев режущей кромки дисков (а), виды поднутрения (б)

шивание кругов, относительно большая ширина пропила (приблизительно 1 % от диаметра круга).

Резка фрикционными пилами. Способ применяют для разрезания сталей, содержащих вольфрам или молибден, а также для никелевых хро-

мистых, хромокремнистых сталей. Производительность фрикционной пилы выше производительности дисковой пилы с зубьями для холодной резки металла в 3–4 раза. Сущность способа состоит в том, что контактное трение вращающегося с большой скоростью тонкого стального диска вызывает местный нагрев и размягчение или расплавление разрезаемого металла, частицы которого выбрасываются из прорези в виде снопа искр. Режущей частью диска является его внешняя кромка. В качестве инструмента используют следующие формы дисков: гладкий, с накатанными зубьями разной формы (рис. 31), насечкой (наиболее производительный).

Гладкие диски обычно применяют в тихоходных машинах. Ширину b прорези определяют по формуле

$$b = a + 0,002D,$$

где a — толщина; D — диаметр дисковой пилы.

Мощность резания (кВт) дисковой фрикционной пилы может быть определена по формуле

$$N = k_1 sbh;$$

здесь s — скорость подачи, мм/с; h — средняя высота пропила, мм; k_1 — коэффициент (приведен ниже).

Силу резания определяют по формуле (рис. 32)

$$P_{\text{рез}} = k_2 \frac{s}{v} bh,$$

где v — скорость резания; k_2 — коэффициент, зависящий от разрезаемого металла:

	k_1	k_2
Сталь	0,020	2,040
Медь	0,008	0,820
Латунь	0,008	0,820

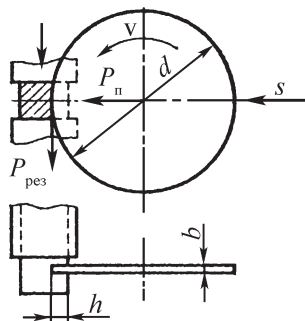


Рис. 32. Схема к определению параметров резки фрикционной пилой

Сила резания дисковой фрикционной пилы

$$P_{\text{н}} = k_2 b h \frac{s}{\nu_{\mu}},$$

где μ — коэффициент трения.

Стойкость пилы и производительность резки повышаются с увеличением скорости резания. Скорость резания дисковыми фрикционными пилами составляет 15...140 м/с. При работе с малой скоростью (15...20 м/с) необходимо охлаждение диска. Линейная скорость подачи дисковой пилы составляет 1...35 мм/с. Наибольшую допустимую скорость стального диска определяют из условия предотвращения его разрыва. Для повышения скорости дисковых пил их охлаждают водой или эмульсией.

Диаметр диска быстроходных пил для резки круглого проката определяют по формуле $D = (5...8)B + 300$ мм, а для резки проката квадратного профиля по формуле $D = 10B + 300$ мм, где B — размер сечения разрезаемого металла.

Толщина диска зависит от быстроходности пилы и диаметра диска. Для быстроходной пилы она может быть определена по формуле $b = 0,005D$ мм. Диски фрикционных пил изготавливают из вязких низкоуглеродистых сталей с $\sigma_{\text{в}} = 400...600$ МПа или из инструментальных сталей У7А, У8А. Производи-

тельность зависит от скорости диска и колеблется в широких пределах. Так, при резке прутков сечением диаметром 22...40 мм диском диаметром 1000 мм при скорости 97 м/с производительность составляет 90...120 см²/мин, а при разрезке трубы 60×5 мм диском диаметром 600 мм при скорости 140 м/с производительность достигает 500 см²/мин. Способ применяют преимущественно для резки труб и фасонного проката, когда надо избежать деформации сечения.

Недостатки способа — наплывы на торцах, шум при работе пилы, ограничивают его применение в заготовительном производстве.

Резка электромеханической пилой.

Способ электроконтактной обработки, отличающийся от резки пилой трения тем, что металл в зоне реза не только разогревается трением, но и расплавляется электрической дугой. Схема резки приведена на рис. 33. Электроэнергия подводится к диску 1 и к заготовке 2 от трансформатора 3. Расплавленный металл выносятся из прорези вращающимся диском. В применяемых на производстве установках для этого способа резки диск вращается с частотой 2200 мин⁻¹, сила тока до 1000 А, рабочее напряжение до 20 В. Производительность резки электромеханической дисковой пилой в несколько раз выше, чем резки обычной пилой трения, шум при работе

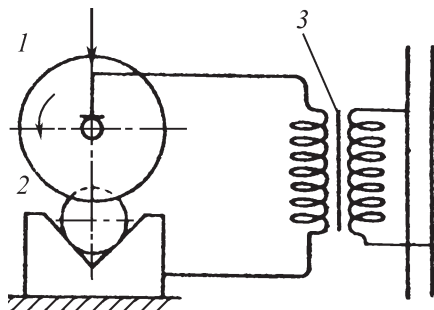


Рис. 33. Принципиальная схема электромеханической резки

меньше. Ширина прорези не превышает 3 мм. К преимуществам способа относятся применение дешевого и несложного инструмента, работа на переменном токе невысокого напряжения, низкие удельные силы на инструменте (30...50 МПа).

Недостатки способа: низкая частота поверхности реза, изменение структуры металла в широкой зоне теплового влияния, необходимость защитного устройства от брызг металла и светового излучения.

Способ применяется для резки сортового проката из легированных сталей до диаметра 240 мм, труб и толстых алюминиевых листов. При диаметре диска 1000 мм применяют скорость 30 м/с.

Электроэрозионная (электроискровая) резка (рис. 34). Осуществляется дисковым или ленточным инструментом в ванне с жидким диэлектриком (керосин, вода и др.). В зазоре между инструментом — катодом 1 и разрезаемой заготовкой 2 — возникают часто повторяющиеся импульсы электрического разряда. Источник постоянного тока 5 заряжает через сопротивление 4 конденсатор 3, который несколько сотен раз в секунду разряжается через искровой промежуток между прутком и инструментом. В зоне реза, в микрообъемах разрезаемого металла плотность тока достигает сотен тысяч ампер на 1 мм^2 , температура повышается

до $10\,000^\circ\text{C}$ и происходит плавление, сгорание и испарение металла.

Способ пригоден для разрезания труднодеформируемых металлов. Обеспечивает возможность отрезки очень коротких заготовок и высокое качество резки. Недостатком способа являются малая стойкость инструмента, большой расход энергии.

В последние годы получает развитие электроэрозионно-химическая резка, при которой одновременно происходит анодное растворение и электроэрозионное микроразрушение металла. На современных станках при электроэрозионно-химической резке высокопрочных сплавов на основе титана, вольфрама, молибдена достигается производительность $25...27 \text{ см}^2/\text{мин}$ при рабочей подаче $25...30 \text{ мм/мин}$, ширине прорези $3,8...4 \text{ мм}$, шероховатости поверхности среза $R_z = 70 \text{ мкм}$. Область структурных изменений металла не превышает $0,25...0,3 \text{ мм}$.

Станки для электроэрозионно-химической резки имеют катоды — инструменты дисковой формы диаметром $220...300 \text{ мм}$, толщиной $2...2,5 \text{ мм}$ из низкоуглеродистой стали. Окружная скорость инструмента $40...45 \text{ м/с}$, расход электролита 120 л/мин . Электроэрозионно-химическая резка высокопрочных сплавов значительно превосходит по производительности резку пилами.

Анодно-механическая резка. Способ основан на термическом и электрохимическом разрушении металла при прохождении электрического тока между двумя электродами (заготовка-анод, инструмент-катод); разновидность электроэрозионной обработки. Осуществляется расплавлением и удалением движущимся инструментом частиц разрезаемого металла в поле постоянного электрического тока силой $45...80 \text{ А}$, напряжением $20...30 \text{ В}$. В зону пропила подается электро-

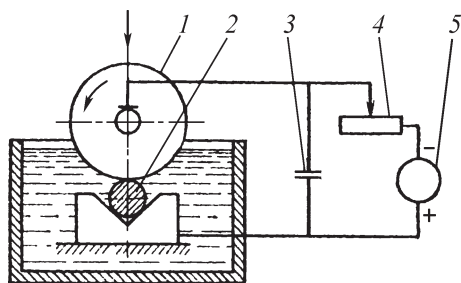


Рис. 34. Принципиальная схема электроискровой резки

лит — водный раствор жидкого стекла, расход которого при скорости подачи диска 10...27 мм/мин составляет 5...25 л/мин.

В практике применяют две схемы анодно-механической резки: вращающимся тонким гладким диском и по-

Диаметр сечения разрезаемого проката . . .	До 30
Наружный диаметр диска.	До 200
Толщина диска.	0,5

При резке лентой размеры ее поперечного сечения определяют из условия допустимой плотности тока 15 А/мм². Толщину ленты выбирают в пределах 0,5...1,0 мм, ширину — в пределах 15...40 мм. Концы ленты соединяют сваркой или пайкой. Режим анодно-механической резки опреде-

ступательно перемещающейся «бесконечной» лентой или проволокой.

Режущие диски изготавливают из низкоуглеродистой стали марок 08, 10, 20 или меди. Размеры их устанавливают в зависимости от размеров разрезаемого металла, мм:

30...100	100...200	200...300
200...400	500...700	800...1100
0,8...1	1,2...1,75	1,75...2,0

ляется электрическими (напряжение, сила тока) и механическими (скорость, давление инструмента) параметрами (табл. 36).

Количество рабочей жидкости, подаваемой в зону реза при разрезании дисковым инструментом, зависит от размеров проката:

Диаметр сечения разрезаемого проката, мм	До 30	30...100	100...200	200...300
Количество подаваемой жидкости, л/мин	5...10	10...15	15...20	25...30

При резке ленточным инструментом количество подаваемой в зону реза жидкости на 40...50 % меньше, чем при резке диском.

Параметр шероховатости поверхности среза $R_z = 40...160$ мкм. Глубина подкаленного слоя 0,05...0,08 мм. С увеличением скорости диска высота неровностей на поверхности среза и глубина подкаленного слоя убывают.

Ширина прорези в 1,3—2 раза больше толщины инструмента. Так, при разрезании прутков диаметром 50 мм диском ширина прорези в 2 раза больше толщины диска, а при

разрезании лентой — в 1,5 раза. Скорость резания диском 15...25 м/с, лентой — 20 м/с. Оптимальное давление инструмента на разрезаемый металл 0,05...0,2 МПа. Производительность анодно-механической резки обычных конструкционных сталей равна производительности при резке их дисковыми пилами, а при резке труднодеформируемых сталей в 2—4 раза выше. Наибольшая производительность достигается при оптимальной скорости инструмента 16... 20 м/с. Машинное время анодно-механической резки приведено ниже.

36. Параметры режима анодно-механической резки стали

Диаметр сечения разрезаемого проката, мм	Напряжение, В	Сила тока, А
10...50	20...22	20...80
50...100	20...22	80...150
100...150	22...24	150...250
150...200	24...26	250...350
200...250	24...26	350...450
250...300	26...28	450...500

При круглом сечении заготовок:

Диаметр, мм	40	60	80	100	150	200	250	300
Машинное время, мин.	2,0	2,5	3,7	5,0	12,0	16,0	23,0	35,0

При квадратном сечении:

Сторона квадрата, мм	100	150	220
Машинное время, мин.	6,0	14,0	23,0

Преимуществами анодно-механической резки являются возможность разрезки любых токопроводящих материалов; низкая стоимость инструмента и простота изготовления; малое силовое воздействие на разрезаемую заготовку, что позволяет резать нежесткие профили; малая ширина прорези.

Недостатки способа: высокая стоимость оборудования; необходимость применения специального электролита; необходимость промывки станка и деталей горячей водой; невысокая производительность; низкое качество поверхности среза; сложность защиты направляющих и других частей станка от жидкого стекла. Применение анодно-механической резки целесообразно в тех случаях, когда механическая разрезка невозможна или затруднена.

Газопламенная резка. Осуществляется сжиганием металла в струе кислорода, которая одновременно служит для удаления продуктов сгорания. Подогрев металла до температуры его воспламенения осуществляется с помощью горючего газа (ацетилена, пропана, метана, паров бензина, керосина и др.), который пропускается через подогревающий наружный мундштук резака. Высокое качество разрезки обеспечивается только при горении металла в твердом состоянии. Применяют два вида газопламенной резки: кислородную и кислородно-флюсовую.

Кислородная резка (рис. 35) применяется для низко- и среднеуглеродистых сталей, низколегированных сталей, титановых сплавов при толщине заготовки до 1500 мм. Ее используют

также для зачистки металла от поверхностных дефектов.

Кислородная резка стали влияет на структуру металла в зоне резки (табл. 37). У низкоуглеродистых сталей это влияние невелико. У высокоуглеродистых и легированных сталей в зоне термического влияния наблюдается существенное повышение твердости вследствие закалки, для уменьшения которого применяют подогрев перед резкой и замедленное охлаждение металла после резки.

Кислородная резка может быть ручная и машинная. Для ручной резки применяют резаки «Маяк», «Факел», «Пламя», РЗР-62, РУА-70, РУЗ-70 и другие,

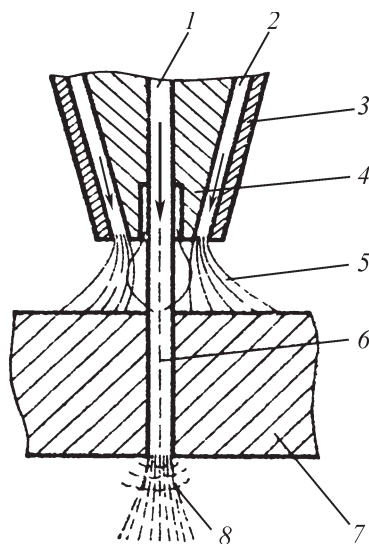


Рис. 35. Кислородная резка:

1 — канал для кислорода; 2 — канал для ацетилена; 3 — наружный мундштук; 4 — внутренний мундштук; 5 — подогревающий газ; 6 — струя режущего кислорода; 7 — разрезаемый металл; 8 — шлак

37. Глубина, мм, зоны термического влияния при кислородной резке углеродистой стали

Толщина разрезаемого металла, мм	Скорость резки, м/ч	Содержание в стали углерода, %	
		До 0,3	Св. 0,3
10	20	0,2...0,5	0,5...1,0
25	15	0,4...0,7	0,8...1,5
50	11	0,6...1,0	1,0...2,0
100	9	0,8...1,5	1,5...2,5
250	6	1,5...3,0	3,0...5,0

имеющие комплекты сменных мундштуков для получения пламени разной мощности. Для машинной резки используют переносные и стационарные машины. На этих машинах можно выполнять резку по прямой линии, по окружности или сложному криволинейному контуру. Машины изготавливают с механическим, фотоэлектрическим, программным управлением.

Ширина прорези при кислородной резке зависит от толщины разрезаемого металла и составляет 2,5...10 мм. Она неравномерна по высоте. На выходной стороне ширина больше на 10...50%, чем на входе. Ориентировочно ширину прорези можно определить по формуле $b = 2 + 0,035s$, где s — толщина разрезаемого металла. Значительная ширина прорези обуславливает большую потерю металла, достигающую 1...2 %.

Высота неровностей на поверхности раздела также зависит от толщины раз-

резаемого металла и достигает 1...4 мм при ручной резке и 0,25...2,5 мм при машинной.

К недостаткам кислородной резки наряду со значительной потерей металла следует отнести также большой расход кислорода (табл. 38) и загазованность помещения.

Разработана установка переносного типа УОПП-1 для резки заготовок толщиной 300...1200 мм со скоростью перемещения резака 33...330 мм/мин и машина для резки поковок на мерные части, отрезки прибыльных частей слитков и фигурной вырезки заготовок из плоских плит, которые могут быть эффективно использованы в кузнечно-заготовительном производстве.

Кислородно-флюсовая резка. Отличается от кислородной тем, что в зону раздела вместе с кислородом вводится флюс (железный порошок), который, сгорая, повышает температуру в зоне разрезки. Образующиеся шла-

38. Параметры кислородной резки стали универсальными резаками

Толщина, мм	Давление кислорода, МПа	Скорость резки, мм/мин	Ширина прорези, мм	Расход газа, м³/ч	
				кислорода	ацетилена
До 25	0,2...0,4	До 370	До 3	До 5,5	До 0,9
25...50	0,4...0,6	370...260	3...4	5,5...8,5	0,9...1,0
50...100	0,6...0,8	260...165	4...6	8,5...18,5	1,0
100...200	1,0...1,2	165...105	6...7	18,5...33,5	1,0...1,1
200...300	1,2...1,4	105...80	7...10	33,5...42	1,1...1,2

ки разжижаются и легко удаляются кислородной струей. Способ применяется для разрезки заготовок из высоколегированных, хромистых, хромоникелевых сталей, сталей, содержащих вольфрам, медных и алюминиевых сплавов.

Для кислородно-флюсовой резки используют установки УРХС-5, УРХС-6, УРР-700 и другие, состоящие из флюсопитателя и резака с устройством для подвода флюса в зону разрезки. Установка УРХС-5 обеспечивает скорость прямолинейной резки 230...760 мм/мин при давлении кислорода 0,5...1,0 МПа, расходе кислорода 4...38 м³/ч, расходе флюса 9...18 кг/ч, ацетилен 0,6...1,8 м³/ч.

Воздушно-дуговая резка. При этом способе резки металл расплавляют дугой, образующейся между заготовкой и неплавящимся угольным или графитовым электродом, и выдувают из полости реза сжатым воздухом, подаваемым под давлением 0,5...0,7 МПа. Способ находит ограниченное применение для разрезки низкоуглеродистой и низколегированной стали и широко используют для поверхностной обработки металла — разделки трещин, удаления дефектных участков.

Электроды имеют диаметр 6...12 мм, длину 300...350 мм. Нормальный расход воздуха составляет 20...40 м³/ч. Лучшие результаты дает резка на постоянном токе обратной полярности (минус — на разрезаемом металле, плюс — на электроде). Наибольшая производительность — 600 мм²/с. Скорость резки углеродистых и низколегированных сталей толщиной до 30 мм составляет 0,4...0,5 м/мин.

После воздушно-дуговой резки остается зона термического влияния глубиной 0,8...2,0 мм с закалочной структурой металла. Зона термического влияния устраняется подогревом

металла перед резкой. Дефектом резки является грат на кромках поверхности среза. Способ используют в том случае, если нельзя применить кислородную резку.

Плазменно-дуговая резка. Резка проводится струей плазмы. Плазма — вещество в состоянии сильно ионизированного газа. Вдоль электрической дуги по каналу плазмотрона подают газ (азот, аргон, водород или их смеси), который сжимает дугу и выходит в виде плазмы, имеющей температуру 10 000...30 000 °С (рис. 36).

Способ пригоден для разрезки любых металлов толщиной до 300 мм, но наиболее эффективен при резке высокопрочных тугоплавких сталей и сплавов, меди, алюминия. Ширина прорези при плазменно-дуговой резке непостоянна, что объясняется неодинаковой активностью разных участков режущей дуги. Глубина зоны термического влияния не превышает 0,8 мм.

Производительность способа зависит от толщины разрезаемого проката. Так, при резке коррозионно-стойкой стали толщиной 100 мм производительность 280 см²/мин, а при толщине 300 мм — 150 см²/мин.

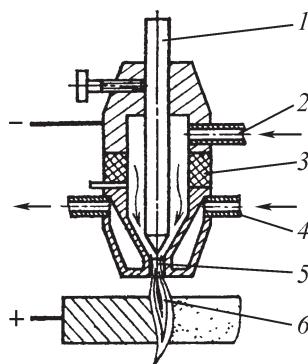


Рис. 36. Схема плазменно-дуговой резки:

1 — электрод; 2 — подача газа; 3 — изолятор; 4 — система охлаждения; 5 — сопло; 6 — дуга и струя плазмы

Плазменная резка более экономична, чем разрезка пилами. Перспективны конструкции установок и полуавтоматических линий для плазменно-дуговой резки, в которых полностью автоматизированы вспомогательные операции — поштучная выдача проката из связки, штабелирование отрезаемых заготовок, уборка отходов, а управление механизмом перемещения плазмотрона осуществляется с помощью ЧПУ.

Лазерная резка. В последние годы получает развитие разрезание лазерным лучом, при котором невидимый мощный луч когерентного монохроматического света расплавляет, испаряет металл и разрезает его в экзотермической реакции с использованием кислорода в качестве режущего газа.

Резку лазером, работающем на углекислом газе, применяют для многих металлов, которые поглощают (абсорбируют) лазерное излучение и имеют относительно невысокую теплопроводность (стали, титановые сплавы и др.). Скорость резки обратно пропорциональна толщине материала, прямо пропорциональна мощности лазерного излучения. Применение лазерной резки наиболее эффективно для получения заготовок с контуром сложной формы из листов толщиной до 10 мм, резки труднообрабатываемых металлов. Возможны вырезы по контурам с малыми радиусами скругления, острыми углами, узкими перемычками.

Лазерная резка относится к числу прогрессивных, развивающихся способов благодаря следующим преимуществам перед другими видами резки: не требуется изготавливать инструмент; отсутствует силовое воздействие на разрезаемый металл; возможна вырезка сложных контуров с острыми углами и малыми радиусами, с точностью

размеров до 0,05 мм; низкий уровень шума; узкая прорезь (0,13...0,38 мм); малая зона термического влияния (0,1...0,2 мм); отсутствуют утяжина, скругление кромок и заусенцы; высокая скорость резания (до 15 м/мин); гладкая поверхность реза ($Ra = 20$ мкм); малое подготовительно-заключительное время; простота программирования вырезки контуров с помощью ЧПУ. Эффективно применение лазерной резки в комплексе со штамповкой на специализированных прессах с ЧПУ.

Отходы металла при отрезке. Рациональный раскрой. Отходы металла при раскroe проката следующие: концевые обрезки, прорезка, некрапность, опорные концы.

Концевые обрезки — отходы при удалении дефектных концов прутка. При отрезке в штампах и на ножницах длина концевых обрезков составляет $l_{\text{обр}} \geq 0,5a$ (a — высота сечения). Меньшая длина обрезка может привести к образованию дефектов на торце мерной заготовки.

Прорезка — отход, зависящий от толщины инструмента (резца, фрезы, полотна пилы). При отрезке в штампах и на ножницах он равен нулю.

Некрапность — отход, вызванный колебанием длины прутка и немерностью последней заготовки. Средневероятная (расчетная) длина некрапности определяется по формуле $l_{\text{н}} = 0,5l$.

Длина проката, поставляемого металлургическими заводами, бывает кратной мерной, мерной с остатками (образующимися при раскroe), кратной мерной с остатками и немерной. Прокат кратной и мерной длины поставляется с доплатой к оптовой цене. Прокат немерной длины будет рациональной формой заказа, если стоимость потерь металла при раскroe не превышает доплаты за прокат кратной

длины (с учетом возможности использования концевых остатков для другого изделия или реализации его как отхода).

Длина немерного проката колеблется в интервале, регламентированном стандартами (L_6 — наибольшая, L_m — наименьшая длина). В партии допускается Π % укороченных (маломерных) штанг длиной не меньше $L_{ук}$.

Расчетную длину проката определяют по формуле

$$L_p = \frac{L_6 + L_m}{2 + K},$$

где K — коэффициент, учитывающий влияние укороченных штанг в партии:

$$K = \frac{\Pi}{100} \frac{L_6 - L_{ук}}{L_m - L_{ук}}.$$

При расчетах значение L_p округляют (унифицируют) до стандартных значений. Отход по некрайности резко возрастает при $L_p / l < 10$.

Опорный конец — отход, равный концевому отрезку штанги, необходимому для поперечного зажима при отрезке последней заготовки. Его длина $l_{ок} \approx (0,8...1,0)d$. Если этот отрезок оказывается меньше длины $l_{пз}$ участка, необходимого для поперечного зажима, то его приходится увеличивать на длину заготовки, и отход металла в опорный конец возрастает.

Для заказа проката диаметр сечения заготовки определяют по формуле

$$d_3 = d_{max} + \Delta d,$$

где d_{max} — максимальный диаметр детали по чертежу; Δd — припуск на обработку, зависящий от требуемой чистоты и точности обработки, ус-

танавливается по отраслевым нормативам.

При заказе принимают диаметр сечения прутка $d \geq d_3$. Размер заготовки по длине определяют по формуле $l_3 = l_{max} + 2\Delta l$, где l_{max} — максимальная длина детали по чертежу; Δl — припуск на обработку торцов (по отраслевым нормам).

Исходную длину сортового проката устанавливают исходя из фактического размера заготовки детали l_3 по длине, принятого метода раскроя, минимальных потерь на отрезку, на отходы по некрайности и экономически целесообразного сокращения заказа различных сорторазмеров проката.

Рациональный раскрой заключается в подборе экономически целесообразного варианта расположения заготовок в прокате с учетом имеющегося оборудования. Цель решения задачи раскроя заключается в определении наименьшего расхода металла на заданный комплект заготовок. Показателем экономичности раскроя является коэффициент раскроя, определенный по формуле

$$K_p = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{L} 100,$$

где l_i — полезная длина i -й заготовки, мм, L — средняя расчетная длина прутка, мм.

Раскрой прутковых материалов выполняют индивидуальным или комбинированным методом. При индивидуальном раскрое штангу раскраивают на заготовки одного размера. Этот метод наиболее удобен для серийного и массового производств. Сущность группового метода заключается в предварительном расчете и планировании вариантов разрезки проката комплектно на разные заготовки. За-

дача решается путем математического программирования с использованием ЭВМ. Применение экономико-математических методов и электронно-вычислительных машин для оптимального раскроя позволяет повысить коэффициент использования пруткового металла на 2...6 %.

Выбор способа разделения металла на заготовки. Заготовки требуемого качества могут быть получены разными способами. При выборе наиболее рационального способа надо учитывать вид и свойства металла, форму и раз-

меры сечения, относительную длину заготовок, требования к ним, отходы металла (табл. 39—41), а также годовой объем производства заготовок. Рациональным способом разрезки будет тот, который, обеспечивая получение заготовок необходимого качества, наиболее экономичен при заданном объеме производства. Самым производительным, металлосберегающим и экономичным способом разделения проката на точные заготовки является отрезка в штампах и на современных сортовых ножницах, обеспечивающая сущест-

39. Припуски, мм, на отрезку заготовок от сортового проката

Диаметр заготовки или наибольшая высота сечения, мм	Способ разрезки								
	на ножовочном отрезном станке	пилой круглой сегментной	пилой дисковой фрикционной	анодно-механической резкой	абразивным кругом	кислородной резкой	отрезным резцом		
							прямым	изогнутым	дисковым
До 18	2,5	—	3,0	1,0	4,0	2,5	2,5	—	3,5
Св. 18 до 30	2,5	4	4,0	1,0	4,0	3,0	3,5	—	4,0
Св. 30 до 50	2,5	4	5,0	1,5	5,0	3,5...4,5	4,0	—	—
Св. 50 до 80	2,5	5,5	6,0	2,0	5,0	4,5...5,5	—	5,5	—
Св. 80 до 120	3,0	6,5	8,0	2,0	5,0	5,5...6,5	—	6,5	—
Св. 120 до 180	3,0	7,5	8,0	3,0	5,0	6,5...7,5	—	—	—
Св. 180	3,0	8,5	10,0	3,0	—	—	—	—	—

40. Припуски на отрезку заготовок из труб, мм

Диаметр трубы, мм	Способ разрезки	
	на ножовочном отрезном станке	дисковой пилой
До 25	2,5	—
26...50	2,5	—
51...100	2,5	5,0
101...150	3,0	5,0
151...200	3,0	6,0
201...250	3,0	6,0
251...300	—	7,0
301...350	—	7,0
Св. 351	—	8,0

41. Допуски на длину заготовок при различных способах их получения

Диаметр или сторона квадрата, мм	Допуск (±) при длине заготовки, мм			
	До 300	300...600	600...1000	Св. 1000
В штампах				
До 10	До 0,6	0,6...0,7	0,7...0,8	0,8...0,9
10...20	0,6...0,7	0,7...0,8	0,8...0,9	0,9...1,0
20...30	0,7...0,8	0,8...0,9	0,9...1,0	1,0...1,1
30...40	0,8...0,9	0,9...1,0	1,0...1,1	1,1...1,3
40...50	0,9...1,0	1,0...1,1	1,1...1,2	1,3...1,6
На сортовых ножницах				
До 25	До 0,8	0,8...1,0	1,0...1,5	1,5...2,0
25...40	0,8...1,0	1,0...1,5	1,5...2,0	2,0...2,5
40...70	1,0...1,5	1,5...2,0	2,0...2,5	2,5...3,0
70...100	1,5...2,0	2,0...2,5	2,5...3,0	3,0...3,5
100...150	2,0...2,5	2,5...3,0	3,0...3,5	3,5...4,0
150...200	2,5...3,0	3,0...3,5	3,5...4,0	4,0...4,5
На ножовочно-отрезных станках				
До 50	До 0,8	0,8...1,0	1,0...1,3	1,3...1,5
50...70	0,8...1,0	1,0...1,3	1,4...1,5	1,5...1,8
70...100	1,0...1,3	1,3...1,5	1,5...1,8	1,8...2,0
100...130	1,2...1,4	1,4...1,6	1,6...1,9	1,9...2,1
130...160	1,3...1,5	1,5...1,8	1,8...2,0	2,0...2,2
160...200	1,4...1,6	1,6...2,0	1,9...2,1	2,2...2,6

венную экономию металла по сравнению с разрезкой на пилах или с отрезкой на токарных станках (рис. 37). Поэтому при выборе способа получения

заготовки надо прежде всего рассмотреть возможность использования этого способа. Целесообразность применения дозатора при отрезке на ножницах можно ориентировочно оценить по графику (рис. 38).

При организации заготовительного производства целесообразность приобретения сортовых ножниц можно определить расчетом технико-экономической эффективности по методике и нормативам, разработанным ЭНИК-МАШем.

Если нельзя использовать отрезку в штампе или на ножницах, то надо рассмотреть возможность применения холодной ломки. Разрезку на пилах и других отрезных станках

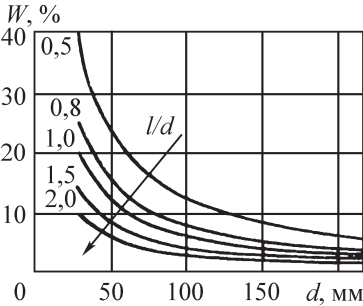


Рис. 37. Отходы W металла при разрезке дисковыми пилами или резами в зависимости от диаметра d прутка и относительной длины l/d заготовки

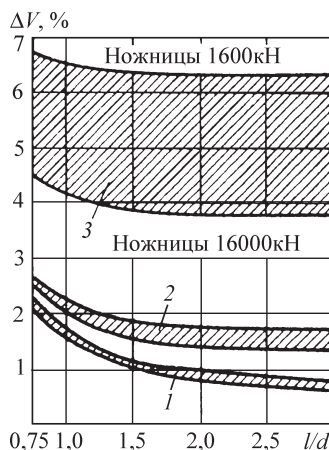


Рис. 38. Погрешность объема ΔV заготовок среднего размера сечения при отрезке на сортовых ножницах силой 1600...16000 кН:
 1 — дозирование взвешиванием первой заготовки; 2 — дозирование взвешиванием прутка; 3 — без дозирования

следует применять в единичном и мелкосерийном производстве, а в серийном и массовом производствах лишь в том случае, если к заготовкам предъявляют очень высокие требования по качеству поверхности реза или при отсутствии необходимого оборудования для резки проката большого сечения.

Для труднообрабатываемых, термически упрочненных металлов приходится применять разрезание абразивными дисками, плазменно-дуговую, анодно-механическую, лазерную резку. Для резки проката сложных профилей, отрезки литников и прибылей применяют ленточные пилы. Рациональные области применения разных способов получения заготовок приведены в табл. 42.

42. Области применения способов резки

Способ резки		Ширина прорези, мм	Область применения
Отрубка		0	Разделение проката в скоростных машинах «МИР»
		2...25	Получение заготовок под ковку и штамповку
Обкатка клиновым инструментом		0	Разделение прутков и труб диаметром до 60 мм из металлов средней и высокой твердости на заготовки длиной более 0,8 диаметра
Ломка холодная		0	Разделение сортового проката из твердых металлов на заготовки длиной более 0,8 диаметра
Отрезка в штампах и на ножницах		0	Отрезка мерных заготовок от сортового проката длиной более 0,6 диаметра.
		0	Отрезка коротких точных заготовок от алюминиевых и медных прутков длиной менее 0,8 диаметра при максимальном диаметре 60 мм
Отрезка кручением		0	Ограниченное применение для резки толстостенных труб из среднеуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей на заготовки длиной более 0,8 диаметра
Разрезка зубчатыми пилами	дисковыми	4...14	Разрезка профилей, проката, труб диаметром до 600 мм на точные заготовки любой длины
	ленточными	0,8...2,2	Разрезка сложных фасонных профилей, отрезка литников и прибылей
	ножовочными	2,5...4	Разрезка проката, профилей, труб в единичном, мелкосерийном и серийном производствах
Разрезка на токарно-отрезных станках		2...10	Разрезка круглого проката и труб диаметром до 120 мм при высоких требованиях к точности заготовок в единичном и мелкосерийном производствах

Окончание табл. 42

Способ разрезки	Ширина прорези, мм	Область применения
Разрезка абразивными кругами	1...2,5	Высокопроизводительная резка проката и труб любого профиля из труднообрабатываемых и закаленных металлов на точные заготовки
Резка фрикционными пилами	4...8	Разрезка труб и фасонного проката при допустимости шероховатой поверхности среза и наплывов на торцах, преимущественно в металлургическом производстве
Резка электромеханической пилой	2...3	Вместо резки фрикционной пилой
Резка электроэрозионная	2...5	Разрезка труднодеформируемых металлов и сплавов
Анодно-механическая резка	0,5...2,0	Разрезка металлов любой твердости и любых форм сечения в тех случаях, когда механическая резка затруднена
Кислородная резка	2,5...10	Зачистка и разрезка низко- и среднеуглеродистых сталей, титановых сплавов при толщине 50...2000 мм в основном в мелкосерийном производстве
Кислородно-флюсовая резка	2,5...10	Разрезка высоколегированных, хромистых, хромоникелевых, вольфрамовых сталей и медных сплавов толщиной до 500 мм
Воздушно-дуговая резка	6...12	Разрезка низкоуглеродистой и низколегированной стали, поверхностная обработка — разделка трещин, зачистка дефектных участков
Плазменно-дуговая резка	4...12	Разрезка труднообрабатываемых сталей, цветных металлов, тугоплавких металлов толщиной до 300 мм
Лазерная резка	0,13...0,38	Разрезка и вырезка заготовок сложного контура из листового труднообрабатываемого металла толщиной до 10 мм с высокой точностью

Глава 5

ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ КОВКИ И ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

1. ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИНТЕРВАЛЫ КОВКИ СТАЛИ

Температурный интервал ковки является одним из основных термомеханических параметров, без знания которого невозможна разработка технологического процесса ковки. Под термином «температурный интервал ковки» подразумевают максимальную температуру нагрева металла в печи и температуру окончания ковки. Температурный интервал ковки имеет верхний и нижний пределы. Для одной и той же стали (сплава) температурные интервалы ковки и штамповки могут иметь разные значения. Объясняется это тем, что ковка проводится за несколько ударов молота или ходов пресса (дробная деформация), а штамповка на механических прессах или на автоматах (кроме молотов), как правило, за один ход. Тепловой эффект деформации и потеря теплоты при ковке и штамповке разные.

Максимальная температура нагрева металла в печи перед ковкой, т.е. верхний предел температурного интервала ковки, не совпадает с температурой начала ковки, а всегда выше последней. Объясняется это тем, что при переносе металла из печи к кузнечному агрегату температура поверхностных слоев нагретого тела снижается из-за потери теплоты излучением в окружающую среду, а также теплопроводностью через инструмент и конвективными потоками. Температура внутренних слоев массивных слитков и заготовок остается на том же уровне, что была в печи. Нижний предел тем-

пературного интервала ковки — это температура поверхности поковки в момент последнего хода пресса или удара молота.

Температурный интервал ковки зависит от химического состава стали (сплава), металлургической технологии, структуры (литая или деформированная), скорости деформирования (молот, пресс), степени деформации (дробная или единичная, частная и суммарная), схемы напряженного состояния (осадка, протяжка, отрубка) и массы поковки.

Чем сложнее химический состав, тем уже температурный интервал ковки. Так, например, у стали 20 температурный интервал ковки 1280...700 °С, т.е. составляет 580 °С, а у сплава ХН35ВТЮ — 1170...900 °С, т.е. только 270 °С. Слитки в зависимости от химического состава в ряде случаев имеют более узкий или более широкий температурный интервал ковки, чем заготовки. Однако возможность перегрева металла с литой структурой исключена, а с деформированной вполне реальна. При ковке на молоте температурный интервал деформирования уже, потеря теплоты на инструмент и окружающую среду меньше, чем на прессе, благодаря менее продолжительному контакту.

Требуемая степень деформации или объем ковочных работ оказывают влияние на максимальную температуру нагрева. Если нагрев ведется для интенсивных обжатий, т.е. для больших деформаций, то максимальная температура нагрева должна быть выше, чем, например, для последнего

прохода или отрубки. Нагрев перед первым выносом должен отличаться от нагрева перед последним, который формирует и предопределяет структуру и механические свойства поковки до термической обработки и после нее. В случае интенсивных обжатий ковку надо заканчивать при более высокой температуре, чем при проглаживании. Схема напряженного состояния также влияет на температурный интервал ковки. Для протяжки, где преобладают растягивающие напряжения, температура нагрева должна быть выше, чем для осадки, где преобладают сжимающие напряжения. Масса поковки влияет на сохранение температуры металла и на тепловой эффект. При ковке крупных поковок тепловой эффект выше, чем при ковке мелких заготовок, так как с увеличением массы металла отношение площади O свободной поверхности к объему V уменьшается. В то же время работа деформации A с увеличением размеров слитка (поковки) растет. Например, для куба длиной ребра a отношение $O/V = 6/a$. Во сколько раз увеличилось a , во столько раз уменьшилось отношение O/V . Уменьшение отношения O/V влечет за собой снижение потерь теплоты через инструмент и излучением в окружающую среду. В то же время благодаря увеличению работы деформации A при ковке крупных поковок тепловыделение внутри поковки за счет теплового эффекта возрастает. Очаг деформации у крупных поковок более удален от контактных и свободной поверхностей, чем у мелких заготовок. Оба фактора — большее тепловыделение и меньшая удельная потеря теплоты — обуславливают у крупных поковок температуру осевой зоны более высокую, чем у мелких заготовок.

Повышение температуры нагрева слитка перед ковкой и снижение тем-

пературы поверхности в конце ковки в сочетании с тепловым эффектом за счет работы деформации повышают градиент температур между поверхностью и осевой зоной. Благодаря этому увеличивается доля сжимающих напряжений, действующих на осевую зону в процессе протяжки.

Повышение температуры нагрева слитка способствует росту пластичности, интенсифицирует диффузионные процессы: гомогенизацию химического состава и структуры, рекристаллизацию и, как следствие, разупрочнение и «залечивание» дефектов. Все это позволяет вести ковку с большими обжатиями за ход пресса, сократить число подогревов, повысить качество поковок и производительность ковки. Понижение температуры конца ковки в ряде случаев действует в этом же направлении.

Учитывая все перечисленное, следует различать *допустимый и рациональный температурные интервалы* ковки. Допустимый интервал является универсальной характеристикой данной стали (сплава) для обработки давлением. Он не зависит от размеров и формы поковки, процесса, операции, оборудования и др. Допустимый температурный интервал ковки устанавливают по результатам исследования на образцах механических свойств (пластичности, сопротивления деформации и упрочнения), а также рекристаллизации (первичной, собирательной и вторичной) металла, подлежащего деформации. *Рациональный интервал* устанавливают на основе допустимого интервала и опыта освоения технологического процесса изготовления конкретной поковки в конкретных условиях данного кузнечного цеха (кузнечно-прессовое оборудование, печь, расстояние от печи до машины, инструмент и т.п.) и последующей термической обработки с учетом требований к металлу поковки по ТУ.

Методика установления допустимого температурного интервалаковки следующая. Из слитка, если требуется установить температурный интервалковки литого металла, в трех взаимно перпендикулярных направлениях (аксиальном, радиальном и тангенциальном) вырезают образцы для механических испытаний из различных зон слитка: столбчатой, равноосной и осевой. Механические испытания проводят на растяжение, кручение и ударный изгиб при 20...1300 °С. Столь широкий диапазон температур вызван необходимостью выявить зоны пониженной пластичности или хрупкости и учесть их при назначении режимов нагрева и охлаждения.

По зависимости показателей пластичности δ , ψ , γ , прочности $\sigma_{0,2}$, σ_B , $\tau_{0,2}$, τ_B , ударной вязкости КСУ и ковкости K_ψ от температуры строят *диаграммы пластичности*. По ним находят область температур наиболее высокой пластичности и наиболее низкого сопротивления деформации. С учетом необходимости создания резерва температуры (на ошибку пирометрии, существующий неуправляемый перепад температур по высоте, длине и ширине печи др.) устанавливают допустимый температурный интервалковки. Это температуры, при которых металл имеет наиболее высокие значения пластичности, ударной вязкости и наиболее низкие значения прочности. По кривым прочности устанавливают температуру резкого падения прочностных характеристик, т.е. температуру начала разупрочнения.

Склонность металла к рекристаллизации, и в частности к образованию крупного зерна и грубой разнотерности, выявляют путем построения диаграмм рекристаллизации III рода, на которых отражают размеры зерен и особенности микроструктуры в состояниях после деформации, а также после стан-

дартной для данного сплава термической обработки. По диаграмме рекристаллизации III рода выбирают температурную зону деформации, при которой после термической обработки прошла первичная или собирательная рекристаллизация, и структура состоит из однородных без разнотерности зерен требуемого номера. Таким образом, по диаграммам пластичности и рекристаллизации устанавливают допустимый температурный интервалковки.

Особое значение имеет установление температуры нагрева перед последним (или последними) выносом при ковке крупных поковок. Когда деформация невелика, производится проглаживание, правка, отрубка и т.п. Известно, что после нагрева в печи крупных заготовок температура внутренних слоев не успевает снизиться за время переноса из печи к прессу, а также в процессе самойковки. В этом случае высокая температура нагрева, способная вызвать образование очень крупных зерен в сочетании с критическими степенями деформации, может привести к нежелательной структуре как микро, так и макро. Поэтому для обеспечения требуемого размера зерна и свойств металла температура нагрева для последних выносов должна быть ниже, чем для первых.

При разработке технологического процесса и освоенииковки конкретнойковки из заданной стали по *допустимому температурному интервалуковки устанавливают рациональный температурный интервалковки*. Эти два параметра могут различаться между собой. Рациональный учитывает и отражает конкретные условия данного кузнечно-го цеха, форму и размеры даннойковки, принятый технологический процесс, режим дальнейшей термической обработки и требования ТУ на поковку.

В табл. 1 приведены допустимые температурные интервалыковки слитков и заготовок из сталей и сплавов.

1. Температурные интервалы ковки сталей и сплавов, °С

Сталь (сплав)	Максимальная температура нагрева металла перед ковкой		Минимальная температура окончания ковки			
			Интенсивное обжатие		Проглаживание	
	Слиток	Заготовка	Слиток	Заготовка	Слиток	Заготовка
Ст0	1280	1300	750	700	700	700
Ст2сп, Ст2пс, Ст2кп, Ст3сп, Ст3пс, Ст3кп	1280	1300	750	750	700	700
Ст5сп, Ст5пс	1260	1260	750	750	700	700
Ст6сп, Ст6пс	1250	1250	780	780	700	700
10, 10кп, 15, 15кп	1280	1300	750	700	700	700
20, 25, 30, 35	1280	1280	750	750	700	700
40	1250	1250	780	800	700	700
45	1250	1250	780	750	700	700
50	1250	1250	800	800	700	700
55	1240	1240	800	800	730	730
60	1220	1220	800	800	700	700
15Х, 20Х, 15К, 20К, 22К	1260	1260	800	750	700	700
35Х, 40Х	1250	1250	800	800	700	700
45Х, 50Х	1220	1250	800	780	700	760
20Г	1260	1260	800	750	700	700
30Г, 40Г	1220	1250	800	800	750	760
50Г	1220	1250	800	780	750	760
10Г2	1200	1250	750	800	750	780
45Г2	1200	1200	800	800	750	750
50Г2	1200	1200	830	800	760	750
65Г	1200	1250	800	780	750	760
20ХН	1200	1250	850	860	780	800
40ХН	1220	1250	800	860	700	800
45ХН	1220	1200	800	800	750	700
50ХН, 60ХН	1220	1200	800	800	700	700
12ХН2	1230	1250	820	860	760	800
12ХН3А, 20ХН3А, 30ХН3А	1220	1220	800	800	750	750
12Х2Н4А	1220	1200	850	800	850	750
20Х2Н4А	1200	1200	800	800	700	700
38ХС	1200	1200	800	800	700	700
15ХМ	1260	1260	800	750	700	700

Продолжение табл. 1

Сталь (сплав)	Максимальная температура нагрева металла перед ковкой		Минимальная температура окончанияковки			
			Интенсивное обжатие		Проглаживание	
	Слиток	Заготовка	Слиток	Заготовка	Слиток	Заготовка
20ХМ	1220	1220	800	800	700	700
30ХМ, 30ХМА	1220	1260	800	800	700	760
34Х1МА	1240	1220	800	800	700	700
35ХМ	1220	1260	800	800	700	760
75ХМ	1220	1200	800	800	700	700
40ХФА	1220	1250	800	860	750	800
50ХФА	1200	1180	800	800	800	800
12Х1МФ, 20Х3МВФ	1240	1240	800	780	700	700
25Х1МФ	1220	1180	850	850	850	850
15Х5М (Х5М)	1200	1200	800	800	750	750
36Х2Н2МФА	1180	1240	780	780	700	700
38ХН3МФА	1180	1180	780	780	780	780
18ХГТ	1220	1200	800	800	750	700
30ХГС, 30ХГСА	1240	1240	800	800	700	700
35ХГСА	1200	1250	800	860	700	800
38ХГН	1200	1200	800	800	700	700
34ХН3МА, 34ХН1М, 34ХН3М	1240	1240	800	780	700	700
38Х2Н2МА, 40Х2Н2МА, 18Х2Н4МА	1200	1200	800	800	700	700
40Х2Н2МА	1220	1220	800	800	750	750
45ХНМ	1220	1200	800	800	700	700
60ХГ	1220	1220	800	800	750	750
40Х13	1200	1200	850	850	800	800
14Х17Н2	1250	1230	900	900	800	800
12Х17	1220	1250	900	900	800	800
08Х17Т	1220	1220	900	900	800	800
15Х25Т	1160	1160	800	800	800	800
08Х22Н6Т	1200	1180	800	800	800	800
12Х21Н5Т	1180	1180	800	800	800	800
P18	1200	1200	850	850	850	850
55С2, 60С2, 60С2А	1200	1200	800	800	700	700
ШХ15, ШХ15СГ	1150	1150	800	800	720	720

Продолжение табл. 1

Сталь (сплав)	Максимальная температура нагрева металла перед ковкой		Минимальная температура окончанияковки			
			Интенсивное обжатие		Проглаживание	
	Слиток	Заготовка	Слиток	Заготовка	Слиток	Заготовка
9Х1, 9Х2, 9ХФ, 9Х2МФ	1180	1180	800	800	750	750
90ХМФ	1180	1180	800	800	760	760
9ХС	1180	1180	800	800	800	800
95Х18	1180	1180	850	850	850	850
У7, У7А	1150	1180	800	800	700	750
У8, У8А, У10, У10А	1150	1180	800	800	720	750
У12, У12А	1150	1160	800	800	700	700
Х12М	1170	1170	850	850	800	800
Х12Ф1	1160	1160	850	850	850	850
ХВГ	1150	1180	800	800	750	750
7Х3	1180	1180	800	800	800	750
5ХГМ	1200	1200	800	800	700	700
5ХНМ	1240	1240	800	800	700	700
4Х2В2МФС	1220	1220	850	850	850	850
6Х6В3МФС, 8Х4В3М3Ф2	1180	1180	800	800	800	800
08Х13	1220	1200	850	850	850	850
12Х13	1230	1230	850	850	800	800
20Х13, 30Х13, 13Х11Н2В2МФ	1250	1250	850	850	750	750
10Х14Г14Н4Т	1160	1160	800	800	800	800
12Х17Г9АН4	1170	1170	900	900	900	900
10Х17Н13М2Т, 08Х15Н24В4ТР	1180	1180	850	850	850	850
10Х17Н13М3Т, 09Х14Н19В2БР1, 45Х14Н14В2М	1160	1160	850	850	850	850
12Х18Н9, 17Х18Н9, 12Х18Н12Т	1200	1200	850	850	800	800
12Х18Н9Т, 08Х18Н10, 12Х18Н10Т	1200	1200	850	850	850	850
08Х18Н10Т	1180	1220	900	950	850	900
40Х9С2, 36Х18Н25С2, 18Х12ВМБФР	1200	1200	850	850	850	850
15Х12ВНМФ, 20Х12ВНМФ	1230	1230	900	900	850	850
18Х11МНФБ	1200	1180	800	800	800	800
37Х12Н8Г8МФБ	1170	1220	850	950	800	900
09Х14Н19В2БР	1180	1160	800	800	800	800
08Х16Н13М2Б	1220	1220	880	880	850	850

Окончание табл. 1

Сталь (сплав)	Максимальная температура нагрева металла перед ковкой		Минимальная температура окончанияковки			
			Интенсивное обжатие		Проглаживание	
	Слиток	Заготовка	Слиток	Заготовка	Слиток	Заготовка
31X19H9МВБТ	1230	1230	900	900	850	850
20Х20Н14С2, 20Х25Н20С2	1170	1170	850	850	800	800
20Х23Н13, 20Х23Н18	1220	1220	900	900	800	800
ХН35ВТ	1170	1170	850	850	850	850
ХН35ВТЮ	1110	1110	900	900	900	900
ХН78Т	1220	1220	850	850	850	850
ХН67ВМТЮ	1180	1180	950	950	950	950
ХН77ТЮР, ХН80ТБЮ, ХН70ВМЮТ	1180	1180	900	900	900	900
ХН70ВМТЮ	1170	1180	950	950	950	950
ХН65ВМТЮ	1180	1180	950	950	950	950
ХН75ВМЮ	1180	1180	1040	1040	1040	1040

При пользовании таблицей необходимо учитывать, что указанные пределы являются рекомендуемыми и могут быть откорректированы в зависимости от назначения и требований, предъявляемых к выпускаемым поковкам, и возможностей оборудования. Температурные интервалыковки составлены в результате обобщения, систематизации и методической обработки заводских инструкций и нормалей по нагреву слитков и заготовок перед ковкой. Следует иметь в виду, что использование на других заводах рекомендуемых параметров и назначение рациональных температур нагрева и концаковки возможны только после предварительного опробования их и корректировки с учетом местных условий: металлургической технологии, объема ковочных работ, размеров поковок, величины садки, состояния печного оборудования, пирометрии и др.

Зная максимальную температуру нагрева металла перед ковкой и учи-

тывая специфику конкретной печи, можно установить максимальную температуру ее нагрева. Для этого необходимо экспериментально выявить для конкретных печей существующие перепады температур и разность между показаниями печных термопар и температурой металла.

2. ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИНТЕРВАЛЫ КОВКИ И ШТАМПОВКИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Алюминиевые сплавы

Температурные интервалыковки и штамповки определяют по диаграммам пластичности, кривым течения, диаграммам сопротивления деформации, состояния и рекристаллизации. Высокие механические свойства и меньшая анизотропия свойств получаются при суммарной деформации сплавов 65... 75 %. Поэтому в случае передела слит-

2. Температураковки и штамповки алюминиевых сплавов

Марка сплава	Температура, °С	
	началаковки	концаковки
АМц, АМг	510	380
Д1, Д1П	500	380
Д6, Д16, Д16П	460	380
АК2	500	380
АК4	500	350
АК4-1, АК	475	380

ков на заготовки суммарная степень деформации должна быть минимальной. По диаграммам рекристаллизации необходимо учитывать критическую степень деформации. Поэтому ковку и штамповку проводят при больших обжатиях, исключающих рекристаллизацию сплавов с образованием крупного зерна. Допустимую степень деформации за основной ход машины определяют по диаграммам пластичности. При увеличении скорости деформации технологическая пластичность алюминиевых сплавов, за исключением высоколегированных, почти не понижается. При переходе от статических к динамическим испытаниям сопротивление деформации сплавов значительно возрастает.

Алюминиевые сплавы обрабатывают ковкой и штамповкой практически при любых скоростях деформации.

Температурные интервалыковки и штамповки алюминиевых сплавов см. в табл. 2.

Магниеые сплавы

Деформируемые магниевые сплавы наиболее широкое применение находят в виде штампованных заготовок. При штамповке магниевых сплавов применяют главным образом прессованные заготовки в виде прутков. Из сплавов МА2 и МА8 можно штамповать детали простой конфигурации из литой заготовки. При штамповке крупных деталей следует учитывать более высокий по

сравнению со сталями и алюминиевыми сплавами температурный коэффициент линейного расширения магниевых сплавов, а также их чувствительность к резким переходам. Типичным для магниевых сплавов является то, что физико-механические свойства в различных направлениях неодинаковы: например, прочность листов из сплава МА8 так же, как из алюминиевых сплавов, выше вдоль волокна, чем поперек. Прочность листов из сплава МА1, наоборот, выше в поперечном и ниже в продольном направлении волокна.

Пластичность магниевых сплавов значительно зависит от температуры. Высокая температура окончания деформирования позволяет использовать запас пластичности, но при этом образуется более крупнокристаллическая структура, что снижает уровень механических свойств и уменьшает анизотропию материала.

Учитывая невысокий запас технологической пластичности большинства магниевых сплавов, ковку и штамповку их рекомендуется производить в гидравлических и кривошипных прессах при пониженной скорости деформации.

Режимыковки магниевых сплавов и допустимые степени деформации приведены в табл. 3; температурыштамповки на штамповочных молотах и ковочных прессах — в табл. 4, температурыштамповки на гидравлических прессах — в табл. 5.

3. Режимы ковки магниевых сплавов на молотах и прессах

Сплав	Молот		Пресс		Максимально допустимая степень деформации, %		Допустимая степень де- формации, %
	Температура ковки, °С						
	Начало	Окончание	Начало	Окончание	Молот	Пресс	
MA1, MA2	430	340	420	300	60	80	25
MA3	370	320	370	300	50	70	15
MA5	400	300	390	280	35	60	—

4. Температура штамповки магниевых сплавов, °С

Сплав	Штамповка на кривошипных горячештамповочных прессах		Нагартровка на штамповочных молотах	
	Начало	Окончание	Начало	Окончание
MA1	430	300	250	230
MA2	420	350		
MA3	370	340	280	250
MA5	370	320	—	—

5. Температура штамповки магниевых сплавов на гидравлических прессах, °С

Сплав	Штамповка		Нагартровка	
	Начало	Окончание	Начало	Окончание
MA1, MA2	420	300	250	230
MA3, MA5	400	350	280	250

Медные сплавы

Наибольшей пластичностью медь обладает в интервале температур 800...900 °С. При этих температурах медь хорошо поддается ковке, горячей штамповке и прессованию. Установлены оптимальные интервалы температур ковки и штамповки: для меди 820...860 °С, латуни Л60 730...820 °С, латуни Л63 750...850 °С, латуни Л68 650...830 °С. Допустимый интервал температур деформации бронзы БрАЖ9-4 находится в пределах 800...900 °С, а ее наиболее высокая пластичность достигается при температуре 850 °С. Учитывая интенсивное охлаждение бронзы при деформации, ковку проводят при температуре 850 °С, а горячую штамповку при 900 °С. По диаграммам рекристаллизации и пла-

стичности штамповку меди и медных сплавов следует производить с обжатиями, превышающими 15 % за каждый ход машины. При штамповке меди и медных сплавов учитывают возрастание сопротивления деформации при обработке закрытыми методами, а также увеличение скорости обработки. Температуры горячего деформирования медных сплавов приведены в табл. 6.

Титановые сплавы

Для получения однородной структуры и механических свойств титановые сплавы обрабатывают с большой суммарной деформацией, что значительно снижает анизотропию металла. На анизотропию свойств также оказывает значительное влияние чистота сплавов (насыщение газами, вредными примеся-

6. Температурные интервалыковки и штамповки медных сплавов, °С

Марка сплава	Температура, °С	
	началаковки	концаковки
М (техническая медь)	1000	800
Латуни		
Л90	900	700
Л70, Л68	800	650
Л62, ЛАН 59-3-2	800	600
ЛМц 58-2	750	550
ЛО 62-1, АС 59-1	800	650
ЛС 64-2	850	700
Бронзы		
Бр. ОФ 6,5-0,15	900	780
Бр. Оц 4-3	920	800
Бр. АМц 9-2	950	850
Бр. АЖ 9-4	900	700
Бр. АЖМц 10-3-1,5	900	750
Бр. АЖН 10-4-4	900	800
Бр. КМц 3-1	770	600
Бр. Мц 5	850	750
Бр. Б2	750	650
Бр. КН 1-3	950	800

ми). Установлено, например, что при суммарной деформации 75...80 % и температурековки 800...1000 °С анизотропия механических свойств титана ВТ1-0 получается наименьшей. Достаточная по величине суммарная деформация обеспечивает увеличение временного сопротивления и пределов текучести, характеристик и пластичности и однородную структуру. Исходя из диаграмм пластичности и рекристаллизации установлено, что деформация за каждый ход машины при ковке и штамповке должна превышать критические значения, т.е. 15...20 % и более, но не выше 85 %.

Из диаграммы рекристаллизации титанового сплава ВТ3-1 (см. рис. 23, гл. 1) следует, что с повышением температурыковки и штамповки интервал

критических деформаций расширяется и максимумы критических деформаций увеличиваются. Таким образом, высокие температуры приводят к увеличению зерна в поковках и штамповках, что понижает их механические свойства. Поэтому на практике температура началаковки и штамповки двухфазных сплавов не превышает 920...980 °С. При разработке технологических процессовковки и штамповки учитывают степень развития процесса рекристаллизации обработки, охлаждение после деформации и термической обработки, что определяет пластичность, макро- и микроструктуру и механические свойства деформируемых титановых сплавов.

Пластичность, структура и механические свойства титановых сплавов, как

7. Температура ковки и штамповки титановых сплавов, °С

Сплав	Слиток		Предварительно деформированная заготовка	
	Начало (не более)	Окончание (не менее)	Начало (не более)	Окончание (не менее)
ОТ4-I	1000	800	950	700
ОТ4	1020	820	1000	800
ОТ4 ВТ3-1	1050	850	1000	850
ВТ5	1150	900	1080	800
ВТ5-1	1100		1050	
ВТ6	1050	850	980	850
ВТ9	1150	900	1020	
ВТ14	1050	850	950	
ВТ16	1000	750	900	700

и многих других, при ковке и штамповке определяются температурно-скоростными условиями обработки и степенью деформации. Например, при ковке и штамповке молотом рекристаллизация не успевает завершиться, что снижает пластичность. Понижения скорости деформирования достигают применением прессов вместо молотов, что оказывает положительное влияние на структуру и пластичность металла.

Штамповку титановых сплавов обычно производят на гидравлических и кривошипных прессах при температуре не выше 950...980 °С. Температурный интервалковки и штамповки титановых сплавов приведен в табл. 7.

3. НАГРЕВ СТАЛИ ПОД КОВКУ И ОБЪЕМНУЮ ШТАМПОВКУ

При нагреве стальных слитков и заготовок под ковку и штамповку должны быть обеспечены требуемая температура, равномерное распределение температуры по поверхности и по сечению, минимальное окисление и обезуглероживание поверхности, сохранение целостности нагреваемого материала, т.е. отсутствие микро- и макротрещин. Раз-

личают технически возможную и допустимую скорость нагрева. Технически возможная скорость нагрева зависит в основном от разности температуры печи и конечной температуры нагрева поверхности заготовки или слитка. С такой скоростью можно нагреватькатанные и кованые заготовки диаметром или стороной квадрата до 200 мм. Продолжительность нагрева таких заготовок из углеродистой конструкционной стали при одиночном расположении их в печи приведена в табл. 8.

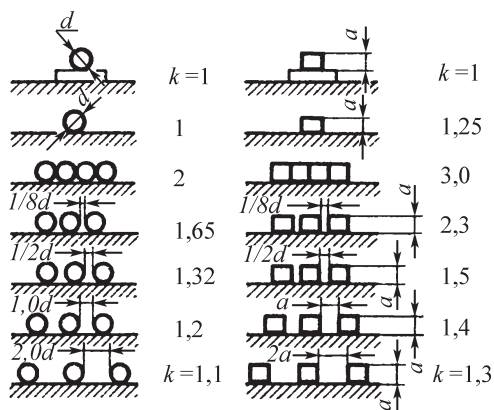


Рис. 1. Значения коэффициента K , учитывающего влияние взаимного расположения заготовок на поду печи во время нагрева

8. Продолжительность, мин, нагрева кованых и катаных заготовок из углеродистой конструкционной стали при одиночном расположении в печи (данные ЦНИИТМАШа)

Диаметр или сто- рона квад- рата, мм	Температура рабочего пространства, °С											
	1200				1300				1400			
	Конечная температура нагрева заготовки, °С, не более											
	1100		1150		1200		1250		1200		1250	
	Профиль заготовки											
	круглый	квадратный	круглый	квадратный	круглый	квадратный	круглый	квадратный	круглый	квадратный	круглый	квадратный
10	2,5	3,0	3,0	3,5	2,0	2,5	2,0	3,0	1,0	1,5	1,0	1,5
20	4,5	5,5	6,0	7,5	3,0	4,5	4,0	5,0	1,5	2,0	1,5	2,0
30	7,0	9,0	8,5	11,0	5,0	6,0	6,0	8,0	2,5	3,0	2,5	3,0
40	10,0	13,0	11,5	14,5	6,5	8,0	8,0	10,5	3,5	4,5	3,5	4,5
50	12,5	16,0	15,0	19,5	8,0	10,5	10,5	13,5	4,5	5,5	4,5	5,5
60	15,0	19,5	18,0	23,0	10,0	13,0	12,5	16,0	5,0	6,5	5,5	7,0
70	17,0	22,5	21,0	27,0	12,0	15,0	14,5	19,0	6,0	7,5	6,5	8,0
80	20,5	26,5	24,5	31,5	14,0	17,5	16,5	22,0	7,0	9,0	7,5	9,5
90	23,5	30,5	27,5	35,5	16,0	20,0	19,0	24,5	8,0	10,5	8,5	11,0
100	26,0	33,5	31,0	40,0	18,0	23,0	21,0	27,5	9,0	11,5	10,5	13,0
110	29,5	38,0	35,0	45,5	20,0	26,0	23,5	30,5	10,5	13,5	11,5	15,0
120	32,5	41,5	38,5	50,0	22,5	29,5	26,0	33,5	12,0	15,0	13,0	17,0
130	36,0	46,5	42,5	55,0	25,0	32,5	29,0	38,0	13,0	16,5	14,0	18,0
140	39,0	50,5	46,0	59,5	27,5	36,0	32,0	41,5	14,0	18,0	15,5	19,5
150	42,5	55,0	50,0	65,0	30,0	32,0	35,0	45,5	15,5	20,0	17,0	22,0
160	46,0	59,9	54,5	71,0	33,0	43,0	38,5	50,5	16,5	21,5	18,0	23,5
170	50,0	64,5	58,5	76,0	36,0	47,0	42,0	54,5	18,0	23,0	19,5	25,0
180	54,0	70,0	63,0	81,5	39,5	51,5	46,0	59,5	19,5	25,0	21,0	27,0
190	58,0	75,0	68,0	88,0	42,5	55,5	49,5	64,0	21,0	27,0	23,0	29,5
200	62,5	81,0	72,5	94,0	46,0	60,0	53,5	69,0	22,5	29,0	24,5	32,0

Примечания: 1. Различное расположение заготовок на поду учитывается коэффициентами, приведенными на рис. 1.

2. Для инструментальной углеродистой и среднелегированной стали продолжительность нагрева увеличивается на 25...30 %, для высоколегированных сталей — на 30...50 %.

3. Для учета влияния длины заготовки продолжительность нагрева умножают на коэффициент K в зависимости от отношения длины l заготовки к размеру сечения d (или a):

$\frac{l}{d} \left(\frac{l}{a} \right)$, не менее	3	2	1,5	1
K	1	0,98	0,92	0,71

9. Продолжительность, мин, нагрева от 700...750 °С до 1200...1250 °С кузнечных заготовок из конструкционной углеродистой и низколегированной стали при температуре рабочего пространства 1300...1350 °С

Диаметр или сто- рона квад- рата, мм	Профиль заготовки							
	круглый				квадратный			
	Расположение заготовок на поду печи							
	одинач- ное	на рас- стоянии d	на расстоя- нии $d/2$	вплотную	одинач- ное	на рас- стоянии a	на расстоя- нии $a/2$	вплотную
10	1,0	1,2	1,3	2,0	1,5	2,0	2,2	4,5
20	2,0	2,4	2,6	4,0	3,0	4,0	4,5	9,0
30	3,0	3,6	4,0	6,0	4,0	5,5	6,0	12,0
40	4,0	4,8	5,2	8,0	5,0	7,0	7,5	15,0
50	5,0	6,0	6,0	10,0	6,5	9,0	10,0	20,0
60	6,0	7,0	8,0	12,0	8,0	11,0	12,0	24,0
70	7,5	9,0	10,0	15,0	10,0	14,0	15,0	30,0
80	9,0	10,5	12,0	18,0	12,0	16,5	18,0	36,0
90	11,0	13,0	14,5	22,0	14,0	19,5	21,0	42,0
100	13,0	15,5	17,0	26,0	17,0	23,0	25,5	51,0
110	14,5	17,4	19,5	29,0	19,0	26,5	29,0	57,0
120	16,5	19,8	22,0	33,0	21,5	30,0	33,0	63,0
140	20,0	24,0	26,0	40,0	26,0	36,5	40,0	78,0
160	24,0	29,0	32,0	48,0	31,0	43,5	48,0	95,0
180	28,5	34,0	38,0	57,0	37,0	52,0	57,0	112,0
200	33,5	40,0	44,0	67,0	43,0	60,0	66,0	132,0

Примечания: 1. Для заготовок высоколегированных и инструментальных сталей продолжительность нагрева увеличивается на 25...30 %.

2. Продолжительность нагрева до 700...750 °С может быть определена при одиночном расположении заготовок по формулам для сталей:

углеродистой конструкционной и низколегированной

$$\tau_{\text{нагр}} = 0,3d^{1,5} \text{ и } \tau_{\text{нагр}} = 0,4a^{1,5};$$

высоколегированной и инструментальной

$$\tau_{\text{нагр}} = 0,8d^{1,5} \text{ и } \tau_{\text{нагр}} = 1,0a^{1,5}, \text{ где } d \text{ и } a \text{ — в см.}$$

В табл. 9 приведена продолжительность нагрева заготовок от 700 до 1250 °С в печи с температурой 1300...1350 °С. Здесь же даны формулы для определения продолжительности нагрева до 700...750°.

В связи с успешной разработкой в последнее время специализированных

газопламенных скоростных печных агрегатов струйные методы нагрева с температурным напором 300 °С и выше все чаще применяют в производстве кованых и штампованных изделий из стали и цветных сплавов. Нагрев сплавов, например, ведется при температурах печных атмосфер 1500 °С и выше за

10. Продолжительность, ч, нагрева холодных стальных заготовок до ковочной температуры в пламенных печах

Размер сечения, мм	Температура печи при посадке, °С	Выдержка при температуре посадки	Нагрев до температурыковки	Выдержка при температурековки	Общая
Низкоуглеродистые и низколегированные					
201...250	1250	—	1,0	0,5	1,5
		0,5	2,0	1,0	3,5
251...300	1250	—	1,5	0,5	2,0
		0,5	2,5	1,0	4,0
301...350	1250	—	2,0	0,7	2,7
		1,0	3,5	1,5	6,0
Среднеуглеродистые и легированные					
201...250	1150	0,5	1,5	0,5	2,5
		1,0	3,0	1,0	5,0
251...300	1150	0,5	2,0	0,5	3,0
		1,0	3,5	1,5	6,0
301...350	1150	0,5	2,5	0,5	3,5
		1,0	4,0	2,0	7,0
Высокоуглеродистые, высоколегированные, жаропрочные					
201...250	700	0,5	2,5	0,5	3,5
		1,0	5,0	1,0	7,0
251...300	700	0,5	3,0	0,5	4,0
		1,0	5,0	2,0	8,0
301...350	700	0,5	3,0	1,0	4,5
		1,0	5,0	3,0	9,0

Примечание. В числителе — продолжительность нагрева одной заготовки, в знаменателе — при полной загрузке печи.

счет увеличения теплоотдачи конвекцией при поперечном обтекании высокотемпературными (до 1900 °С) струями газов, направленных на металл из специальных скоростных горелок со скоростями до 200 м/с. В этих условиях технически возможные скорости позволяют сократить время нагрева, указанное в табл. 8 и 9, до 3—4 раз.

Нагрев заготовок с размером сечения (диаметр или сторона квадрата) более 200 мм приходится вести не с технически возможной, а с допустимой скоростью, которая обусловлена термическими напряжениями и механи-

ческими свойствами (пластичностью) нагреваемого металла.

При применении скоростного нагрева также появляется необходимость ограничивать скорость до допустимой, зависящей от термостойкости сплавов. Так, например, для заготовок из сталей ХВГ, ШХ15, Р6М5 диаметром 95 мм допустимая скорость нагрева составляет соответственно 300, 240, 210 °С/мин.

В табл. 10 приведены режимы нагрева заготовок с размером сечения 200...350 мм. При определении продолжительности нагрева (ч) заготовок и слитков небольшого сечения (диаметр

или сторона квадрата 300...350 мм) в методических и полуметодических печах можно пользоваться приближенной формулой

$$\tau_{\text{нагр}} = Kd,$$

где d — диаметр или меньшая сторона сечения нагреваемого тела; коэффициент $K = 0,1...0,15$ для углеродистых и низколегированных сталей; $K = 0,15...0,2$ для легированных сталей; $K = 0,3...0,4$ для высоколегированных и инструментальных сталей.

Время нагрева средне- и высокоуглеродистых сталей подразделяют на три периода. Первый период — возникновение температурных напряжений; второй период — форсированный нагрев, когда металл перешел в пластичное состояние, и третий период — выдержка, т.е. выравнивание температур по сечению слитка. Схема такого режима приведена на рис. 2.

Допустимый перепад температур в первом периоде:

для пластины

$$\Delta t_{\text{доп}} = \frac{1,05\sigma_{\text{доп}}}{\alpha E};$$

для цилиндра

$$\Delta t_{\text{доп}} = \frac{1,9\sigma_{\text{доп}}}{\alpha E},$$

где $\sigma_{\text{доп}}$ — допустимое напряжение, берут с запасом прочности $\sigma_{\text{в}}/(1,5...2,0)$ при 500...550 °С; α — температурный коэффициент линейного расширения; E — модуль упругости при $t = 500$ °С.

Продолжительность первого периода

$$\tau_1 = \frac{K_{\text{ф}} s^2}{a_1 \Delta t_{\text{доп}}} [t + (1-r)\Delta t_{\text{доп}} - t'_{\text{мет}}],$$

где $K_{\text{ф}}$ — коэффициент формы, $K_{\text{ф}} = 0,5$ — для пластины; $K_{\text{ф}} = 0,25$ — для цилиндра; $K_{\text{ф}} = 0,295$ — для квадрата; s — половина толщины пластины или радиус

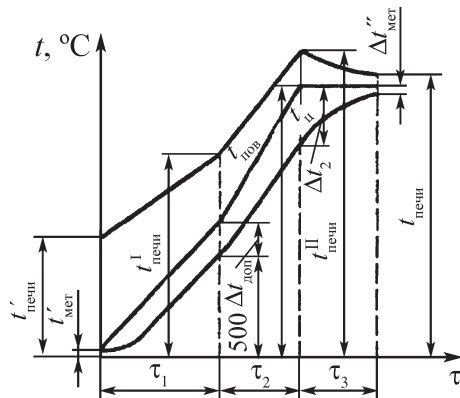


Рис. 2. Схема трехступенчатого режима нагрева слитка углеродистой стали; температура в печи в конце I и II периодов:

$t'_{\text{печи}}$, $t'_{\text{печи}}$, $t'_{\text{пов}}$ — поверхности слитка; $t'_{\text{ц}}$ — в центре слитка; $t'_{\text{печи}}$, $t'_{\text{мет}}$ — начальная температура печи и металла

цилиндра, равномерно обогреваемых со всех сторон; a_1 — температуропроводность металла при средней температуре в первом периоде; r — поправочный коэффициент, равный 0,5 для цилиндра и 0,33 для пластины; $t'_{\text{мет}}$ — начальная температура нагреваемого металла.

Перепад температур в конце второго периода

$$\Delta t_2 = (1,25...1,5)\Delta t_{\text{доп}}.$$

Продолжительность второго периода

$$\tau_2 = \frac{K_{\text{ф}} s^2}{a_2 \Delta t_2} [t''_{\text{пов}} - r\Delta t_2 - t - (1-r)\Delta t_{\text{доп}}].$$

Продолжительность третьего периода: для пластины

$$\tau_3 = \frac{s^2}{2,47a_3} \ln 1,03 \frac{\Delta t_2}{\Delta t''};$$

для цилиндра радиусом сечения R

$$\tau_3 = \frac{R^2}{5,78a_3} \ln 1,11 \frac{\Delta t_2}{\Delta t''},$$

здесь $\Delta t''$ — конечная разность температур между поверхностью и центром,

$\Delta t'' = 25...70^\circ\text{C}$ при нагреве под ковку и штамповку; $\Delta t''' = 5...20^\circ\text{C}$ при нагреве под термообработку; a_2 и a_3 — значения температуропроводности при средней температуре металла во втором и третьем периодах.

Общее время нагрева

$$\tau_{\text{общ}} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3.$$

Наиболее эффективным способом борьбы с температурными, структурными и остаточными напряжениями является нагрев слитков до $750...850^\circ\text{C}$, не остывших полностью после отливки, или предварительный нагрев их до этих температур в специальных печах.

Слитки по начальному состоянию делят на четыре группы:

1) «горячие» слитки и заготовки, поступающие на повторные нагревы ($T_{\text{пов}} = 700...800^\circ\text{C}$; $T_{\text{ц}} = 900...1100^\circ\text{C}$; $T_{\text{ср}} \geq 800^\circ\text{C}$);

2) «теплые» слитки и заготовки ($T_{\text{пов}} = 450...750^\circ\text{C}$; $T_{\text{ц}} = 800...950^\circ\text{C}$; $T_{\text{ср}} = 600...800^\circ\text{C}$);

3) «захоженные» слитки $T_{\text{ср}} = 300...600^\circ\text{C}$;

4) «холодные» слитки $T_{\text{ср}} \leq 300^\circ\text{C}$.

По размеру (диаметру) и массе слитки делят на семь групп ($d = 395...2250$ мм; $m = 2,5...200$ т).

По маркам стали «горячие» и «теплые» слитки не подразделяют, «захоженные» и «холодные» слитки по маркам делят на три группы:

M1 — углеродистые и низколегированные;

M2 — легированные и высоколегированные;

M3 — коррозионно-стойкие, жаропрочные и высокоуглеродистые.

Слитки помещают в печь для горячей консервации и нагревают до $700...750^\circ\text{C}$, после чего переносят в нагревательную печь и нагревают по режиму «теплых» или «горячих» слитков. Нормы времени и режима нагрева «горячих», «теплых», «холодных» и «захоженных» слитков приведены в табл. 11–13. Они действительны для случая, когда на поду печи по ширине лежит один слиток. В случае загрузки на поду рядом нескольких слитков с расстоянием между ними меньше $0,5d$ или при загрузке слитков в два ряда по высоте вводят коэффициенты, приведенные в табл. 14.

В табл. 15 приведены продолжительность и режим нагрева под ковку заготовок и слитков из быстрорежущих сталей P9, P18 и др.

11. Режимы * нагрева «горячих» и «теплых» слитков ** (заготовок) из сталей всех марок и групп

Параметр	Масса, т						
	—	3,2...6,5	7,5...12,3	11,6...24,6	23,15...49	44...83,3	78,9...200
	Средний диаметр, мм						
	305...510	515...755	760...930	935...1200	1225...1500	1555...1820	1825...2250
Выдержка при температурековки, ч	0,5...2	1...2,5	2...4,5	3...6,5	4...7,5	5...10	7...12,5
	1...2,5	2...3,5	3...5,5	4...7	5...9	7...12	9...15
Ориентировочнаяобщая продолжительностьнагрева, ч	1,5...2,5	2,5...3,5	3,5...5	5,5...7	7...8,5	9...11	11,5...14
	2...3	3,5...4,5	5...6,5	7...8,5	9...11	12...14,5	15...18

* Максимальная температура печи при посадке и скорость нагрева до температурыковки не ограничиваются.

** В числителе приведены значения для «горячих» слитков, в знаменателе — для «теплых».

12. Режимы* горячей консервации «захожденных» слитков (температура консервации в печи 800±30 °С)

Сталь	Параметр	Масса, т						
		—	3,6...6,5	7,5... 12,3	11,6... 24,6	23,15... 49,0	44...83	79...200
		Средний диаметр, мм						
		305... 510	515... 755	760... 930	935... 1200	1225... 1500	1555... 1820	1825... 2250
Группа М1 — углеродистая и низколегированная	Максимальная температура печи при посадке, °С	1100±30		1100±30		800±30		
	Минимальная продолжительность подогрева при температуре кожежа, ч	1,5	2,5	3,5	4,5	6,0	8,0	12,0
Группа М2 — легированная и высоколегированная	Максимальная температура печи при посадке, °С	800±30						
	Минимальная продолжительность нагрева при температуре кожежа, ч	2,0	3,5	4,5	6,5	9,0	12,0	17,0
Группа М3 — жаропрочная и высокоуглеродистая	Максимальная температура печи при посадке, °С	800±30						
	Минимальная продолжительность подогрева до температуры кожежа, ч	3,5	4,5	5,5	8,0	11,0	14,0	19,0

* Скорость нагрева садки до температуры кожежа всех сталей не ограничивается.

13. Режимы* горячей консервации «холодных» слитков (заготовок) (температура консервации в печи 800±30 °С)

Сталь	Параметр	Масса, т						
		—	3,2...6,5	7,5... 12,3	11,6... 24,6	23,15... 40,0	44,0... 83,3	78,9... 200
		Средний диаметр, мм						
		305... 510	515... 755	760... 930	935... 1200	1225... 1500	1555... 1820	1825... 2250
Группа М1 — углеродистая низколегированная	Максимальная температура печи при посадке, °С	1000±30		900±30		800±30		
	Минимальная продолжительность подогрева при температуре кожежа, ч	2,0	3,5	5,0	7,0	9,0	12,0	17,0
Группа М2 — легированная и высоколегированная	Максимальная температура печи при посадке, °С	9000±30		650±30		500±30		
	Скорость нагрева садки до температуры кожежа, °/ч	Не ограничена		75		50		
	Минимальная продолжительность подогрева при температуре кожежа, ч	3,6	5,0	7,0	9,5	13,0	17,0	23,0

Окончание табл. 13

Сталь	Параметр	Масса, т						
		—	3,2...6,5	7,5... 12,3	11,6... 24,6	23,15... 40,0	44,0... 83,3	78,9... 200
		Средний диаметр, мм						
		305... 510	515... 755	760... 930	935... 1200	1225... 1500	1555... 1820	1825... 2250
Группа МЗ — кор- розион- но-стойкая, жаропроч- ная и высо- коуглеро- дистая	Максимальная температу- ра печи при посадке, °С	630±30		500±30		400±30		
	Скорость нагрева садки до температуры кожежа, °/ч	50				40		
	Минимальная продолжи- тельность подогрева при температуре кожежа, ч	5,0	8,0	11,0	15,0	20,0	25,0	31,0

* Скорость нагрева садки до температуры кожега не ограничена.

14. Коэффициенты увеличения продолжительности нагрева в зависимости от схемы загрузки слитков (заготовок) в печи

Средний диаметр слитка (заготовки), мм	Масса, т	Схема I	Схема II	Схема III
150...755	3,2...6,5	1	1,1	1,2
760...930	7,5...12,3	1	1,15	1,2
935...1200	11,6...24,6	1	1,20	1,25
1225...1550	23,15...49,0	1	1,25	1,30
1555...1740	44,0...83,3	1	—	—
1845...2250	78,9...200,0	1	—	—

Примечания: 1. Схема I — загрузка одного или нескольких слитков (заготовок) друг за другом по длине печи.

2. Схема II — загрузка слитков (заготовок) в несколько продольных рядов. При зазоре между слитками более 0,5*d* коэффициент принимать равным 1,0 (*d* — меньший диаметр слитка при заготовке).

3. Схема III — загрузка слитков (заготовок) в два яруса. Приведенный коэффициент применяют только для нижнего яруса.

15. Продолжительность, ч, и режим нагрева под ковку быстрорежущих сталей Р9, Р18, Р6М5, Р9М4К8 и др.

Средний диаметр слитка (заготовки), мм	Масса слитка, т	Температура печи при посадке, °С	Выдержка при температуре посадки	Нагрев до 850...900 °С	Выдержка при 850...900 °С	Нагрев до температурыковки	Выдержка при температурековки	Общее время
50	—	450	0,5	1,0	0,5	0,2	—	2,2
70	—	450	0,5	1,2	0,8	0,3	0,1	3,0
100	—	450	0,8	1,6	1,4	0,5	0,2	4,5

Окончание табл. 15

Средний диаметр слитка (заготовки), мм	Масса слитка, т	Температура печи при посадке, °C	Выдержка при температуре посадки	Нагрев до 850... 900 °C	Выдержка при 850... 900 °C	Нагрев до температуры ковки	Выдержка при температуре ковки	Общее время
150	—	450	1,2	2,0	2,0	0,8	0,5	6,5
200	0,2	450	1,5	2,8	2,6	1,0	0,6	8,5
300	0,6	400	2,5	4,0	4,0	1,2	0,8	12,5
400	1,0	350	3,0	5,5	5,0	1,6	1,4	16,5

Примечание. Данные приведены для случая расположения на поду нескольких слитков или заготовок вплотную друг к другу или с небольшим зазором (до $d/2$).

4. ОХЛАЖДЕНИЕ СТАЛЬНЫХ ПОКОВОК

Охлаждение слитков и заготовок начинается сразу после выдачи их из печи и продолжается как при транспортировании их к штамповочному агрегату, так и в процессе ковки, штамповки и прокатки. Процесс охлаждения заканчивается после обработки давлением, когда температура металла постепенно снижается до температуры окружающего пространства.

Охлаждение цилиндрических заготовок из углеродистых сталей Ст 3, 10, 20, 45, 50 при транспортировании их от печи к молоту или прессу можно рассчитать по данным графика (рис. 3). Здесь $t_{\text{охл}}$ — средняя температура по массе заготовки в конце охлаждения, °C; $t_{\text{н}}$ —

средняя по массе температура нагрева, °C; R и l — радиус и длина заготовки; $F_{\text{охл}} = a\tau/RI$ — критерий Фурье, где a — температуропроводность; τ — время транспортирования.

Охлаждение металла под бойками молота или прессы происходит быстрее, чем на воздухе (рис. 4). Продолжительность охлаждения от начала до конца ковки обуславливает возможную продолжительность процесса обработки давлением. Объем кузнечных работ, выполняемых за один нагрев, можно увеличить путем теплоизоляции частей заготовки, отковываемых в последнюю очередь, а также уже откованных частей поковки. Теплоизоляцию выполняют покрытием кожухами из листовой стали с асбестом.

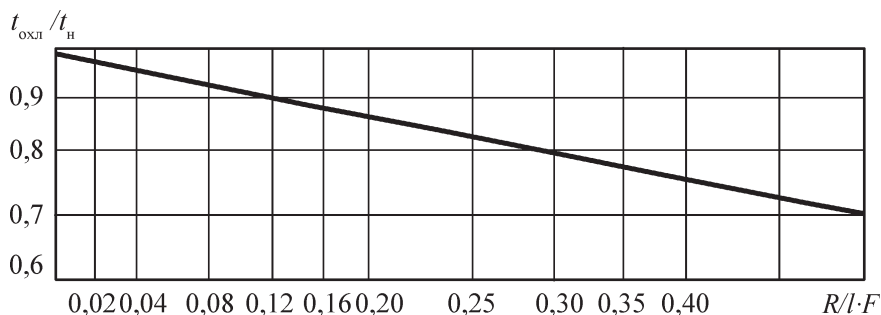


Рис. 3. Зависимость относительной температуры $t_{\text{охл}} / t_{\text{н}}$ от произведения критерия Фурье $F_{\text{охл}} = a\tau/RI$ на относительную толщину заготовки R/l

16. Характеристика теплоизолирующих материалов

Материал	Преимущества	Недостатки
Трепел	Низкая теплопроводность, малая плотность	Гигроскопичность, способность обезуглероживать сталь при температурах выше 600 °С
Доменный шлак	Низкая теплопроводность	После продолжительного использования превращается в пыль; дефицитность в районах, где отсутствует доменное производство
Минеральная вата	Очень низкая теплопроводность	Измельченная минеральная вата раздражающе действует на слизистую оболочку носа и горла, пыль ее канцерогенна
Каменноугольная зола	Низкая теплопроводность, широкая распространенность	Легко превращается в пыль и загрязняет помещение
Песок и гравий	Широкая распространенность, возможность использования без больших затрат	Повышенная теплопроводность

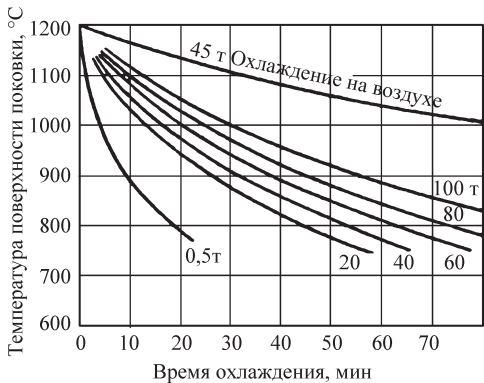


Рис. 4. Изменение температуры поверхности поковок при ковке в зависимости от массы слитков и заготовок (статистические данные)

Применяют следующие способы охлаждения поковок в зависимости от их размеров сечения:

- на воздухе;
- в теплоизолирующих материалах (табл. 16);
- в термосах и неотапливаемых колодцах;
- в подогреваемых колодцах;
- в специальных печах.

Конструкция неотапливаемого колодца для медленного охлаждения поковок показана на рис. 5. Поковки из флокеночувствительной стали после

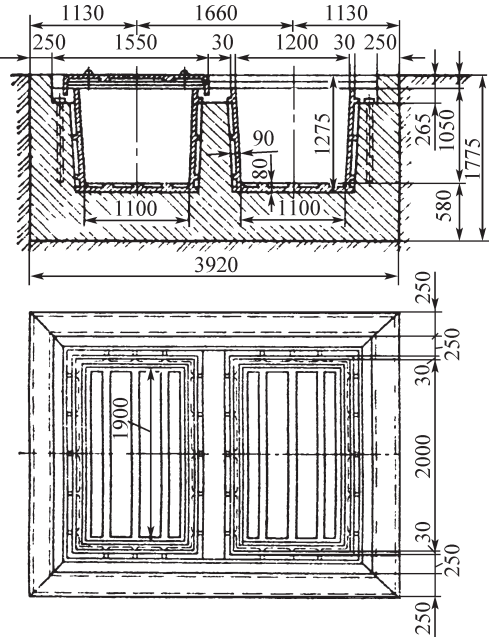
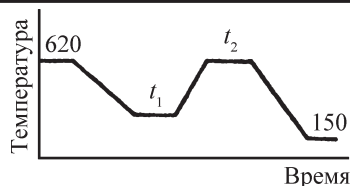


Рис. 5. Конструкция неотапливаемого колодца для охлаждения заготовок послековки и прокатки

ковки подвергают специальной термообработке.

Примеры режимов такой термообработки для разных марок стали и различного сечения поковок приведены в табл. 17.

17. Режим термообработки крупных поковок из легированных сталей



Режим	34ХМ, 25ХМ, 30ХМА, 35ХМА, 30ХН3, 37ХН3, 38Х2МЮА, 20Х13, 30Х13, 40Х13, 12ХН3А, 12Х2Н4А					5ХНМ, 5ХГМ, 5ХНВ, 5ХНТ, 45ХНМФА				35ХНМ, 34ХН1М, 34ХН3М, 34ХН3МФА			
	Максимальный размер сечения поковки, мм												
	300	301...400	401...500	501...600	601...750	300	301...400	401...500	501...600	300	301...400	401...500	501...600
Выдержка при температуре $t_1 \pm 20$ °С, ч	2	3	4	5	6	3	4	5	6	3	3	4	4
Нагрев до температуры t_2 со скоростью 80...100 °С/ч	610...650					610...650				640...660			
Выдержка при температуре t_2 , ч	8	12	16	20	26	12	18	24	30	20	30	40	50

Примечания: 1. Температура в печи 620 °С.

2. Охлаждение садки в закрытой печи без подогрева до $t_1 = 370...470$ °С.

3. Выравнивание температуры в печи, а также охлаждение в печи без подогрева до температуры 400 °С и со скоростью 25 °С/ч до температуры 150 °С выполняют в зависимости от величины садки (массы).

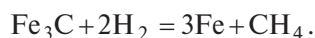
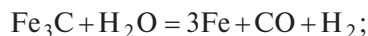
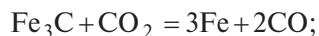
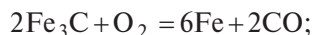
5. УГАР И ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЕ СТАЛИ ПРИ НАГРЕВЕ

При нагреве стали в пламенных печах, когда сжигание топлива происходит с коэффициентом расхода воздуха $\alpha > 1$, продукты горения содержат CO_2 , H_2O , O_2 , N_2 и незначительное количество CO , H_2 и SO_2 (если в топливе имеется сера). В условиях высоких температур (выше 700...800 °С) окисляющими являются не только O_2 , но и CO_2 , H_2O и особенно SO_2 , а CO и H_2 являются восстановителями.

При горении с более или менее значительным избытком воздуха окисление идет быстрее, чем обезуглероживание, и после удаления окисленного слоя на поверхности поковки не будет обезуглероженного слоя. Если в печи создана атмосфера, слабо окисляющая

железо, то под слоем окалины образуется обезуглероженный слой (при нагреве средне- и высокоуглеродистых сталей).

Газы, содержащиеся в печной атмосфере, взаимодействуют с углеродом, находящимся в стали в виде карбида железа, по следующим реакциям:



Из этих реакций следует, что обезуглероживающими газами являются кислород, диоксид углерода, водяные пары и водород, а науглероживающими — оксид углерода и метан.

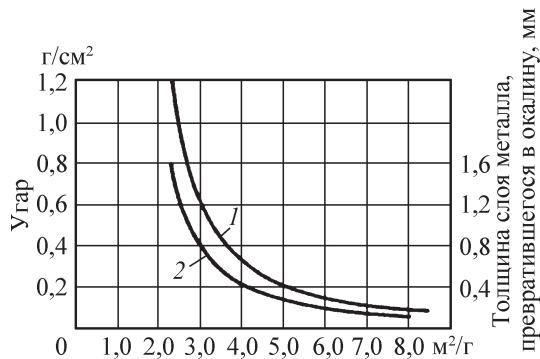


Рис. 6. Диаграмма равновесия системы «атмосфера печи — нагреваемый металл (сталь)»; *AB* — пограничная линия

Количественные показатели потерь железа от окисления (угара) следующие:

1) угар по массе (%) — количество металла, окисленного при нагреве, от первоначальной массы;

2) поверхностный угар (г/см²) — количество окисленного металла, отнесенное к поверхности нагреваемого слитка или заготовки;

3) скорость окисления — отношение поверхностного угара ко времени нагрева [г/(см²·ч)];

4) толщина окалины (см); связана с поверхностным угаром выражением

$$s = \alpha / (\rho \varphi_{\text{Fe}}),$$

где α — поверхностный угар; ρ — плотность окалины; $\rho = 3,9 \dots 4,0$ г/см³; φ_{Fe} — среднее содержание железа в окалине, $\varphi_{\text{Fe}} = 0,715 \dots 0,765$ %.

На угар металла в печах оказывают влияние следующие факторы:

состав газовой атмосферы — соотношение CO_2/CO и $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$ (рис. 6);

температура и продолжительность нагрева, соотношение между площадью поверхности и массой, а также химический состав нагреваемого металла.

Для стали при температурах ниже 600...650 °С окисление практического значения не имеет, хотя светлая по-

верхность темнеет. С повышением температуры угар резко возрастает. Если при температуре 900 °С интенсивность образования окалины принять за единицу, то при нагреве до 1100 °С она увеличивается в 3 раза, а при нагреве до 1300 °С в 7 раз.

Совместная зависимость поверхностного угара от температуры (при 600... 1150 °С) и времени для среднеуглеродистой стали выражается уравнением

$$\alpha = 6,3 \sqrt{\tau e^{-\frac{900}{t}}},$$

где τ — время, мин; t — температура, °С.

Влияние на угар времени нагрева для слитков и заготовок приведено в табл. 18 и 19. Влияние формы нагреваемого тела, характеризующееся отношением площади его поверхности к массе, на поверхностный угар и толщину окисленного слоя металла показано на рис. 7. Ориентировочные значения угара для среднеуглеродистых сталей приведены в табл. 20. С увеличением содержания углерода скорость окисления понижается, а с уменьшением — возрастает. Легирующие примеси (Al, Cr, Si, Mo, Co и др.) значительно снижают скорость окисления. Никель в составе стали не окисляется, но способствует окислению железа.

18. Поверхностный угар при нагреве крупных стальных слитков перед ковкой в зависимости от продолжительности нагрева

Средний диаметр, мм	Ориентировочная масса, т	Продолжительность нагрева, ч	Поверхностный угар, г/см ²	Толщина окалины, мм
900	8	10...11	1,22...1,28	4,25...4,45
1000	12	12	1,34	4,65
1100	15	15...19	1,5...1,7	5,2...5,85
1200	25	18...21	1,64...1,8	5,7...6,25

19. Угар при нагреве стальных слитков и заготовок в методических печах в зависимости от продолжительности нагрева

Диаметр или сторона квадрата, мм	Продолжительность, ч	Угар	
		поверхностный, г/см ²	по массе, %
100	3	0,180	0,9
	1,3	0,13	0,65
150	4,4	0,445	1,53
	2,2	0,316	1,07
200	5,7	0,93	2,1
	2,9	0,6	1,52
250	7,5	1,13	2,35
	3,6	0,8	1,65
300	8,5	1,36	2,5
	4,3	0,97	1,8

Примечание. В числителе приведены значения угара при одностороннем нагреве, в знаменателе — при двустороннем.

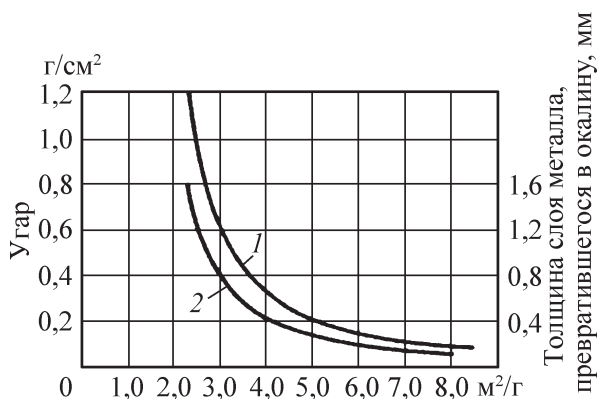


Рис. 7. Зависимость поверхностного угара и толщины слоя металла, превратившегося в окалину, от отношения площади поверхности слитка к его массе:

1 — поверхностный угар; 2 — толщина окисленного слоя металла

20. Потери металла от угара (%) при нагреве стальных заготовок и слитков под ковку и штамповку в пламенных печах (печи методические, полуметодические и камерные; загрузка и выгрузка по одной заготовке)

Размеры слитков и заготовок	При работе печей на природном газе	При работе печей на мазуте
Мелкие заготовки, диаметр или сторона квадрата до 50 мм	0,4...0,7	0,5...1,0
Средние заготовки, диаметр или сторона квадрата 50...100 мм	0,5...1,5	0,7...2,0
Крупные заготовки и мелкие слитки, диаметр или толщина 100...300 мм	1,0...3,0	1,5...4,0
Слитки и очень крупные заготовки, диаметр или толщина 300...600 мм	2,0...4,0	2,5...4,5
Крупные слитки, диаметр более 600 мм	3,0...5,0	3,5...5,5

Примечание. Потери относятся к одному нагреву холодных слитков или заготовок до 1200...1250 °С.

21. Влияние на угар продолжительности и способа нагрева до 1200 °С стальных заготовок ($d = 50$ мм)

Способ	Продолжительность, мин	Потери от окисления, г/см ²
Нагрев в пламенной печи с температурой:		
1250 °С	13,5	0,0460
1500 °С	3,5	0,0216
(обычный нагрев)		
1500 °С	2,8	0,0207
(высокоскоростной)		
Электронагрев:		
индукционным способом	2,5	0,0200
контактным способом	1,0	0,0125
Нагрев в пламенной печи с температурой:		
1250 °С	0,160	100,0
1500 °С	0,075	47,0
(обычный нагрев)		
1500 °С	0,072	44,8
(высокоскоростной)		
Электронагрев:		
индукционным способом	0,070	43,5
контактным способом	0,045	27,0

Никелевые стали обычно окисляются сильнее, чем углеродистые, однако в присутствии хрома и других элементов никель повышает сопротивляемость стали окислению.

Борьба с окислением стали при нагреве. Уменьшение окисления металла при нагреве достигается сокращением продолжительности нагрева (табл. 21), применением защитного слоя газа на поду печи (рис. 8), что позволяет уменьшить угар в 1,5–2 раза.

Полную или почти полную ликвидацию угара можно достичь следующими способами: нагревом металла в специальных контролируемых атмосферах; нагревом в продуктах неполного горения газообразного топлива — в печах так называемого малоокислительного или безокислительного нагрева; в расплавленных солях или расплавленном стекле и применением специальных обмазок.

Борьба с обезуглероживанием заключается также в ускорении нагрева,

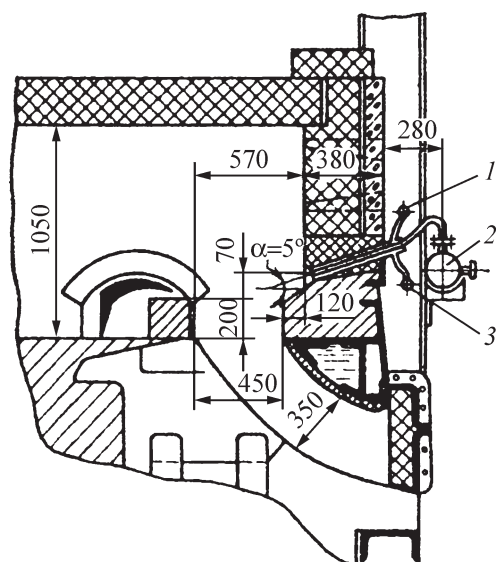


Рис. 8. Схема образования защитного слоя металлической печи с торцевой выдчей:

1 — отвод воды; 2 — подвод защитного газа; 3 — подвод воды

применении специальных контролируемых атмосфер, в нагреве в расплавленных средах и нанесении защитных покрытий.

Нагрев стальных заготовок под обработку давлением в муфельных печах используется очень редко (для заготовок небольших размеров), что связано с недостаточно высокой стойкостью муфельей.

Значительно чаще используют нагрев заготовок в продуктах неполного сгорания газообразного топлива. На рис. 9 показана зависимость поверхностного угара от коэффициента расхода воздуха в печи, отапливаемой коксовым газом. На рис. 10 приведена конструкция камерной печи с карбундовым сводом для безокислительного нагрева.

Для получения в рабочей камере таких печей достаточно высокой температуры (1250...1300 °С) для нагрева стали под ковку и штамповку необходимо воздух подогреть до 800...1000 °С, а если возможно, то подогреть и газообразное топливо или обогащать первичный воздух кислородом.

Нагрев заготовок под ковку и штамповку в расплавленных солях и стекле

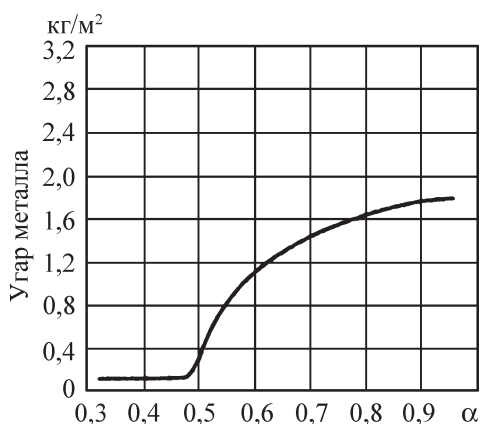


Рис. 9. Зависимость поверхностного угара от коэффициента расхода воздуха α при нагреве стальных заготовок до температурыковки в печи, отапливаемой коксовым газом

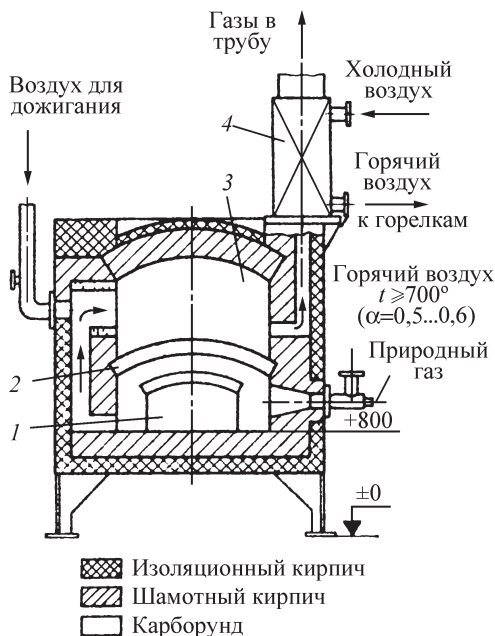


Рис. 10. Малая рекуперативная печь для безокислительного нагрева заготовок открытым пламенем: 1 — нижняя рабочая камера; 2 — карборундовый свод; 3 — камера дожигания; 4 — жароупорный рекуператор

позволяет полностью или почти полностью ликвидировать окисление и обезуглероживание при нагреве. В качестве

нагревающей среды применяют обычно смесь солей $BaCl_2$ и $NaCl$ в соотношении (30...70) % $BaCl_2$ и (70...30) % $NaCl$. Расплавленное стекло растворяет окалину, имеющуюся на поверхности заготовки, и становится более вязким, поэтому в расплавленном стекле следует нагревать стальные заготовки, очищенные от окалины. При этом расплавленное стекло обеспечивает смазывание штампов при штамповке.

В целях защиты металла от окисления и обезуглероживания применяют также нагрев с применением защитных покрытий и обмазок. Для приготовления обмазок используют смесь двух, трех и более марок стекол и стекловидных шлаков, к которым добавляют до 30 % тонкомолотого оконного стекла, а также небольшое количество сульфатного щелока и огнеупорной глины, которые обеспечивают хорошее прилипание обмазки к поверхности холодного металла. Другой состав обмазки: 20...30 % алюминиевого порошка АПВ и 70...80 % этилсиликата. Обмазки наносят на поверхность нагреваемых слитков и заготовок кистью или окунанием.

Глава 6

ПЛАМЕННЫЕ ПЕЧИ ДЛЯ НАГРЕВА ПОД КОВКУ И ШТАМПОВКУ

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПЛАМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Пламенные печи широко используют в кузнечно-штамповочном производстве. По способу загрузки их разделяют на печи с периодической и непрерывной загрузкой. Печи с непрерывной загрузкой обеспечивают определенный режим производства, более высокую производительность и лучшее использование топлива (более высокий КПД). При мелкосерийном и единичном производстве (крупные поковки) применяют камерные печи с периодической загрузкой. В крупносерийном и массовом производстве, когда за определенным агрегатом (молотом, прессом, ковочной машиной) закреплено небольшое количество однотипных заготовок, широко используют автоматизированные печи с непрерывной загрузкой.

По технологическому назначению пламенные печи, используемые в кузнечно-штамповочном производстве, можно также разделить на печи для нагрева под ковку и первичную термообработку и на печи для нагрева под объемную штамповку.

По скоростному режиму нагрева пламенные печи кузнечно-штамповочного производства можно в свою очередь разделить на низкоскоростные, среднескоростные и высокоскоростные. Печи скоростного струйного нагрева по скорости нагрева могут приближаться к индукционным. Качество нагрева в них приближается к качеству индукционных печных агрегатах (минимальные угар, обезуглероживание и обезлегирование стали, мелкозерни-

стость структуры), но капитальные и эксплуатационные затраты меньше. При этом печи, которые могут работать в высокотемпературной области, оснащаются горелками, работающими со скоростями истечения продуктов сгорания в пределах 70...200 м/с в непрерывном или импульсном режимах.

Пламенные печи для нагрева под ковку и первичную термообработку

Типы печей, применяемых для нагрева заготовок под ковку поковок и первичную термообработку, а также условия их применения приведены в табл. 1.

Пламенные печи для нагрева под объемную штамповку

Типы пламенных печей для нагрева проката перед резкой на заготовки и заготовок под штамповку приведены в табл. 2.

Производительность и размеры пода печей. Приняты следующие обозначения:

G — производительность печи, кг/ч;
 g — масса нагреваемого слитка или заготовки, кг;

$N = G/g$ — производительность печи, шт/ч;

τ — продолжительность нагрева слитка или заготовки, ч;

f — площадь проекции одного слитка или заготовки на под, м²;

$F_{\text{мет}} = nf$ — площадь пода (м²), занятая металлом, где n — число слитков или заготовок, находящихся одновременно в печи;

$K = F_{\text{мет}} / F_{\text{пода}}$ — коэффициент загрузки пода (для камерных печей с периодической загрузкой $K = 0,35...0,5$; для печей с непрерывной загрузкой $K = 0,6...0,85$);

1. Типы пламенных печей для нагрева под ковку и первичную термообработку, а также область их применения

Печи	Область применения	Использование теплоты отходящих газов
Щелевые одно- и двухкамерные (рис. 1)	В двухкамерных печах возможен нагрев с подогревом, особенно при нагреве легированных и высоколегированных сталей	Рекуператор панельного типа
Одно- и двухкамерные с закрывающимися окнами (рис. 2)	При переменной нагрузке и нагреве легированных и высоколегированных сталей	Рекуператор или использование теплоты на подогрев металла (двухкамерные печи с переменной работой камер)
Крупные камерные с несколькими закрывающимися окнами	Нагрев небольших слитков и заготовок разных размеров под ковку	Рекуператор или регенератор
Печи-колодцы для нагрева под прокатку и ковку слитков (рис. 3)	Нагрев слитков средней массы при небольшой производительности участка	
С выдвижным подом (рис. 4, 5)	Нагрев слитков под обработку давлением, а также под термообработку поковок	Рекуператор или регенератор
Камерная малоокислительного нагрева с решетчатым сводом (рис. 6)	Нагрев небольших слитков и заготовок углеродистых и легированных сталей	Рекуператор
Методическая трехзонная для нагрева под ковку слитков высоколегированной стали (рис. 7)	Нагрев слитков при крупносерийном и массовом производстве	

$X = G / F_{\text{пода}}$ — напряженность (удельная производительность) пода печи, кг (м²·ч).

Число n слитков или заготовок, которые должны одновременно находиться в печи, для получения производительности N :

$$n = N\tau = \frac{G}{g} \tau.$$

Площадь пода печи, м²

$$F_{\text{пода}} = \frac{F_{\text{мет}}}{K} = \frac{nf}{K} = \frac{G}{g} \tau \frac{f}{K}.$$

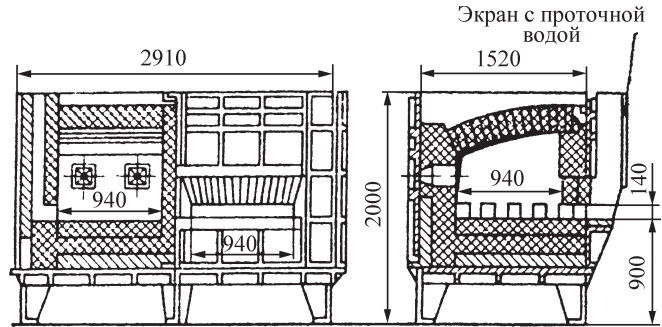


Рис. 1. Двухкамерная кузнечная печь щелевого типа (производительность до 1000 кг/ч)

2. Типы пламенных печей для нагрева проката перед резкой и заготовок под штамповку

Печи	Область применения	Использование теплоты отходящих газов
Для нагрева проката перед резкой (рис. 8)	Заготовительные цеха или отделения кузнечно-штамповочного производства	Как правило не используется
Очковая для нагрева концов заготовок (рис. 9)	Нагрев концов заготовок под штамповку болтов и гаек	
Щелевые одно- и двухкамерные (рис. 10)	Нагрев небольших и средних заготовок под штамповку при крупносерийном производстве	Рекуператоры панельного типа
Полуметодическая толкательная (рис. 11)	Нагрев заготовок под штамповку при крупносерийном и массовом производстве	Рекуператор
С наклонным подом для нагрева цилиндрических заготовок (рис. 12)	Нагрев цилиндрических заготовок при крупносерийном и массовом производстве	Рекуператор
С вращающимся подом и вращающимися стенками (рис. 13)	Нагрев заготовок различных сечений, а также нагрев конца крупных заготовок (печи с вращающимися стенками)	
С шагающими балками (рис. 14)	Нагрев заготовок разных сечений и листового материала	
Конвейерные (рис. 15)	Нагрев листовых заготовок при крупносерийном и массовом производстве	
С роликовым подом	Нагрев листового материала	
Скоростного конвективного нагрева (рис. 16)	Нагрев небольших заготовок при массовом производстве	
Малоокислительного нагрева, камерные и полуметодические (рис. 17)	Нагрев небольших и средних заготовок как при единичном, так и при массовом производстве	Рекуператор или регенератор, обеспечивающий подогрев воздуха до 800...1000 °С, или работа на воздухе с обогащением кислородом

Производительность (кг/ч) печи

$$G = \frac{F_{\text{пода}} K_g}{f\tau}.$$

Напряженность пода [кг/(м²·ч)]

$$X = \frac{G}{F_{\text{пода}}} = \frac{g}{f} \frac{K}{\tau}.$$

Значения напряженности пода для различных типов кузнечных печей приведены в табл. 3.

Расход топлива. Правильное, технически обоснованное определение расхода топлива печами имеет большое значение с точки зрения экономии топлива, сжигаемого в печах кузнечных цехов.

Характер зависимости часового расхода B топлива, эффективного КПД $\eta_{\text{эф}}$ и

3. Напряженность пода (удельная производительность)
для кузнечных печей различных типов

Печи	Природный газ $Q_n = 33600$ кДж/м ³ ; мазут $Q_n = 40000$ кДж/кг
Щелевые	450...500
Камерные с закрывающимися окнами	450...600
С выдвижным подом	120...300
Полуметодические	350...450
Механизированные конвейерные, роликовые, с шагающими балками	250...400
Методические толкательные и роликовые	250...400
Кольцевые с вращающимся подом	250...300
Скоростного нагрева (и выше)	600...800

Примечание. Q_n — теплотворная способность топлива.

удельного расхода b топлива от напряженности пода $X = G / F_{\text{пода}}$ кг/(м³·ч) (тепловой характеристики печи) приведен на рис. 18. Из графика следует, что расход топлива B возрастает с увеличением напряженности пода; $\eta_{\text{эф}}$ сначала возрастает до максимума, затем снижается; удельный расход b топлива сначала снижается до минимума, а затем увеличивается.

Обычно печи работают в режиме, соответствующем части характеристики до максимального КПД, и увеличение производительности (напряженности пода) приводит к повышению КПД и снижению удельного расхода топлива.

Средний КПД печи за год (или другой промежуток времени) может быть рассчитан по следующей формуле:

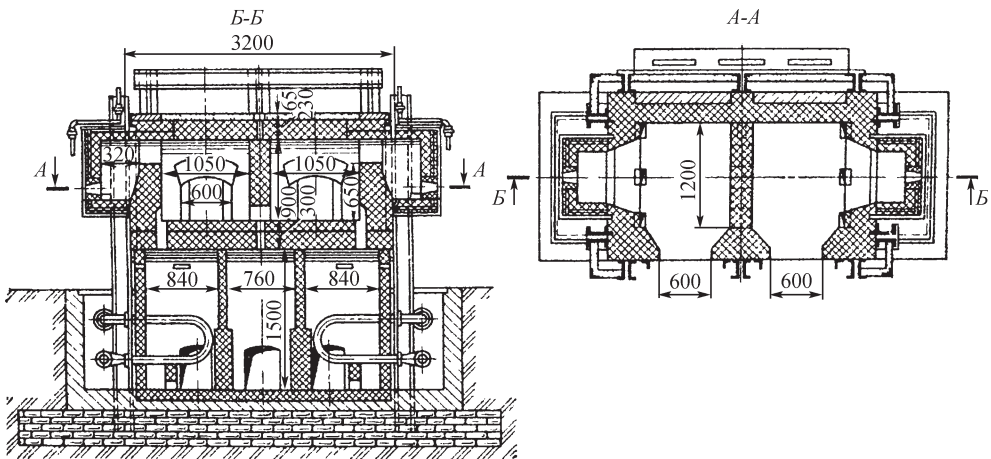


Рис. 2. Двухкамерная печь на жидком и газообразном топливе [камеры могут работать одновременно; поочередно (одна камера — для окончательного нагрева, другая — для подогрева металла); одна камера все время служит подогревательной, и материалы после подогрева переносятся в другую камеру]

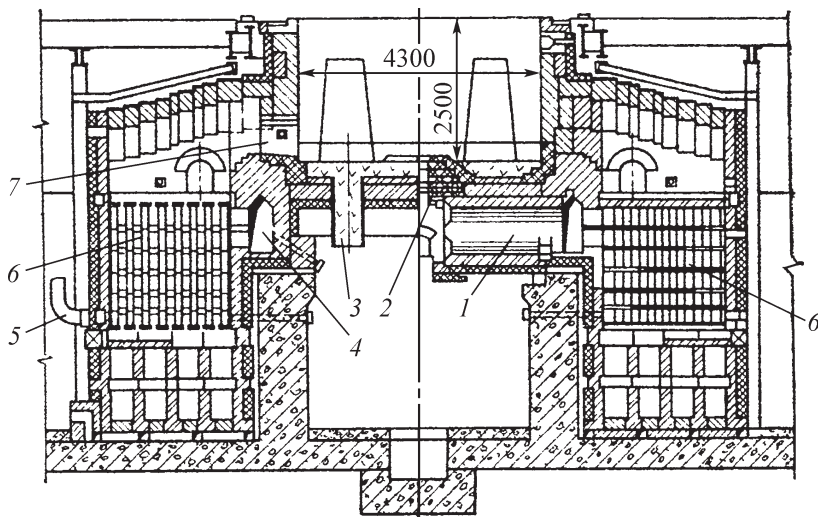


Рис. 3. Рекуперативный нагревательный колодец с отоплением из центра подины (крышка снята):
 1 — каналы для подвода подогретого воздуха к горелке; 2 — горелка; 3 — люки для удаления кокса и окалины; 4 — сборные каналы для подогретого воздуха; 5 — подвод воздуха; 6 — рекуператор; 7 — окна для удаления дымовых газов

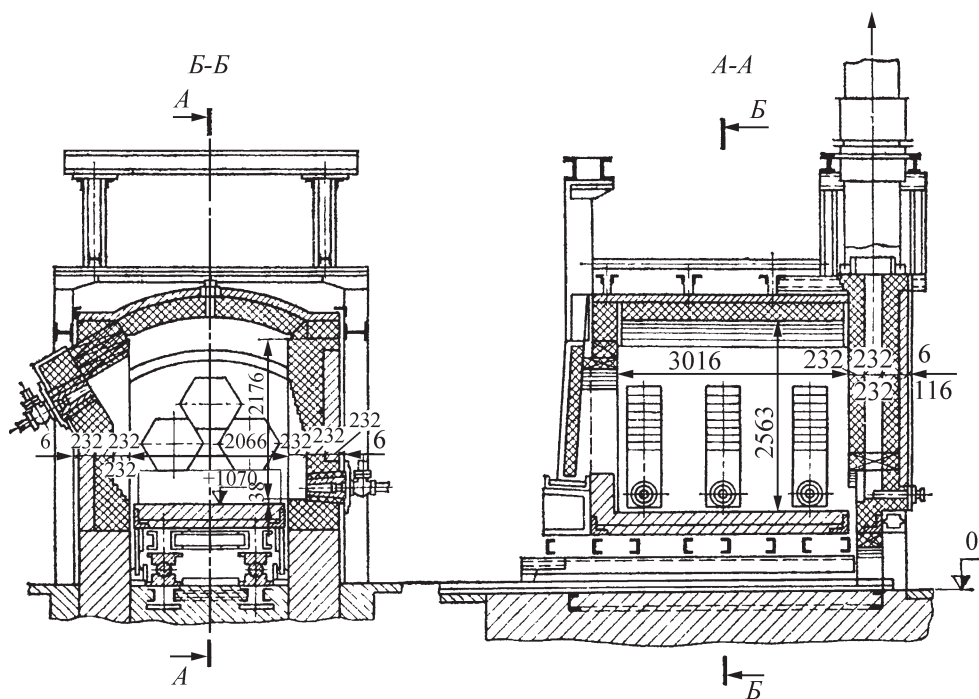


Рис. 4. Рециркуляционная нагревательная печь с выдвижным подом для нагрева под ковку
 стальных слитков ($F_{\text{под}} = 6 \text{ м}^2$; печь оборудована рекуператором и автоматическим
 управлением теплового режима)

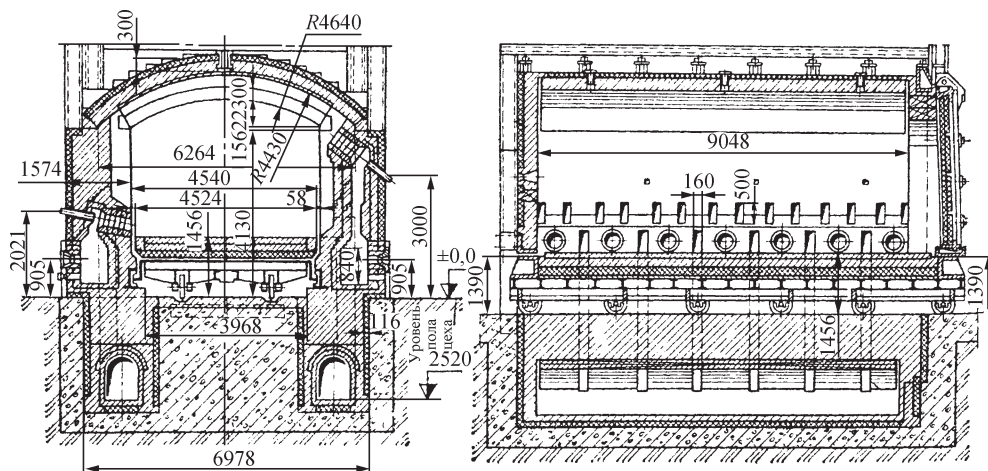


Рис. 5. Термическая рециркуляционная печь с выдвижным подом ($F_{\text{под}} = 41 \text{ м}^2$) с отдельными закрытыми топками. Масса садки 80...120 т

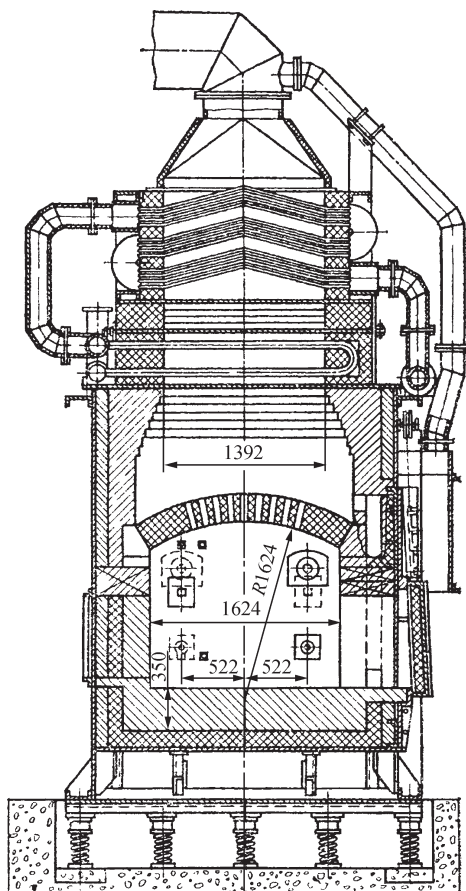


Рис. 6. Камерная печь малоокислительного нагрева с решетчатым сводом ($F_{\text{под}} = 2,6 \text{ м}^2$)

$$\eta_{\text{ср}} = \eta_{\text{печи}} \left(\frac{G_{\text{м}}}{G_{\text{печи}} \tau_{\text{д}} K_{\text{ср}}} \right) 0,7;$$

здесь $G_{\text{м}}$ — масса выпускаемых поковок обслуживаемого печью агрегата в год или за другой период времени, кг; $G_{\text{печи}}$ — паспортная производительность печи или производительность во время испытания, кг/ч; $\tau_{\text{д}}$ — действительный фонд рабочего времени за год или за другой промежуток времени, ч; $K_{\text{ср}}$ — средний коэффициент выхода годных поковок или штампованных заготовок от нагретого металла; $\eta_{\text{пе-и}}$ — КПД печи при паспортной производительности или полученный при ее испытании при определенной производительности.

Норму удельного расхода условного топлива на нагрев слитков или заготовок (кг усл. топл/т годных поковок) определяют по следующей формуле:

$$b_2 = \frac{1000 \Delta i_{\text{мет}}}{Q_{\text{усл}} \eta_{\text{ср}} K_{\text{ср}}};$$

здесь $\Delta i_{\text{мет}} = C_i^{t''} (t' - t'')$ кДж/кг — увеличение теплосодержания 1 кг металла; $C_i^{t''}$ — средняя удельная теплоем-

кость металла, кДж (кг·град); t', t'' — начальная и конечная температуры нагрева, °С; $Q_{\text{усл}}$ — теплота сгорания условного топлива, $Q_{\text{усл}} = 29310$ кДж/кг.

Если печи работают в одну, две или три смены, то приходится затрачивать топливо перед рабочей сменой, а также на разогрев ее после ремонтов, и норма удельного расхода топлива увеличивается на величину b_3 , кг усл. топл/т годных поковок:

$$b_3 = \frac{b_2 \tau_{\text{раз}}}{\tau_{\text{д}}},$$

здесь $\tau_{\text{раз}}$ — время разогрева за год или другой планируемый промежуток времени, ч; $\tau_{\text{д}}$ — действительный фонд рабочего времени за год (или другой планируемый промежуток времени), ч.

Если в цехе имеется участок разрезки штанг на мерные заготовки, то норму удельного расхода топлива на нагрев штанг перед разрезкой и $\eta_{\text{пе-и}}$ рассчитывают по тем же формулам, что и при нагреве заготовок перед ковкой или штамповкой. КПД печей при паспортной производительности приведены в табл. 4.

4. КПД печей при паспортной производительности

Печь	Нагрев	$\eta_{\text{печи}}$
Камерная:	Концов заготовки перед штамповкой	0,15
очковая шелевая	Концов или всей заготовки перед штамповкой	0,20
с неподвижным подом	Заготовок перед ковкой и штамповкой	0,2...0,25
с выдвижным подом	Холодных слитков под ковку	0,18...0,22
Проходная	Штанг перед резкой	0,30...0,4
Полуметодическая	Заготовок перед ковкой и штамповкой	0,3...0,35
С тарельчатым подом	Под ковку и штамповку	0,18...0,22
С кольцевым вращающимся подом	То же	0,35...0,4
Скоростного конвективного нагрева	Перед штамповкой	0,25...0,3
Скоростного струйного нагрева	Перед ковкой и штамповкой	0,45...0,6

Примечание. Большие значения КПД откосятся к печам, оборудованным рекуператорами.

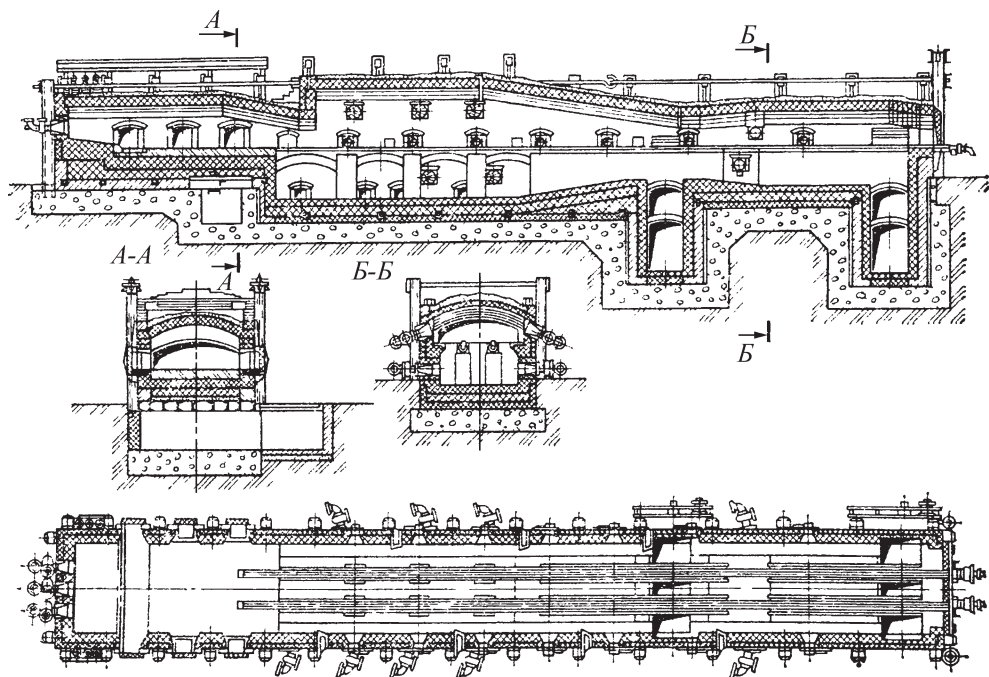


Рис. 7. Трехзонная односторонняя методическая печь для нагрева под ковку слитков из легированной и высоколегированной стали

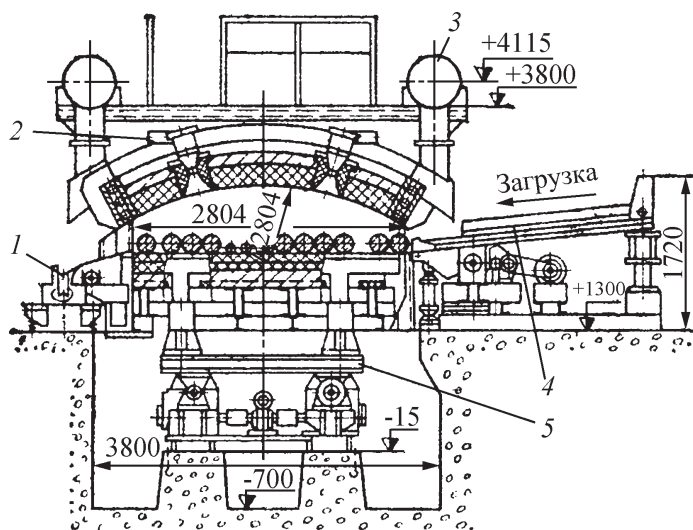


Рис. 8. Печь для нагрева металла перед резкой с подъемно-шагающими балками:

1 — роликовый конвейер к прессу; 2 — плоскопламенная горелка; 3 — дымоотвод; 4 — стеллаж за-
грузки, 5 — механизм подъемно-шагающих балок

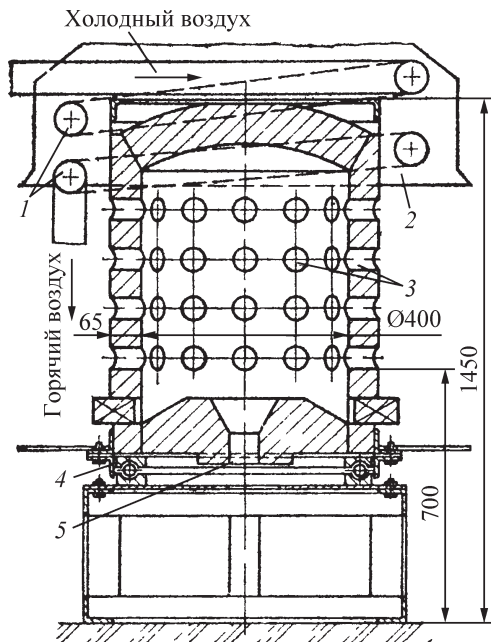


Рис. 9. Очковая вращающаяся печь для нагрева концов заготовок при штамповке гаек и высадке головок болтов и заклепок:

1 — трубы рекуператора; 2 — зонты для отвода газов; 3 — отверстия для загрузки нагреваемого металла; 4 — горелка или форсунка; 5 — шариковая опора

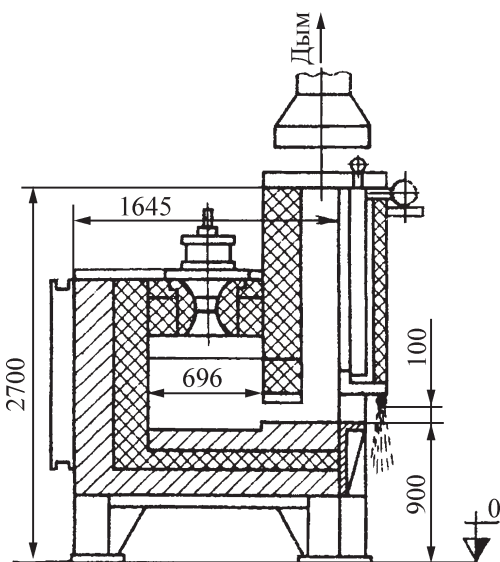


Рис. 10. Камерная щелевая нагревательная печь с обогревом плоскопламенной горелкой

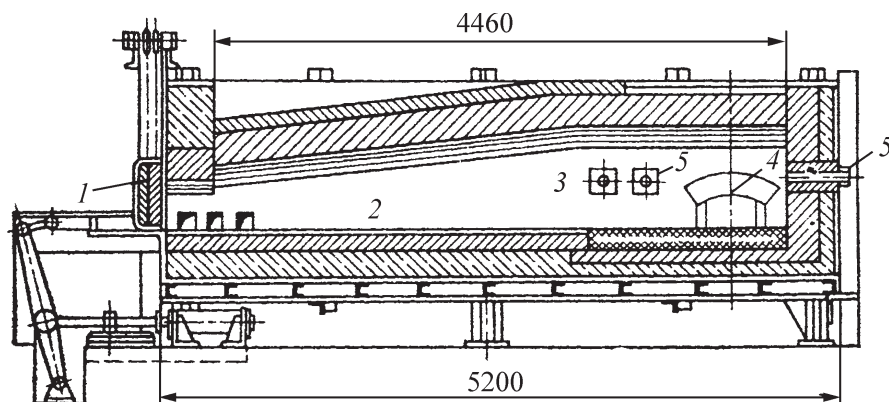


Рис. 11. Полуметодическая толкательная печь для нагрева заготовок под штамповку:

1 — окно загрузки; 2 — подогревательная камера; 3 — камера высокой температуры; 4 — окно выдачи; 5 — горелка

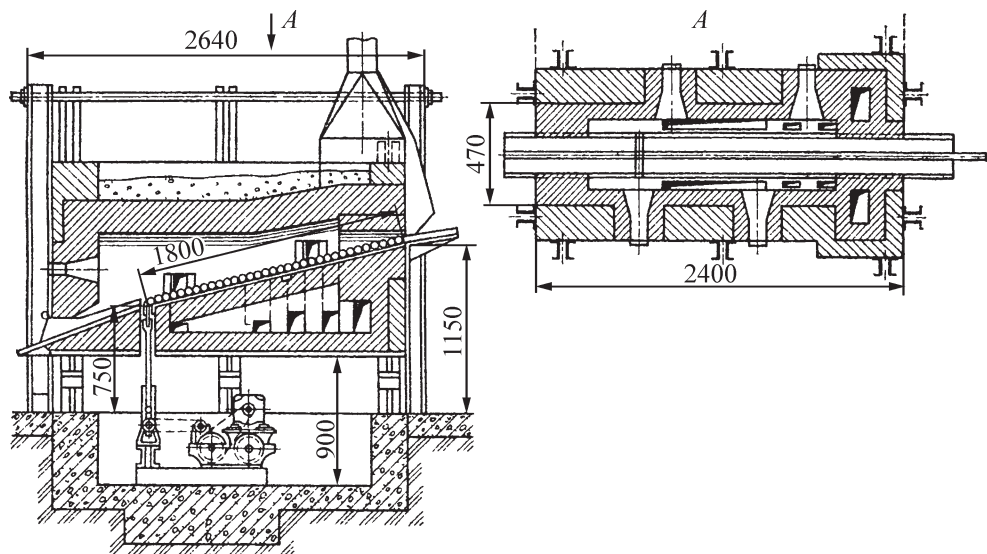


Рис. 12. Печь с наклонным подом и пульсатором для выдачи заготовок

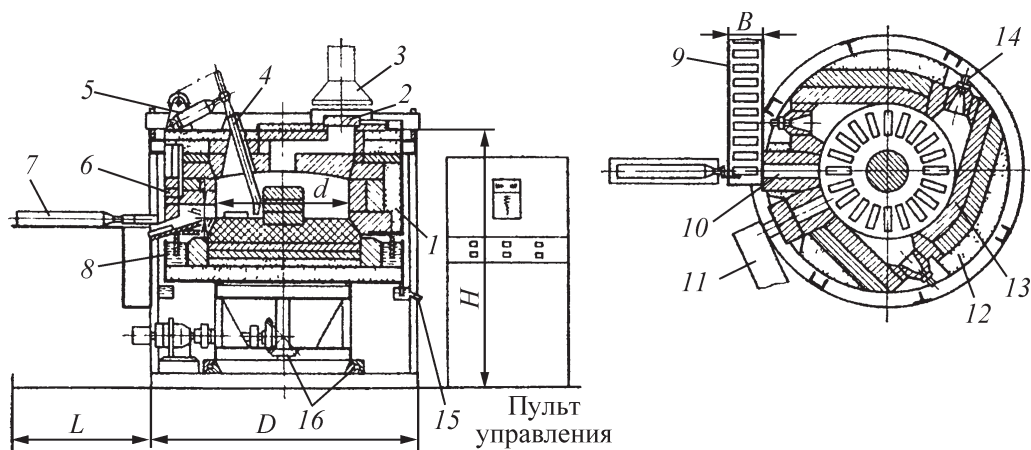


Рис. 13. Кузнечная печь с вращающимся подом:

1 — жароупорное несущее кольцо; 2 — шибер; 3 — зонт для отвода газов; 4 — балка для выдачи заготовок; 5 — пневматический цилиндр; 6 — крышка; 7 — пневматический цилиндр для загрузки заготовок; 8 — водяной затвор; 9 — роликовый конвейер; 10 — загрузочное окно; 11 — склиз к молоту; 12 — теплоизоляция; 13 — футеровка; 14 — форсунка или горелка; 15 — слив воды; 16 — шариковая опора и привод ($d = 1100 \dots 1900$ мм; $D = 2100 \dots 3000$ мм; $H = 2000 \dots 2100$ мм; $L = 200 \dots 300$ мм; производительность 750...1250 кг/ч)

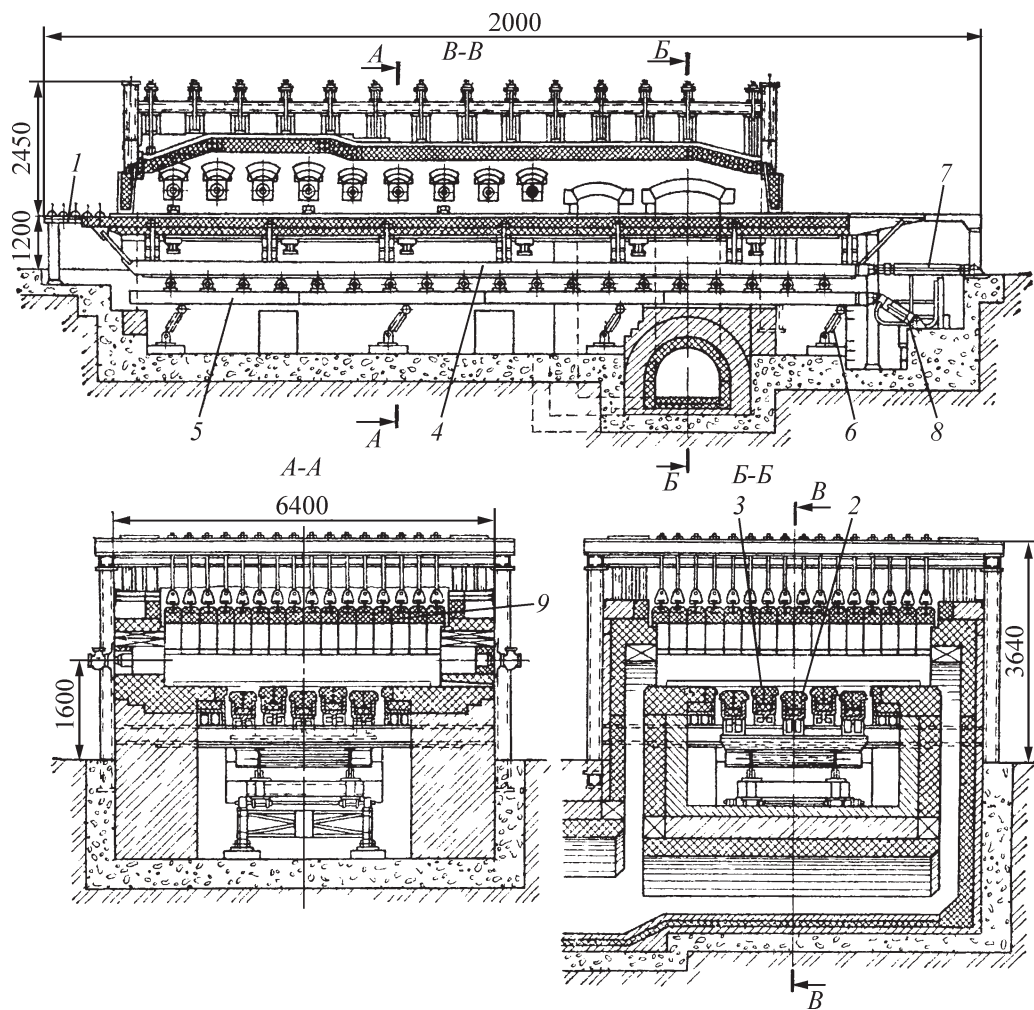


Рис. 14. Крупная печь с шагающими балками для нагрева листового материала перед штамповкой:

1 — стол выгрузки; 2 — подвижная шагающая балка; 3 — неподвижная балка; 4 — основание шагающих балок; 5 — опора шагающих балок; 6 — рычаг; 7, 8 — гидроцилиндры для перемещения пода в горизонтальном и вертикальном направлениях; 9 — подвесной свод

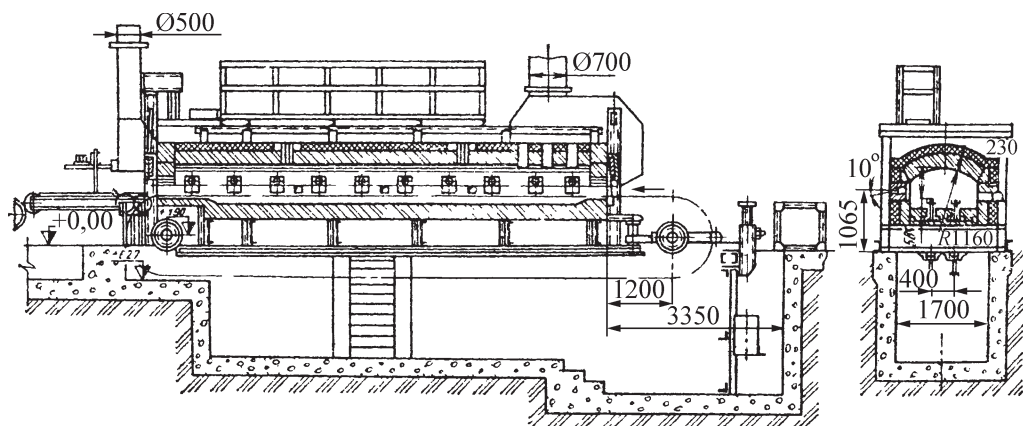


Рис. 15. Конвейерная печь с подподовым конвейером для нагрева перед штамповкой листовых заготовок [напряженность пода 200...400 кг/(м²·ч)]

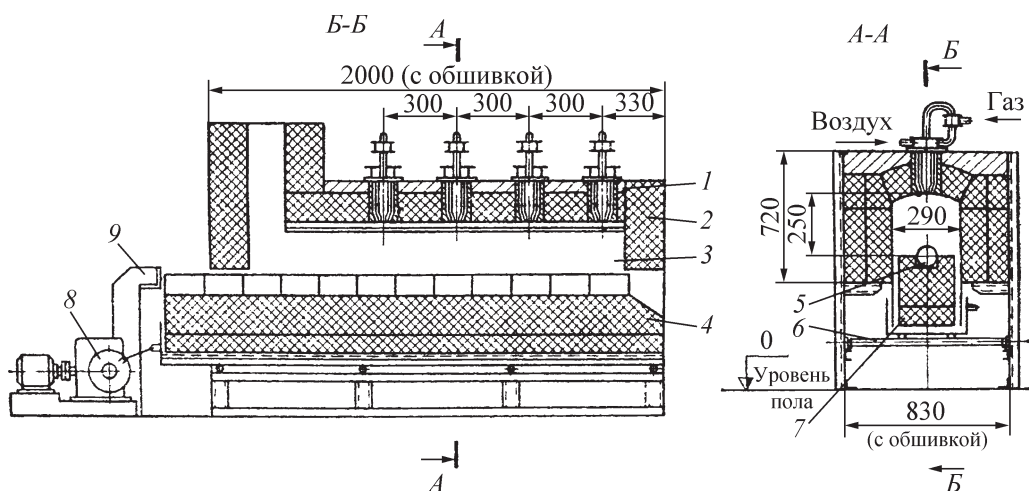


Рис. 16. Печь скоростного конвективного нагрева:

1 — горелка; 2 — футеровка; 3 — рабочее пространство; 4 — футеровка пода;
5 — нагреваемая заготовка; 6 — каркас печи; 7 — движущийся под; 8 — механизм движения пода; 9 — упор

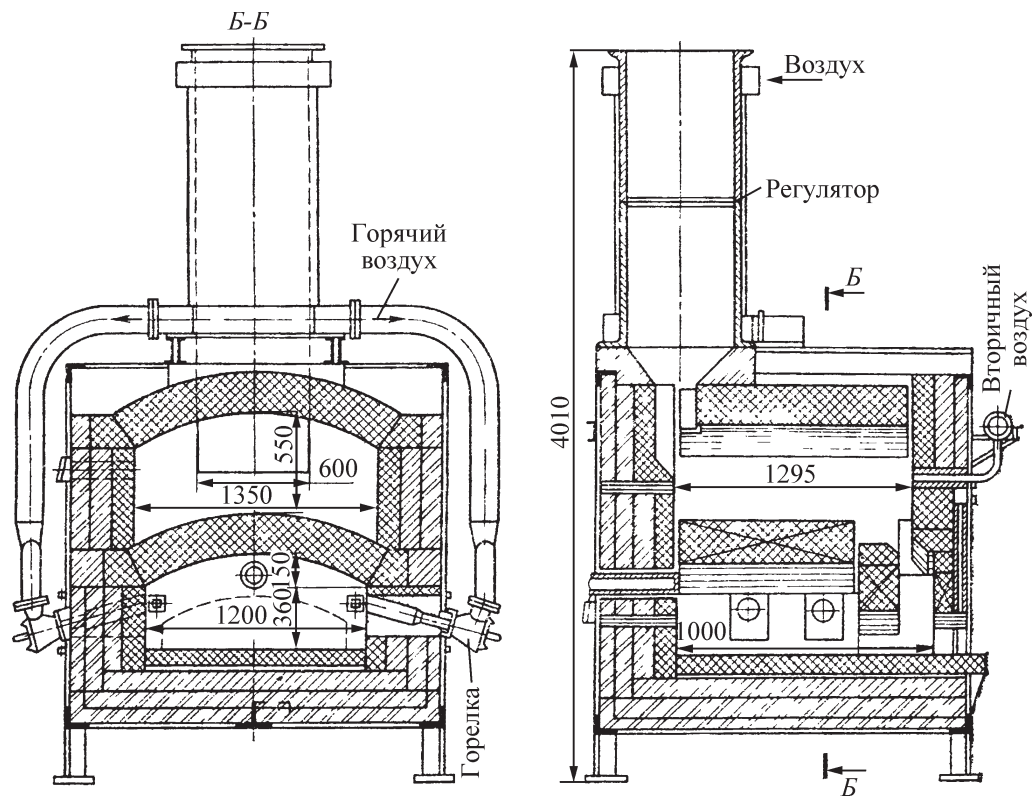


Рис. 17. Кузнечная камерная печь двухстадийного сжигания для безокислительного или малоокислительного нагрева открытым пламенем

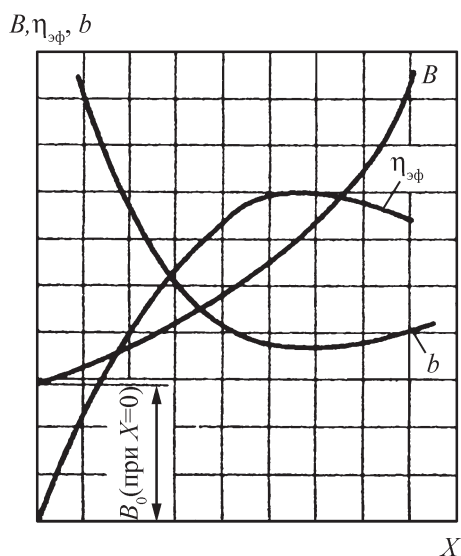


Рис. 18. Тепловая характеристика нагревательной печи

5. Основные свойства важнейших огнеупорных изделий

Группа изделий	Вид изделия	Кажущаяся плотность, г/см ³	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Огнеупорность, °С	Максимальная рабочая температура, °С	Область применения
Динасовые	Кирпичи, блоки	1,8...2,0	1,58 + 0,00038t _{ср}	1720	1650	Своды, арки, стелы дуговых электротропечей
Электродинасовые		2,0				
Магнезитовые	Фасонные кирпичи и прямоугольные набивки	2,6...2,8	4,30 – 0,00051t _{ср}	2000	1500...1600	Стены, своды дуговых электротропечей
Хромомагнезитовые		2,6...3,2	1,97 – 0,000215t _{ср} (в интервале температур 0...700 °С)	2000	1700	
Плавящие магнезитовые		2,7...2,8	То же	2800	1800	
Шамотные:						
марки ША		2,0...2,1		1730	1400	Кладка огнеупорного слоя печей
марки ШБ		1,9...2,0	0,7 + 0,00064t _{ср}	1670	1350	сопротивления
марки ШВ		1,8...1,9		1630	1250	
Легковесные:						
ШЛ-1,3	Прямоугольные кирпичи	1,3	0,47 + 0,00035t _{ср}			
ШЛ-1,0		1,0	0,35 + 0,00035t _{ср}	1670	1300	Тепловая изоляция дуговых печей
ШЛ-0,4		0,4	0,1 + 0,00021t _{ср}		1150	
ШТЛ-0,6		0,6	0,13 + 0,00023t _{ср}		1150	
Корундовые		2,6...2,9	2,18 — 0,00081t _{ср}	1900	1800	Детали высокотемпературных печей
Графитированные	Фасонные изделия	1,6...1,7	55...25 (в интервале температур 1700...2000 °С)	3000	2800	Тигли, муфели печей

Характеристика и расход материалов для постройки печей. Характеристики огнеупорных материалов, легковесных огнеупоров и теплоизоляционных материалов, которые используют при постройке печей, а также жароупорных сплавов для металлических частей арматуры и гарнитуры печей, поддонов, конвейеров и т.д. приведены в табл. 5, 6.

В настоящее время разработан и освоен выпуск теплоизоляционных и огнеупорных материалов на основе базальтовых и муллитокремнеземистых волокон, которые позволя-

ют на 30 % уменьшить потери, существенно снизить массу футеровки термических и нагревательных печей. Особенно эффективность новых материалов проявляется в печах периодического действия, так как они имеют низкую теплоемкость и не критичны к циклам нагрева — охлаждения.

Данные по расходу огнеупорных изделий на текущий ремонт и эксплуатацию печей, а также продолжительность эксплуатации отдельных элементов печей показаны в табл. 7, 8.

6. Основные свойства некоторых теплоизоляционных изделий

Изделие	Плотность (объемная масса), кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Максимальная температура применения, °С
Диатомитовый кирпич марок:			
Д-500	500	$0,105 + 0,233 \cdot 10^{-3} t_{\text{ср}}$	900
Д-600	600	$0,132 + 0,233 \cdot 10^{-3} t_{\text{ср}}$	
Пенодиатомитовый кирпич:			
ПД-400	400	$0,078 + 0,314 \cdot 10^{-3} t_{\text{ср}}$	900
ПД-350	350	$0,08 + 0,19 \cdot 10^{-3} t_{\text{ср}}$	920
Шлаковата марок:			
150	150	$0,06 + 0,19 \cdot 10^{-3} t_{\text{ср}}$	750
200	200	$0,06 + 0,197 \cdot 10^{-3} t_{\text{ср}}$	
250	250	$0,07 + 0,198 \cdot 10^{-3} t_{\text{ср}}$	
Вермикулит вспученный	150	$0,072 + 0,255 \cdot 10^{-3} t_{\text{ср}}$	1100
Перлитокерамические плиты ПК-350	350	$0,087 + 0,185 \cdot 10^{-3} t_{\text{ср}}$	900
Стекловата	200	$0,037 + 0,256 \cdot 10^{-3} t_{\text{ср}}$	600
Плиты:			
из минеральной ваты	200...600	$(0,075 + 0,23 \cdot 10^{-3}) t_{\text{ср}}$	600
асбестоцементные	300...500	$(0,085 + 0,198 \cdot 10^{-3}) t_{\text{ср}}$	450
Полотно асбестовое армированное	900...1000	$(0,157 + 0,221 \cdot 10^{-3}) t_{\text{ср}}$	500
Муллитокремнеземистые плиты ПТМК*	210...450	0,142...0,36 (в интервале температур 600...1200 °С)	до 1500

* Изделия могут использоваться для основной футеровки свода и стенок печей.

7. Нормы расхода огнеупорных изделий на текущий ремонт и эксплуатацию печей (кг на 1 т продукции)

Печи	Виды огнеупорных изделий			
	шамот- ные	динасо- вые	хромагне- зитовые	трепельные или диатомовые
Камерные для нагрева под ковку или штамповку слитков и заготовок	8...20	—	10...30	0,3...1,0
Методические и полуметодические для нагрева под ковку, штамповку и прокатку слитков и заготовок*	3...8	3	0,5...1,0	0,3...1
Для термообработки**	5...15	—	—	0,5...1,5

* Меньшие значения — для цехов производительностью 50 000 т в год и выше; большие — для цехов производительностью 10 000 т в год и ниже.
** Меньшие значения для цехов производительностью 20 000 т в год и выше; большие — для цехов производительностью 5000 т в год и ниже.

8. Продолжительность эксплуатации различных элементов кладки

Элементы	Продолжитель- ность, мес.	Элементы	Продолжитель- ность, мес.
Нагрев до 1000 °С		Нагрев свыше 1100 °С	
Своды	12...18	Своды печей* и камер**	3...6
Стенки печей	12...24	Стенки печей* и камер**	4...8
Перевалы, стенки, облицовка окон и другие наиболее изнашиваемые части	6...12	Поды печей и камер**	1...3***
		Своды, стенки и поды подогривательных камер**	12...36

* Камерных.
** Методических печей.
*** Чистка пода от шлака каждую неделю или раз в две недели.

2. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЛАМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Для оценки эффективности работающих нагревательных печей проводят экспериментальное исследование по определению статей теплового баланса и основных теплотехнических показателей, которые рассматриваются совместно на основе одной общей модели теплообмена (рис. 19) [1].

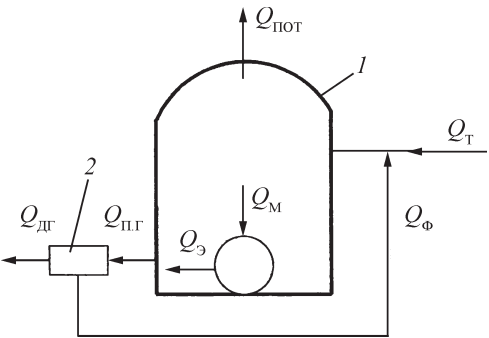


Рис. 19. Схема теплообмена печи:
1 — печь; 2 — рекуператор; $Q_{д.г.}$ — потери теплоты с дымовыми газами

Статьи прихода теплоты при работе нагревательной печи:

химическая теплота сгорания топлива $Q_T = (1 - A)B\tau Q_H^p$, Дж;

суммарная физическая теплота топлива и воздуха $Q_\phi = B\tau(q_T + q_v)$, Дж.

Теплота экзотермических реакций Q_9 , выделяющаяся при окислении железа, $Q_9 = 5,7 \cdot 10^6 Ma$, Дж; где B — расход топлива в единицу времени в $\text{м}^3/\text{с}$ для газа или в $\text{кг}/\text{с}$ для мазута; τ — время нагрева садки печи для периодически действующих печей, с, для непрерывно действующих печей $\tau = 1$ с; Q_H^p — низшая теплота сгорания топлива в $\text{Дж}/\text{м}^3$ для газа или в $\text{Дж}/\text{кг}$ для мазута; A — доля несгоревшего топлива вследствие химической неполноты сгорания; q_T — физическая теплота единицы объема газообразного топлива, $\text{Дж}/\text{м}^3$ (физическая теплота мазута не учитывается); q_v — физическая теплота, вносимая нагретым воздухом, приходящимся на единицу объема или массы газообразного или жидкого топлива соответственно, $\text{Дж}/\text{м}^3$ или $\text{Дж}/\text{кг}$; M — масса садки металла в периодически действующей печи или производительность непрерывно действующей печи за единицу времени, кг; a — доля угара металла за время нагрева садки металла в периодически действующей печи или за единицу времени в непрерывно действующей печи.

Перечислим основные статьи расхода теплоты нагревательной печи (см. рис. 19):

Полезная теплота для нагрева металла $Q_M = Mc_M(t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}})$, Дж, в периодически действующих печах за время τ или единицу времени для непрерывно действующих печей ($\tau = 1$); где c_M — средняя теплоемкость металла в диапазоне начальной $t_{\text{нач}}$ и конечной $t_{\text{кон}}$ температур нагрева металла.

Суммарные потери теплоты $Q_{\text{пот}}$ учитывают потери теплоты за счет те-

плопроводности кладки печи $Q_{\text{тепл}}$, излучением через открытые окна печи $Q_{\text{изл}}$, с выбивающимися печными газами $Q_{\text{выб}}$, с охлаждающей водой $Q_{\text{охл}}$ за время τ или при $\tau = 1$, соответственно, потери на аккумуляцию теплоты кладкой печи $Q_{\text{акк}}$ для периодически действующих печей:

$$Q_{\text{пот}} = Q_{\text{тепл}} + Q_{\text{изл}} + Q_{\text{выб}} + Q_{\text{охл}} + Q_{\text{акк}}, \text{ Дж.}$$

Теплота печных газов

$$Q_{\text{п.г}} = \beta \tau j v_{\text{п.г}}, \text{ Дж,}$$

где j — энтальпия печных газов, $\text{Дж}/\text{м}^3$; $v_{\text{п.г}}$ — объем печных газов при сгорании 1 м^3 газа или 1 кг мазута, $\text{м}^3/\text{м}^3$ или $\text{м}^3/\text{кг}$.

Приравняв суммы статей прихода и расхода теплоты, можно получить:

$$B = \frac{Q_M + Q_{\text{пот}} - Q_9}{\tau[(1 - A)Q_H^p + q_T + q_v - j v_{\text{п.г}}]},$$

$\text{м}^3/\text{с}$ для газа, $\text{кг}/\text{с}$ для мазута.

В табл. 9 приведены формулы взаимозависимости показателей нагревательных печей. На главной диагонали сверху вниз направо приведены основные теплотехнические показатели нагревательных печей: пирометрический коэффициент $\eta_{\text{пир}}$, коэффициент потери теплоты с печными газами $\eta_{\text{п.г}}$, коэффициент использования теплоты в рабочем пространстве печи $\eta_{\text{и.т}}$, термический КПД η_T и эффективный $\eta_{\text{эф}}$; где t_d и t_k — действительная и калориметрическая температуры горения топлива; β — коэффициент, равный отношению средних теплоемкостей смеси печных газов в интервале температур от 0°C до t_k и от 0°C до t_d ; в зависимости от условий сжигания топлива $\beta = 1,03 \dots 1,15$ [2].

В формулах взаимозависимости $K_{\text{пот}} = Q_{\text{пот}} / Q_M$ — коэффициент сум-

9. Формулы взаимозависимости теплотехнических показателей пламенных печей

Показатели	$\eta_{\text{пир}}$	$\eta_{\text{п.г}}$	$\eta_{\text{и.т}}$	$\eta_{\text{т}}$	$\eta_{\text{эф}}$
$\eta_{\text{пир}} = \frac{t_{\text{д}}}{t_{\text{к}}} = \beta \left(1 - \frac{Q_{\text{м}} + Q_{\text{пот}}}{Q_{\text{т}} + Q_{\text{ф}} + Q_{\text{э}}} \right)$		$\beta \eta_{\text{п.г}}$	$\beta (1 - \eta_{\text{и.т}})$	$\beta [1 - \eta_{\text{т}} (1 + K_{\text{пот}})]$	$\beta \left(1 - \frac{1 + K_{\text{пот}}}{1 + K_{\text{ф}} + K_{\text{э}}} \eta_{\text{эф}} \right)$
$Q_{\text{п.г}} = \frac{\eta_{\text{пир}}}{\beta}$		$1 - \frac{Q_{\text{м}} + Q_{\text{пот}}}{Q_{\text{т}} + Q_{\text{ф}} + Q_{\text{э}}}$	$1 - \eta_{\text{и.т}}$	$1 - \eta_{\text{т}} (1 + K_{\text{пот}})$	$1 - \frac{1 + K_{\text{пот}}}{1 + K_{\text{ф}} + K_{\text{э}}} \eta_{\text{эф}}$
$\eta_{\text{и.т}} = 1 - \frac{\eta_{\text{пир}}}{\beta}$		$1 - \eta_{\text{п.г}}$	$\frac{Q_{\text{м}} + Q_{\text{пот}}}{Q_{\text{т}} + Q_{\text{ф}} + Q_{\text{э}}}$	$\eta_{\text{т}} (1 + K_{\text{пот}})$	$\frac{1 + K_{\text{пот}}}{1 + K_{\text{ф}} + K_{\text{э}}} \eta_{\text{эф}}$
$\eta_{\text{т}} = \frac{1 - \frac{\eta_{\text{пир}}}{\beta}}{1 + K_{\text{пот}}}$		$\frac{1 - \eta_{\text{п.г}}}{1 + K_{\text{пот}}}$	$\frac{\eta_{\text{и.т}}}{1 + K_{\text{пот}}}$	$\frac{Q_{\text{м}}}{Q_{\text{т}} + Q_{\text{ф}} + Q_{\text{э}}}$	$\frac{\eta_{\text{эф}}}{1 + K_{\text{ф}} + K_{\text{э}}}$
$\eta_{\text{эф}} = \frac{1 + K_{\text{ф}} + K_{\text{э}}}{1 + K_{\text{пот}}} \left(1 - \frac{\eta_{\text{пир}}}{\beta} \right)$		$\frac{1 + K_{\text{ф}} + K_{\text{э}}}{1 + K_{\text{пот}}} (1 - \eta_{\text{п.г}})$	$\frac{1 + K_{\text{ф}} + K_{\text{э}}}{1 + K_{\text{пот}}} \eta_{\text{и.т}}$	$\eta_{\text{т}} (1 + K_{\text{ф}} + K_{\text{э}})$	$\frac{Q_{\text{м}}}{Q_{\text{т}}}$

марных потерь теплоты; $K_{\text{ф}} = Q_{\text{ф}} / Q_{\text{т}} = (q_{\text{т}} + q_{\text{в}}) / Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ — коэффициент физической теплоты топлива и воздуха; $K_{\text{э}} = Q_{\text{э}} / Q_{\text{т}}$ — коэффициент теплоты экзотермических реакций.

Формулы, приведенные в табл. 9, дают возможность при разработке технического задания на проект печи обосновать выбор условий сжигания топлива и оценить теплотехнические показатели альтернативных вариантов и принять наиболее экономичный.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Богданов Э.Ф., Коробова Н.В.** Тепловой баланс и основные теплотехнические показатели нагревательных печей // Заготовительные производства в машиностроении, 2003, № 2
2. **Богданов Э.Ф., Коробова Н.В.** Экономия природного газа при работе нагревательных печей // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2002, № 2. С. 31–37.

Глава 7

ЭЛЕКТРОНАГРЕВ И ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

1. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОНАГРЕВА МЕТАЛЛА ПОД КОВКУ И ШТАМПОВКУ

В кузнечно-штамповочном производстве для нагрева заготовок из различных сталей, цветных металлов и сплавов в интервале 800...1300 °С применяют электрические печи сопротивления, индукционные нагревательные установки, установки электроконтактного нагрева и ванны с расплавами сталей, стекла и электролитов.

Электронагрев по расходу энергии на тонну заготовок менее экономичен, чем нагрев в пламенных печах. Однако его широко применяют, так как он повышает производительность труда, позволяет провести полную автоматизацию и обеспечить высокую стабильность процесса, улучшить условия труда и сократить потери металла на окалинообразование.

Потери металла в виде окалины при индукционном и электроконтактном нагреве составляют 0,2...0,4 % массы нагреваемого металла, что в 5–10 раз меньше, чем при нагреве в пламенных печах. Уменьшение окалины повышает качество поковок и увеличивает стойкость штампов.

Технологические преимущества электронагревательных устройств особенно эффективны в серийном и массовом поточном производстве.

Наиболее распространенными металлами, обрабатываемыми в кузнечно-штамповочных цехах, являются различные стали. Поэтому в дальней-

шем речь будет идти о нагреве сталей, если нет особых оговорок.

Нагрев в электрических печах сопротивления

В высокотемпературных (до 1600 °С) и среднетемпературных (до 1350 °С) электрических печах сопротивления, применяемых для нагрева заготовок из стали и цветных металлов под пластическую деформацию, обеспечивается в рабочем пространстве автоматическое регулирование температуры и высокая равномерность нагрева заготовок. Тепловая изоляция высокотемпературных и среднетемпературных печей состоит минимум из двух слоев: внутреннего огнеупорного, способного работать при рабочей температуре печи и достаточно механически прочного (этот слой воспринимает все нагрузки от нагреваемых изделий и нагревателей); наружного теплоизоляционного, освобожденного от каких-либо нагрузок, кроме собственного веса, но зато обеспечивающего уменьшение до минимума тепловых потерь. Для внутреннего огнеупорного теплоизоляционного слоя в среднетемпературных электрических печах применяют шамотно-глиняные и шамотно-каолиновые теплоизоляционные изделия, предельная рабочая температура которых 1350 °С.

Основные свойства некоторых теплоизоляционных изделий даны в гл. 6. В высокотемпературных электрических печах огнеупорную изоляцию выполняют из высокоглиноземистых корундовых пенолегковесов с допустимой температурой применения 1600 °С. Для наружной тепловой

изоляции применяют каолиновую вату или сыпучий материал из обожженного вермикулита с максимальной допустимой температурой применения 1100 °С.

Нагревательные элементы печей сопротивления изготавливают из сплавов с высоким омическим сопротивлением. В диапазоне температур 1000...1100 °С применяют нихромовые сплавы, на-

пример, Х15Н60, а при более высоких температурах — железохромоалюминиевые сплавы.

В печах с рабочими температурами 1300...1500 °С применяют силитовые (карборундовые) и дисилицидмолибденовые нагреватели, имеющие форму стержней различных размеров. Основные материалы для нагревательных элементов приведены в табл. 1.

1. Основные свойства материалов для нагревательных элементов

Материал	Плотность, кг/дм ³	Удельное электрическое сопротивление при 20 °С ×10 ⁶ , Ом·м	Температура плавления, °С	Максимальная рабочая температура, °С
Сплавы				
Нихромы:				
X20Н80-Н	8,4	1,1	1400	1100
X20Н80-ТЗ	8,2	1,27	1400	1100
X15Н60-Н	7,9	1,1	1390	1000
Железохромоникелевые:				
X25Н20С2	7,84	0,92	1420	900
X23Н18	7,8	0,9	1420	900
Нихромы с алюминием:				
ХН70Ю	7,9	1,34	1400	1200
X15Н60Ю3А	7,9	1,21	1390	1200
Железохромоалюминиевые:				
0Х27Ю5А	7,2	1,42	1525	1300
0Х23Ю5А	7,27	1,35	1525	1200
Чистые тугоплавкие металлы				
Молибден	10,2	0,052	2625	1700/2200*
Тантал	16,6	0,15	3000	2500/2800*
Вольфрам	19,34	0,05	3400	2500/2800*
Ниобий	8,5	0,17	2470	1700/2200*
Неметаллические материалы				
Карборунд	2,3	800...1900	—	1500
Графит	1,6	8...13	—	2300/2800*
Уголь	1,6	40...60	—	2300/2800*
Дисилицид молибдена	5,6	0,2...0,4	—	1700

* Числитель — в вакууме, знаменатель — в защитной атмосфере.

В кузнечно-штамповочном производстве применяют камерные и карусельные электрические печи.

Типовая конструкция камерной печи сопротивления показана на рис. 1. В ней применены дисилицидмолибденовые нагреватели с рабочей температурой 1500...1600 °С. Печь защищена от внешних повреждений металлическим кожухом 2. Печь футерована огнеупорным кирпичом 7 и теплоизоляционным материалом 9. В верхней части печи смонтированы токоподвод 1 и уплотнитель 3. Внутри камеры расположены нагреватель 5, термопара 6 и карборундовая подовая плита 8. Печь снабжена экраном 10, кожухом 4, кронштейном дверцы 11 и ручкой 12 дверцы 13. В камерной электрической печи можно поддерживать температуру с точностью $\pm 5^\circ\text{C}$ и создавать любую рабочую атмосферу, используя защитные газы и безокислительную среду.

При нагреве заготовок до 1300 °С расходуется примерно 430 МДж электроэнергии на тонну нагретого металла. Крупные заготовки, которые невозможно загрузить в обычную камерную печь, нагревают в камерных печах с подвижным подом (рис. 2).

Для нагрева большого количества однотипных заготовок часто в кузнечных цехах применяют карусельные электрические печи (рис. 3). Печь имеет кольцеобразную форму. Стены и свод ее неподвижны, а под печи вращается вокруг вертикальной оси. Заготовки через загрузочное окно укладывают в печь на движущийся под, который в печи делает полный круг, затем вынимают их из печи через окно для выгрузки. Электрические печи легко могут быть механизированы и автоматизированы, что позволяет встраивать их в автоматические поточные линии.

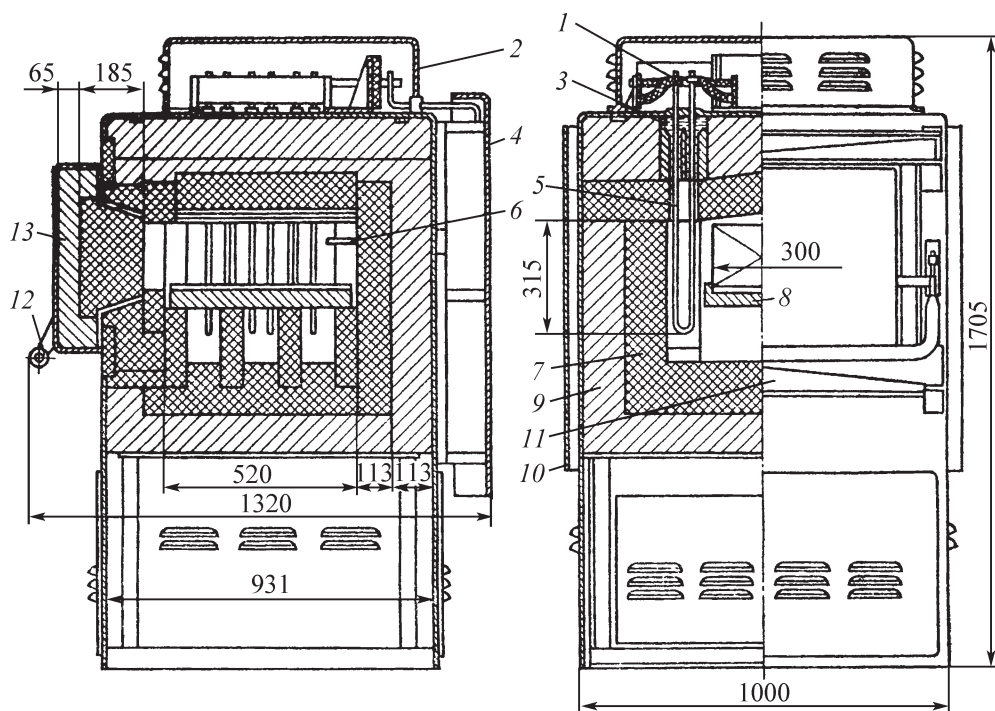


Рис. 1. Конструкция камерной высокотемпературной печи с нагревателями из дисилицидмолибдена

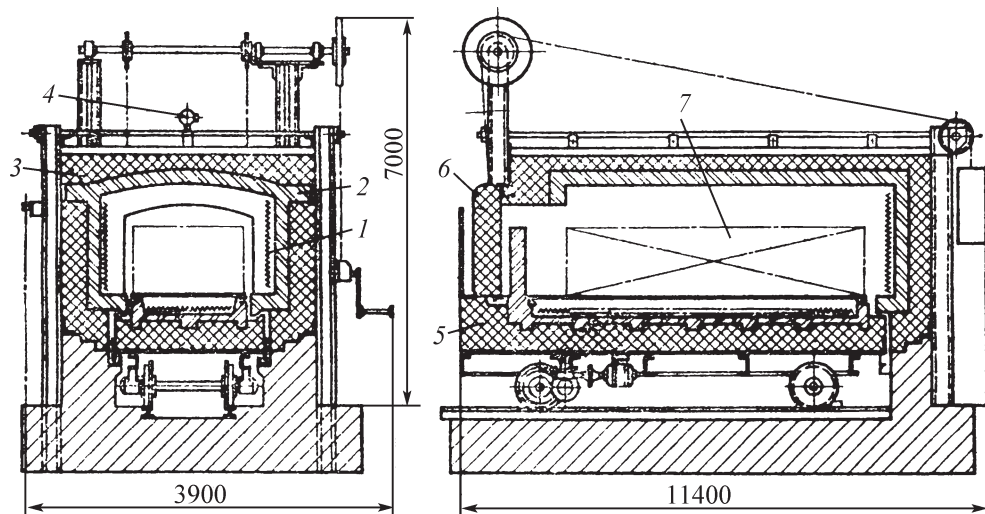


Рис. 2. Камерная печь с выдвижным подом:

1 — нагреватели; 2 — огнеупорная кладка; 3 — теплоизоляция; 4 — термопара; 5 — выдвижной под; 6 — дверца; 7 — заготовка

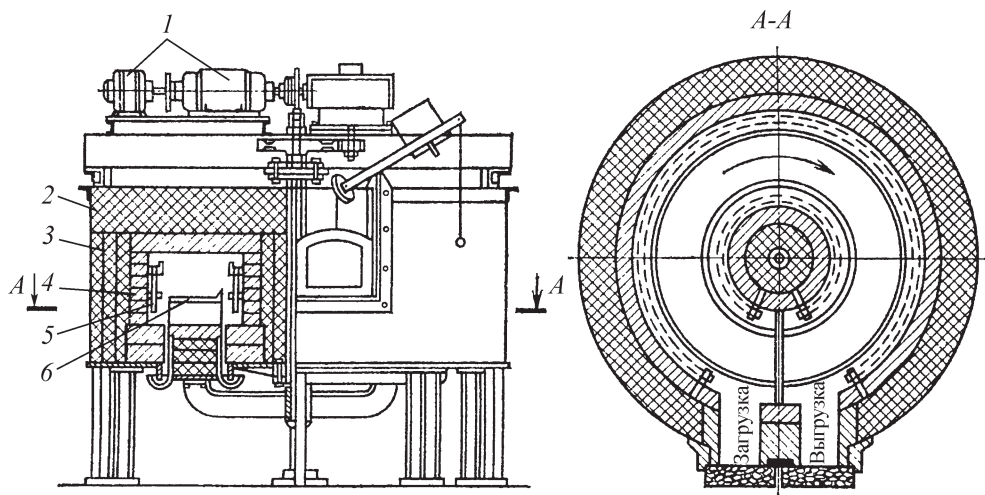


Рис. 3. Карусельная электрическая печь:

1 — привод с редуктором; 2 — каркас печи; 3 — теплоизоляция; 4 — огнеупорная кладка; 5 — нагреватель; 6 — жароупорная плита

Индукционный нагрев

Индукционный нагрев основан на передаче на малые расстояния специально сформированного потока электромагнитной энергии и превращении ее в тепловую в заготовке. Формирование направленного потока электромагнитной энергии осуществляется с по-

мощью индуктирующих катушек-индукторов плоской или цилиндрической формы, выполненных из водоохлаждаемой медной трубки.

Индукторы подключают к специальным генераторам переменного напряжения различных стандартных частот.

Если внутрь индуктора поместить металлическую заготовку, то по закону электромагнитной индукции в ней возникает переменный электрический ток, под действием которого в заготовке будет выделяться тепловая энергия. Метод нагрева проводящих тел индуктированными токами получил название индукционного.

Вследствие поверхностного эффекта — известного явления неравномерного распределения переменного тока в проводниках — плотности тока в индуктирующем проводнике и протекающего по заготовке неодинаковы по их сечению. Наибольшие значения плотностей тока наблюдаются на поверхностях индуктирующего проводника и нагреваемой заготовки. Плотности тока постепенно уменьшаются по экспоненциальному закону по мере удаления от этих поверхностей по следующей зависимости:

$$\delta_x = \delta_0 e^{-\sqrt{\frac{\pi \mu_a f}{\rho}} x}, \quad (1)$$

где δ_0 и δ_x — плотность тока на поверхности и на расстоянии x от поверхности заготовки, А/м²; e — основание натуральных логарифмов, равное 2,718; f — частота тока, с⁻¹, (Гц); ρ — удельное электрическое сопротивление материала заготовки, Ом·м; μ_a — абсолютная магнитная проницаемость материала заготовки, Ом·с/м; $\mu_a = \mu_0 \mu$; μ_0 — магнитная постоянная (магнитная проницаемость вакуума), $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Ом·с/м.

Найдем глубину проникновения тока Δ — расстояние (в метрах) от поверхности заготовки, на котором плотность тока δ уменьшается в e раз по сравнению с δ_0 . В этом слое выделится примерно 90 % тепловой энергии вихревых токов. Приняв $\delta_x / \delta_0 = e^{-1}$ и приравняв $x = \Delta$, из формулы (1) получим

$$\Delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \mu_0 f}} = 503 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}}, \quad (2)$$

где μ — относительная магнитная проницаемость материала заготовки, безразмерная величина.

Величина Δ не зависит от размеров (диаметра) заготовки, а зависит только от ρ , μ и f . В свою очередь, ρ и μ зависят от температуры заготовки.

При индукционном нагреве кузнечных заготовок есть понятие сквозного нагрева, под которым подразумевается высокопроизводительный равномерный нагрев металла внутренними источниками тепловой энергии.

Для ферромагнитных и немагнитных сталей при нормальной температуре $\rho = (1...2)10^{-7}$ Ом·м. С ростом температуры удельное электрическое сопротивление ρ монотонно возрастает в 5–10 раз, достигая при температуре 800...900 °С значения примерно 10^{-6} Ом·м. При дальнейшем увеличении температуры значения ρ различных сталей выравниваются и становятся почти одинаковыми, равными примерно $(1,2...1,3)10^{-6}$ Ом·м. При горячем расчетном режиме сквозного нагрева заготовок для всех марок сталей можно принимать $\rho = 10^{-6}$ Ом·м.

У ферромагнитных сталей с повышением температуры магнитные свойства вначале снижаются, а затем исчезают. Температура, при которой теряются магнитные свойства, называют точкой Кюри. Для железа эта температура 768 °С, для никеля 360 °С, для кобальта 1150 °С.

Для холодной углеродистой стали $\mu = 100...250$, $\Delta_{\text{хол}} = 20/\sqrt{f}$ мм. Чем больше в стали содержание углерода, тем ниже величина μ . При нагреве выше точки Кюри для всех марок стали $\mu = 1$, $\Delta_{\text{гор}} = 600/\sqrt{f}$ мм.

Для диамагнитных материалов (медь, латунь) и для парамагнитных материа-

2. Глубина проникновения, мм, тока в металл

Материал	Температура, °С	Удельное электрическое сопротивление $\rho \cdot 10^8$, Ом·м	Относительная магнитная проницаемость	Глубина проникновения тока в металл при различных частотах, Гц						
				50	1000	2500	8000	70000	150000	250000
Сталь	20	10	60	2,8	0,64	0,40	0,22	0,07	0,05	0,04
	1000	130	1	85,5	19,0	12,0	6,7	2,21	1,55	1,20
Медь	20	2	1	9,5	2,1	1,34	0,75	0,35	0,16	0,13
	1000	10	1	23,5	5,1	3,3	1,8	0,55	0,39	0,32
Латунь	20	7	1	18,7	4,2	2,57	1,48	0,45	0,32	0,26
	850	14,7	1	27,4	6,1	3,86	2,16	0,66	0,47	0,39
Алюминий	20	2,9	1	12,0	2,7	1,7	0,95	0,31	0,21	0,17
	600	11,3	1	24,0	5,4	3,4	1,7	0,60	0,42	0,34

лов (алюминий, титан, кобальт, никель) $\mu = 1$, переменной величиной является лишь ρ . Для холодной меди $\rho = 2 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, для меди при горячем расчетном режиме $\rho = 10 \cdot 10^{-8}$ Ом·м; для латуни соответственно $\rho = 7 \cdot 10^{-8}$ и $\rho = 14 \cdot 10^{-8}$ Ом·м; для алюминия $\rho = 2,9 \cdot 10^{-8}$ и $\rho = 11,3 \cdot 10^{-8}$ Ом·м. Для титанового сплава ВТ5 $\rho = 1,08 \cdot 10^{-6}$ и $\rho = 1,23 \cdot 10^{-6}$ Ом·м.

Для диамагнитных и парамагнитных материалов величина Δ с нагревом изменяется меньше. Для меди $\Delta_{\text{хол}} = 70/\sqrt{f}$ и $\Delta_{\text{гор}} = 160/\sqrt{f}$ мм; для латуни $\Delta_{\text{хол}} = 130/\sqrt{f}$ и $\Delta_{\text{гор}} = 190/\sqrt{f}$ мм; для алюминия $\Delta_{\text{хол}} = 80/\sqrt{f}$ и $\Delta_{\text{гор}} = 170/\sqrt{f}$ мм; для аустенитной стали $\Delta_{\text{хол}} = 450/\sqrt{f}$ и $\Delta_{\text{гор}} = 600/\sqrt{f}$ мм.

В табл. 2 представлены значения глубины проникновения тока в некоторых металлах при различных частотах и температурах.

Выбор частоты тока. При выборе частоты для индукционного нагрева необходимо учитывать, что существ-

венное влияние на производительность и КПД индукционных нагревателей оказывает отношение диаметров нагреваемых заготовок к глубине проникновения тока в металл. Если отношение диаметра нагреваемой заготовки к глубине проникновения тока больше 10, то передача энергии происходит с высоким КПД. Однако при этом объемная удельная мощность (Вт/м^3), выделяемая в металле заготовки ниже максимально возможной, получаемой при отношении диаметра заготовки к глубине проникновения, приблизительно равно 4. Поэтому при сквозном нагреве с целью повышения производительности процесса желательно обеспечивать указанное выше соотношение, при котором в нагреваемой заготовке выделяется максимальное значение удельной объемной мощности. Это достигается рациональным выбором частоты источника питания индукционного нагревателя.

Для сквозного нагрева стальных заготовок различного диаметра рекомендуется применять следующие частоты.

Частота тока индуктора, Гц	500	1000	2500	4000	8000	66...103 и более
Диаметр нагреваемой заготовки, мм . . .	90...180	60...120	40...80	30...60	20...40	20 и менее

При выборе высокочастотного преобразователя для сквозного индукционного нагрева заготовок определенной номенклатуры предпочтение следует отдавать минимально допустимым частотам. Чем меньше частота тока в пределах рекомендаций, тем меньше минимально возможное время нагрева.

Предельные диаметры заготовок из различных материалов в случае применения промышленной частоты 50 Гц приведены в табл. 3.

В процессе нагрева температура металла (рис. 4) на поверхности (t_0) и в центре заготовки ($t_{\text{ц}}$) изменяются во времени (τ) по различным функцио-

нальным зависимостям [$(t_0(\tau) \text{ и } t_{\text{ц}}(\tau))$]; разность Δt определяет степень неравномерности распределения температуры по сечению в момент окончания нагрева заготовки. При этом перепад температур ΔT в 100...150 °C является практически допустимым для большинства сталей, а в 80...150 °C — для алюминия и его сплавов. За время передачи нагретой заготовки к кузнечной машине (2... 3 с) эта разность температур существенно уменьшается.

При индукционном нагреве превращение электрической энергии в тепловую в основном происходит в поверхностном слое заготовки, а остальная ее

3. Предельные диаметры заготовок при индукционном нагреве на промышленной частоте

Материал	Температура, °C	Диаметр заготовки, мм	
		минимальный	оптимальный
Алюминий	600	70	90
Медь	1000	70	90
Никель	1200	120	210
Титан	1200	200	400

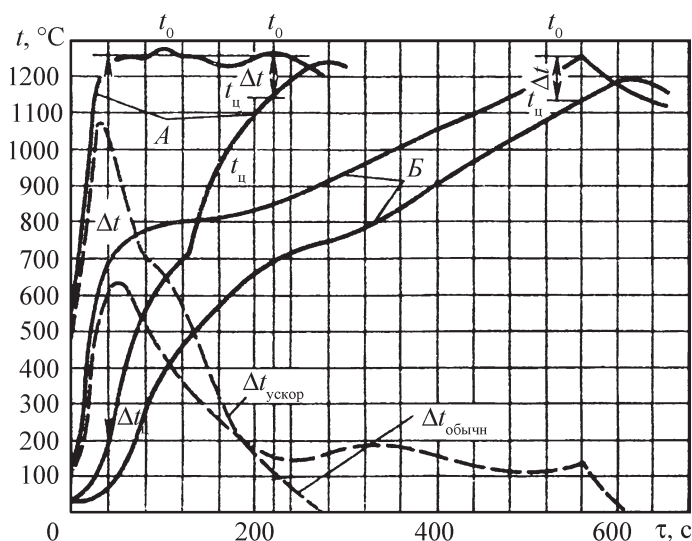


Рис. 4. Зависимость температуры от времени нагрева заготовок диаметром 100 мм:

A — при ускоренном нагреве; *B* — при обычном нагреве; $\Delta t_{\text{ускор}}$, $\Delta t_{\text{обыч}}$ — температурные перепады между поверхностью и центром заготовки при ускоренном и обычном нагреве

часть нагревается за счет теплопроводности. Поэтому равномерное распределение температуры по сечению для данной частоты тока можно получить только при определенной продолжительности нагрева. На продолжительность нагрева заготовки существенно влияет характер изменения во времени температуры поверхности нагреваемого металла. В практике сквозного электронагрева под ковку и штамповку применяют ускоренные или обычные режимы нагрева заготовок (см. рис. 4).

При ускоренном режиме нагрева температура поверхности быстро достигает конечного значения и в дальнейшем поддерживается на этом уровне. В начале нагрева температура в центре заготовки значительно ниже температуры ее поверхности. Между поверхностью и центром создается большой перепад температур, за счет которого теплота от поверхности быстро проникает к центру.

В процессе обычного нагрева температура поверхности заготовки возрастает

медленно, но с такой средней скоростью, при которой в момент достижения заданной температуры нагрева между поверхностью и центром устанавливается допустимый температурный перепад 100...150 °С. Общая продолжительность обычного нагрева в 2,5–3 раза больше, чем ускоренного. Дальнейшее увеличение продолжительности нагрева нецелесообразно, так как связано с ростом потерь теплоты.

Выбор времени нагрева. Ввиду сложности точного аналитического расчета, связывающего нестационарный процесс теплообмена с существенно нелинейными характеристиками нагреваемых заготовок, на практике время нагрева заготовки из определенного материала и заданного диаметра при использовании тока той или иной частоты обычно определяют по таблицам или графикам, которые составлены по опытным данным для широкой номенклатуры заготовок и частот.

В табл. 4 приведены значения времени нагрева заготовок из углероди-

4. Время нагрева, с, до 1250 °С стальных цилиндрических заготовок током стандартных частот

Диаметр заготовки	Частота, Гц											
	500		1000		2500		4000		8000		10000	
	О	ПТП	О	ПТП	О	ПТП	О	ПТП	О	ПТП	О	ПТП
20	—	—	—	—	—	—	—	—	10	4	11	4,5
30	—	—	—	—	—	—	—	—	28	12	31	12,5
40	22	9	30	12	43	18	50	20	58	24	61	25
60	72	32	96	39	123	50	134	56	148	60	151	61
80	162	66	202	82	243	98	259	105	278	112	283	114
100	295	119	350	141	403	163	425	172	449	181	455	183
120	467	188	538	217	605	244	632	255	660	266	667	269
140	681	275	767	310	848	342	880	355	—	—	—	—
160	936	378	1038	419	1131	457	1170	472	—	—	—	—
180	1232	498	1349	545	1456	588	1500	606	—	—	—	—
200	1568	633	1700	686	1822	735	1870	755	—	—	—	—

Примечание. О — обычный нагрев; ПТП — нагрев при постоянной температуре поверхности.

стой конструкционной стали различного диаметра токами стандартных частот при обычном и ускоренном режимах нагрева¹.

Обычный режим нагрева, как правило, осуществляют при удельной мощности, близкой к постоянной, в индукторах, витки которых равномерно распределены по всей длине. Преимущество обычного режима нагрева заключается в простоте индуктора и в возможности использования его для нагрева заготовок, близких по диаметру, но отличающихся по длине.

Ускоренный нагрев применяют, как правило, для заготовок одинаковой длины. При этом требуется переменная удельная мощность, передаваемая заготовке в течение всего цикла нагрева. Для этого применяют индукторы усложненной конструкции с неравномерной плотностью витков по длине. Главным преимуществом устройств для ускоренного режима нагрева является меньшая длина индуктора при одной и той же производительности процесса в сравнении с длиной индуктора для обычного режима нагрева.

На рис. 5 приведены графики продолжительности обычного нагрева до

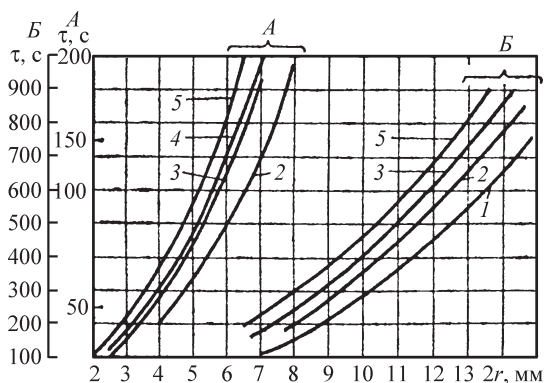


Рис. 5. Время нагрева заготовок при частоте Гц: 1 — 500; 2 — 1000; 3 — 2500; 4 — 4000; 5 — 10000

1250 °С стальных заготовок разных диаметров (перепад температур между поверхностью и центром в конце нагрева 100 °С). Для квадратных заготовок со стороной a принимают эквивалентный диаметр $2r = 1,14a$.

Графики (рис. 5) показывают продолжительность нагрева заготовок для промежуточных значений их диаметров.

Мощность индукционного нагревателя.

При выборе источника питания (преобразователя частоты) и силового электротехнического оборудования индукционной технологической установки необходимо знать мощность нагревателя. Исходными данными для расчета являются: диаметр нагреваемой заготовки, необходимая производительность, кг/ч, и температура нагрева, °С.

Мощность, кВт, выделяемая в нагреваемой заготовке,

$$N_3 = \frac{ctG}{3,6 \cdot 10^5},$$

где t — температура нагрева, °С; c — удельная теплоемкость нагреваемого металла, Дж/(кг·°С); G — необходимая производительность, кг/ч.

Полезная N_n мощность индукционного нагревателя превышает полезную мощность N_3 , выделяемую в нагреваемой заготовке, на величину тепловых и электрических потерь, которые учитываются общим коэффициентом полезного действия ($\eta = 0,5 \dots 0,6$): $N_n = N_3 / \eta$.

При использовании индукционного нагрева в конкретном технологическом процессе возникает необходимость в определении длины индуктора. Для этого вначале, зная диаметр нагреваемой заготовки, по табл. 6 или графику (см. рис. 5) находят время нагрева τ , с, и вычисляют массу 1 м дли-

¹ В литературе иногда называют режимом с постоянной температурой поверхности (ПТП).

ны заготовки L , кг/м. Затем по заданной производительности G , кг/ч, находят среднюю скорость, м/с, перемещения заготовки внутри индуктора

$$v = \frac{G}{L3600}.$$

Длина индуктора, м, $l_{\text{и}} = vt$.

Для нагрева стальных заготовок диаметром 60 мм и более под ковку и штамповку экономически целесообразно использовать комбинированный индукционный нагрев на двух частотах: до 770 °С (несколько выше точки Кюри) — частоту 50 Гц, а в диапазоне 770...1250 °С — частоту 1000 или 2500 Гц.

Индукционная нагревательная установка (рис. 6) работает следующим образом. Трехфазный электродвигатель 2, подключаемый к сети 50 Гц контактором 1, приводит во вращение генератор — преобразователь частоты 3, к которому через согласующий силовой трансформатор 4 подключен индукционный нагреватель 5. Для компенсации реактивной мощности индукционного нагревателя параллельно ему под-

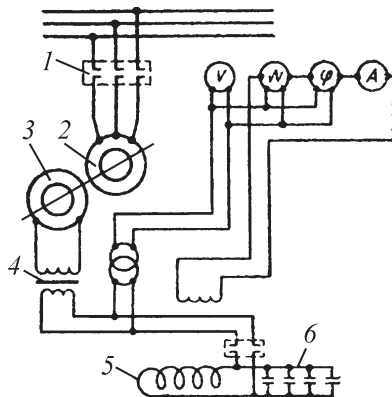


Рис. 6. Принципиальная схема индукционной нагревательной установки:

A, V, W, φ — измерительные приборы

ключена конденсаторная батарея 6. Наряду с электромашинными генераторами в качестве источников питания установок индукционного нагрева широко применяют тиристорные статические преобразователи частоты. Заготовки в индукторе можно нагревать как продольным (рис. 7, а), так и поперечным магнитным полем (рис. 7, б). При нагреве в поперечном магнитном поле время нагрева возрастает в 1,5–2 раза.

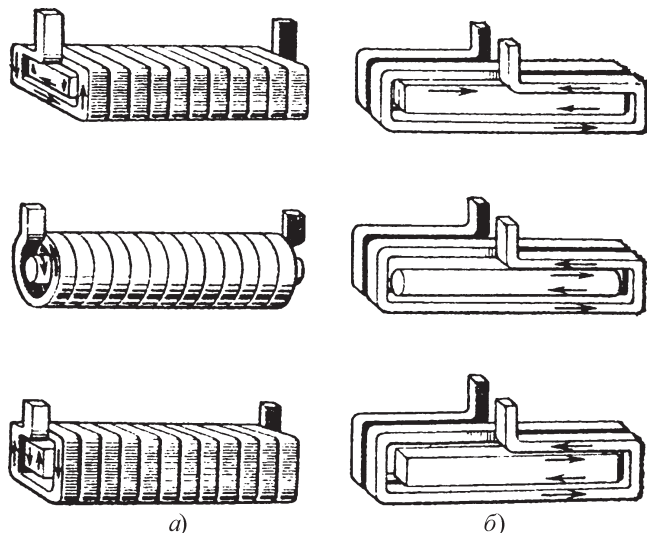


Рис. 7. Нагрев прямоугольных, круглых и квадратных заготовок (стрелками показано мгновенное направление тока в индуктирующем проводе и нагреваемых заготовках)

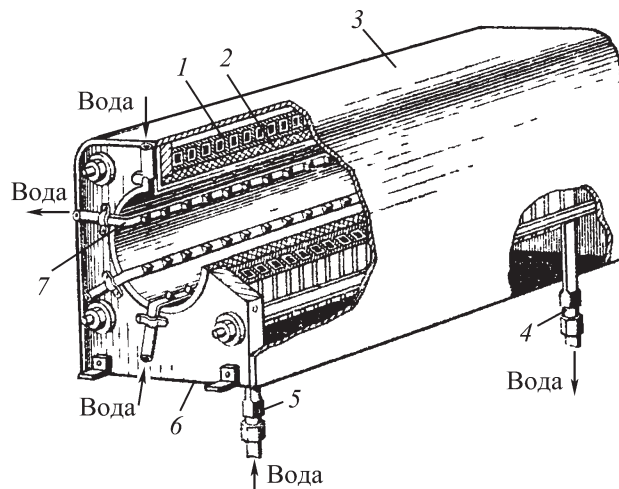


Рис. 8. Индуктор для сквозного нагрева цилиндрических заготовок

Индуктор. Основной элемент индукционной установки — индуктор. На рис. 8 показана конструкция индуктора для сквозного нагрева цилиндрических заготовок. Индуцирующий токопровод 1 выполнен в виде многовитковой катушки, изготовленной из медной водоохлаждаемой трубки прямоугольного сечения. Витки катушки изолированы друг от друга и стянуты между двумя асбоцементными плитами 6 при помощи специальных латунных шпилек с гайками. Индуцирующий токопровод 1 защищен изнутри слоем специальной тепловой изоляции 2, а снаружи — кожухом 3. Через патрубки 5 и

4 осуществляют подачу и слив охлаждающей воды. Для защиты теплоизоляционного слоя от повреждения при перемещении нагреваемых заготовок внутри индуктора смонтированы водоохлаждаемые направляющие 7 из жаропрочной стали.

Типовые секционные конструкции индукторов показаны на рис. 9, 10.

Ниже даны некоторые рекомендации для выбора, расчета и конструирования индукторов.

Удовлетворительный нагрев достигают при следующих геометрических соотношениях размеров индуктора и заготовки: внутренний размер (диа-

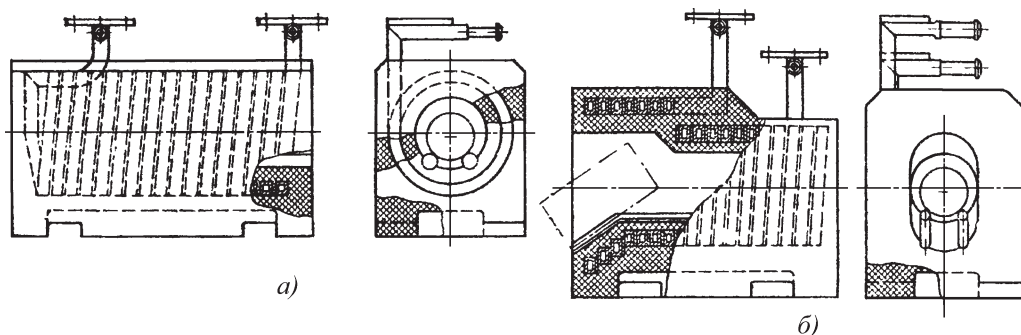


Рис. 9. Типовая секция индуктора:
а — нормальная; б — с расширением на выходе

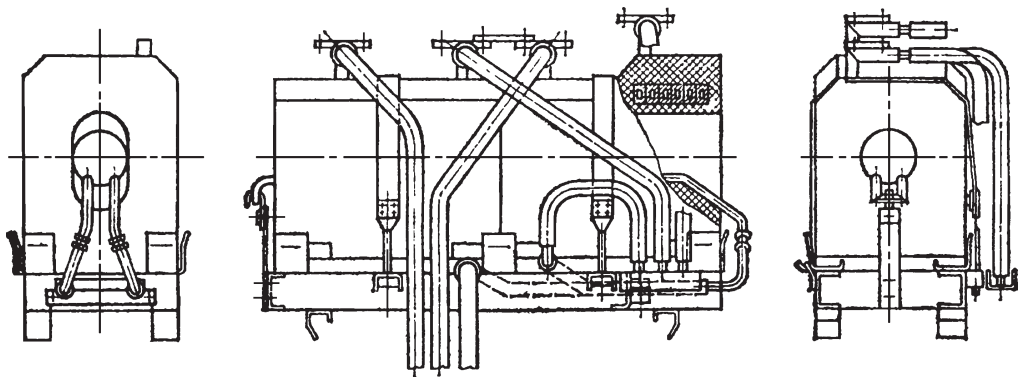


Рис. 10. Индуктор в сборе из двух секций

метр, сторона) сечения индуктора должен быть в 1,5–2 раза больше диаметра или стороны перпендикулярного сечения заготовки, а длина катушки индуктора должна превышать длину одной заготовки или суммарную дли-

Диаметр заготовки, мм 5
Толщина тепловой изоляции, мм 10...15

В индукционных нагревательных установках индуктор устанавливают горизонтально или с небольшим наклоном. Вертикальное расположение оси индуктора нежелательно из-за значительного угара металла (до 3 %) ввиду большого притока воздуха из окружающего пространства в индуктор.

ну нескольких заготовок на один-два диаметра (стороны сечения) нагреваемого металла.

Толщина тепловой изоляции индуктора может быть выбрана в зависимости от диаметра нагреваемой заготовки.

60...125	130...170	170 и более
15...20	25...35	35...40

Безокислительный индукционный нагрев получают в индукторах, снабженных у входного и выходного концов камерами или полностью помещенных в камеру. Камеры заполняют защитным инертным газом.

В табл. 5 приведены параметры индукторов и режимы индукционного нагрева стальных заготовок. Эти пара-

5. Параметры индукторов и режимы нагрева стальных заготовок

Заготовка			Индуктор				Режим					
Диаметр	Длина	Масса, кг	Внутренний диаметр	Длина обмотки	Число витков	Число заготовок в индукторе	Частота тока, Гц	Напряжение, В	Средняя мощность генератора, кВт	Темп выдачи заготовки, с	Время нагрева заготовки, с	Производительность, кг/ч
			мм									
мм												
Обычный нагрев												
56	230	4,4	120	1160	79	5	1	750	240	23	115	690
48	145	2,0	100	540	40	3	2,5	750	80	31	93	230
48	560	7,9	100	650	48	1	2,5	750	140	70	70	405

Окончание табл. 5

Заготовка			Индуктор				Режим					
Диаметр	Длина	Масса, кг	Внутренний диаметр	Длина обмотки	Число витков	Число заготовок в индукторе	Частота тока, Гц	Напряжение, В	Средняя мощность генератора, кВт	Темп выдачи заготовки, с	Время нагрева заготовки, с	Производительность, кг/ч
мм			мм									
55	110	2,0	100	650	48	5	2,5	750	125	20	100	360
65	700	18,1	130	760	40	1	2,5	750	160	140	140	460
65	150	3,9	130	760	40	4	2,5	750	155	33	132	425
19	030	0,066	45	150	10	5	8	127	15	9	45	26
25	140	0,54	80	475	28	3	8	750	80	12	36	165
26	120	0,5	80	560	33	4	8	750	70	14	56	130
Ускоренный нагрев												
120	215	19,0	174	1880	57	8	1	860	650	33	265	2060
95	120	6,6	140	1200	61	9	1	750	465	16	144	1490
80	160	6,3	130	1680	37	10	2,5	1000	485	12	120	1510
70	140	4,2	120	1680	40	12	2,5	1000	540	9	108	1680

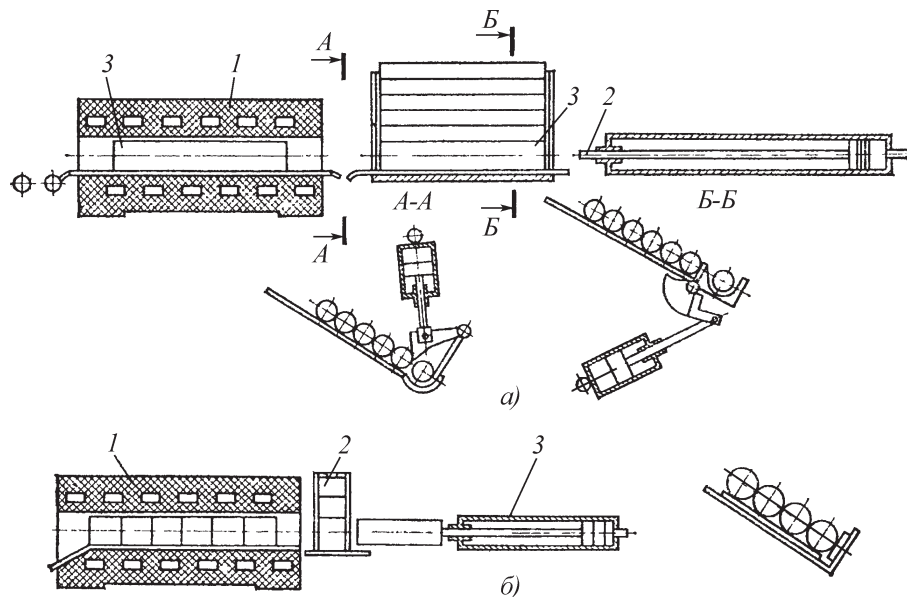
метры и режимы получены из практики индукционного нагрева заготовок перед штамповкой на отечественных заводах и могут служить справочными данными при выборе, разработке и изготовлении аналогичных новых индукторов.

Для работы при напряжении 127 В индуктор подключают через понижающий трансформатор.

Конструкции индукционных нагревателей. Применяют индукционные нагреватели периодического и методического действия.

Схема нагревателя периодического действия показана на рис. 11, а. В индуктор 1 толкателем 2 загружается только одна заготовка 3, которая при достижении заданной температуры нагрева выталкивается с помощью следующей нагреваемой заготовки, загружаемой в индуктор. В дальнейшем процесс периодически повторяется.

На рис. 11, б изображена схема, поясняющая работу индукционного нагревателя методического действия. Мерные заготовки 2 с постоянной скоростью или через интервалы времени перемещаются внутри индуктора 1 с помощью гидравлического или пневматического механизма 3. В индукторе одновременно находится несколько заготовок. Длину индуктора, число заготовок в нем и скорость их перемещения выбирают таким образом, чтобы заготовки на выходе из индуктора имели ковочную температуру и определенный перепад температур между поверхностью заготовки и ее центром. Рекомендуется в индукторе размещать не менее трех заготовок, что обеспечит практически неизменность электрического режима работы нагревателя в момент загрузки холодной заготовки. Продолжительность нагрева одной заготовки в методиче-



ском нагревателе $\tau = n\tau$ (n — число одновременно находящихся в индукторе заготовок; τ — время проталкивания одной заготовки через индуктор).

Методические нагреватели по сравнению с нагревателями периодического действия имеют более высокий КПД (на 10...15 %) и производительность.

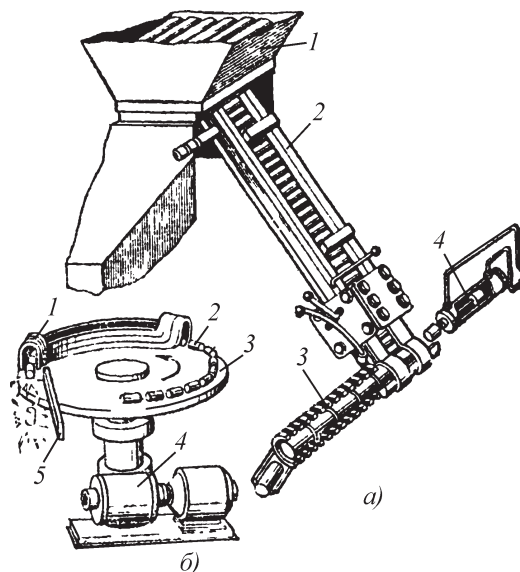
Индукторы для сквозного нагрева заготовок обладают низким коэффициентом мощности ($\cos \varphi$). Для его увеличения параллельно каждому индуктору к источнику тока подключают батарею конденсаторов, реактивная мощность которой в 10–15 раз больше активной мощности индуктора. Для методических нагревателей изменение емкости батареи конденсаторов в процессе нагрева не требуется. В периодических нагревателях и в нагревателях с секционированными индукторами возникает необходимость изменения емкости конденсаторной батареи в разные периоды нагрева заготовок, что выполняют с помощью регулятора коэффициента мощности.

Энергоснабжение нескольких индукционных нагревателей током повышенной частоты можно обеспечивать одним из следующих способов: каждый нагреватель снабдить своим преобразователем частоты (индивидуальный способ питания); все нагреватели подключают к общим шинам; к этим же шинам подключить один преобразователь большой мощности или несколько маломощных преобразователей (централизованное питание). Выбор способа питания нагревателей в конкретном случае должен быть обоснован технико-экономическим расчетом.

Нагрев *мерных цилиндрических заготовок* длиной до 300 мм выгодно выполнять в индукционных методических установках с цилиндрическими индукторами. В такие нагреватели заготовки могут поступать с наклонных лотков 2 (рис. 12, а) и загружаться в индуктор толкателями различных типов — пневматическими, гидравлическими, механическими (реечными и кривошипными). В отдельных случаях

Рис. 12. Методические индукционные установки для нагрева мерных цилиндрических заготовок:

а — установка с толкателем; 1 — бункер для заготовок; 2 — наклонный лоток; 3 — индуктор; 4 — механизм загрузки; *б* — карусельная установка с щелевым индуктором; 1 — индуктор; 2 — заготовка; 3 — вращающийся стол; 4 — механизм привода вращения стола; 5 — выбрасыватель заготовок



заготовки на лотке удерживает специальный механизм, периодически подающий нижнюю заготовку на линию толкатель-индуктор. Для перемещения заготовок используют также шаговые механизмы, магнитные ролики с постоянными магнитами (для ферромагнитных материалов), протяжные роликовые механизмы.

Короткие заготовки, имеющие косые торцы, заусенцы, значительное искривление оси, можно греть в отдельных случаях на всю длину в карусельных нагревателях с щелевыми индукторами (рис. 12, б).

Индукционный нагрев *цилиндрических заготовок длиной 300...2000 мм* выполняется в цилиндрических и овальных и (чаще) в секционированных индукторах. Секционированные индукторы применяют для нагрева заготовок длиной до 8 м, при этом заготовки перемещают системой поддерживающих и прижимных роликов.

Индукционный нагрев *концов заготовок и местный нагрев* целесообразно выполнять в специальных индукторах — кольцевых, щелевых и овальных; заготовки в такие индукторы по-

даются карусельными столами или механизмами барабанного типа.

Преобразователи частоты необходимы для получения токов повышенной частоты (500...8000 Гц) из тока промышленной частоты (50 Гц).

Для индукционного нагрева токами промышленной частоты индуктор подключают либо непосредственно к электросети промышленной частоты, либо через понижающий трансформатор.

Для получения токов повышенной частоты применяют машинные и тиристорные преобразователи.

Электроконтактный нагрев

Если через заготовку пропустить электрический ток, то в ней по закону Джоуля—Ленца будет выделяться тепловая энергия, Дж, которую можно вычислить по формуле $Q = I^2 R \tau$, где I — сила тока, протекающего через заготовку, А; R — активное сопротивление нагреваемой заготовки, Ом (определяют с учетом глубины проникновения тока в металл); τ — время протекания тока, с.

Электроконтактный нагрев характеризуют большие токи, пропускаемые через нагреваемые заготов-

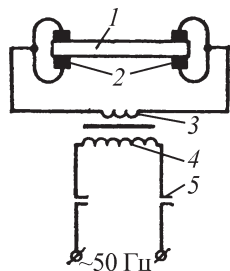


Рис. 13. Схема контактной установки

ки (1...40 кА), и малые подводимые напряжения (2...20 В).

Схема силовой цепи электроконтактной установки показана на рис. 13. К нагреваемой заготовке 1 с помощью контактов 2 подключена вторичная обмотка 3 понижающего трансформатора, электрическая энергия к которому поступает через контактор 5 от силовой электрической сети напряжением 380 или 220 В, частотой 50 Гц, к которой подключена первичная обмотка 4 силового трансформатора.

Контактным способом нагревают длинномерные заготовки ($l > 1,5d^2$, где l — длина заготовки; d — диаметр заготовки, l и d в см), имеющие постоянное поперечное сечение по длине. Можно нагревать прутки диаметром до 100 мм и профильные заготовки. На практике используют следующие технологические схемы нагрева (рис. 14): а — нагрев по всей длине заготовки; б — только одного конца заготовки; в — некоторого участка длинномерной заготовки; г — нескольких участков заготовки одновременно; д — непрерывный нагрев заготовки при ее движении между двумя парами роликов.

Электроконтактный нагрев находит применение в электровысадочных машинах.

Схема процесса электровысадки для изготовления из прутков диаметрами 10...30 мм поковок с утолщением на торце показана на рис. 15.

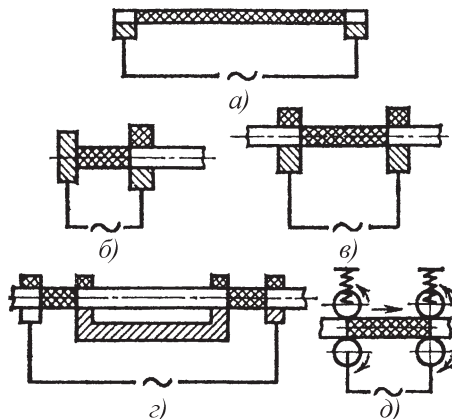


Рис. 14. Технологические схемы электроконтактного нагрева

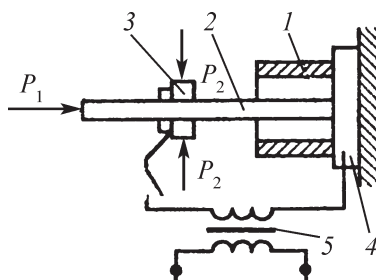


Рис. 15. Схема процесса электровысадки:
1 — матрица; 2 — высаживаемая заготовка;
3 — радиальный контакт; 4 — торцовый контакт; 5 — трансформатор; P_1 — сила высадки; P_2 — сила контактного зажима в радиальных контактах

Силу высадки P в зависимости от диаметра $D_{\text{заг}}$ высаживаемой заготовки можно выбрать по графику (рис. 16).

Преимущества контактного нагрева следующие. По сравнению с печным нагревом контактные электронагреватели обеспечивают большую скорость нагрева, лучшие условия работы обслуживающего персонала, меньший угар металла (порядка нескольких десятых долей процента), а по сравнению с индукционным — более равномерное распределение температуры по сечению нагреваемой заготовки, возможность получить в центре сечения заготовки более высокую температуру, чем

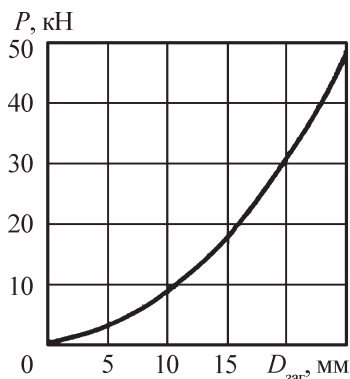


Рис. 16. Зависимость силы выдавки P при электроконтактном нагреве от диаметра выдаваемой заготовки $d_{\text{заг}}$

на поверхности, и обеспечить тем самым оптимальные условия деформации металла при некоторых видах обработки давлением (штамповка), высокий КПД, достигающий 93 %.

Недостатки контактного нагрева следующие: низкая стойкость контактов; неравномерность нагрева заготовки по длине из-за интенсивного теплоотвода водоохлаждаемых контактов (обычно температура заготовки в зоне, занимаемой контактом, на 100...300 °С ниже, чем на участке, свободном от контактов).

Сила контактных зажимов должна быть в пределах 9,8...49,4 кН. После разогрева заготовки эту силу следует уменьшить, что необходимо предусматривать при конструировании токоподводящих устройств электроконтактной установки.

В зависимости от диаметра нагреваемой заготовки применяют следующее силы сжатия контактов:

Диаметр заготовки, мм	20...30	30...50	50...70
Сила сжатия, кН	9,8	29,4	49,4

Различные виды токоподводящих контактов зажимных головок электроконтактных установок показаны на рис. 17. По конструктивному выполнению зажимные токоподводящие контакты 1 для нагреваемых заготовок 2 можно подразделить на следующие основные типы:

призматические, применяемые в качестве радиальных контактов при нагреве цилиндрических заготовок (рис. 17, а);

плоские, применяемые в качестве радиальных контактов при нагреве прямоугольных заготовок и радиально-торцовых при нагреве цилиндрических и прямоугольных заготовок, а также используемые в качестве торцовых контактов при зажиме заготовок с торцов (рис. 17, б);

цилиндрические со сферической контактной поверхностью, применяемые в качестве радиальных и торцовых контактов, преимущественно в многоконтактных головках (рис. 17, в);

роликовые, применяемые в качестве вращающихся радиальных контактов, при движении проволоки или прутка во время нагрева (рис. 17, г);

цилиндрические (рис. 17, д), применяемые в качестве радиальных кон-

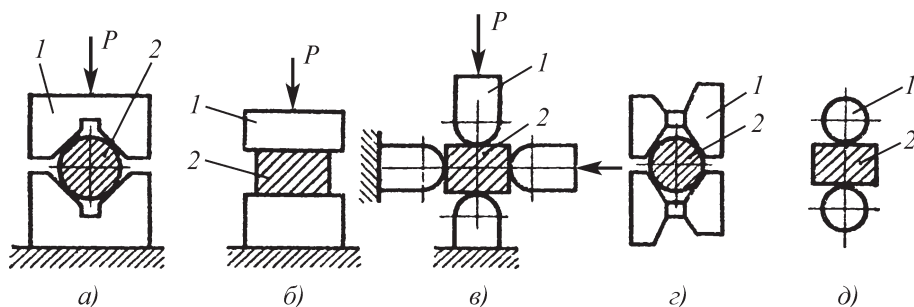


Рис. 17. Типы токоподводящих контактов зажимных головок электроконтактных установок

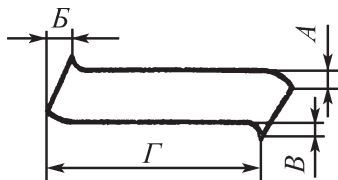


Рис. 18. Деформация концов заготовки при отрезке на пресс-ножницах

тактов при нагреве цилиндрических или прямоугольных заготовок небольшого диаметра или небольших поперечных размеров (до 15 мм).

Ниже приведены рекомендации по улучшению работы и увеличению стойкости медных контактов.

В процессе работы поверхности контактов упрочняются из-за наклепа и оседания мелких частиц нагреваемого металла и окалины; это увеличивает работоспособность контактов и срок их эксплуатации.

Упрочненный слой при каждой очередной зачистке поверхностей контактов нужно сохранять.

Практика электроконтактного нагрева показывает, что деформация концов заготовки, полученной отрезкой на пресс-ножницах, в штампах или другими способами, не должна превышать (рис. 18) следующих значений,

мм: $A = 0,3$ мм — для заготовок диаметром 18...45 и $A = 0,4$ мм — для заготовок диаметром 45...75; для всех заготовок $B = 0,5$, $B = 1$ мм и отклонение по длине $\Gamma = 0,4$ мм.

При уменьшении (износе) поверхностного слоя контакта на 5 мм такой контакт следует употреблять для нагрева заготовок с большими диаметрами, чем те, на которые был первоначально рассчитан и изготовлен данный контакт.

На поверхности заготовок, предназначенных для контактного электронагрева, категорически не допускаются окалина или ржавчина, разрушающие надежное электрическое соединение с контактным зажимом.

Для повышения стойкости контактов их нужно делать штампованными или наклепывать, т.е. подвергать рабочие поверхности обработке давлением в холодном состоянии.

Выбор и расчет основных параметров процесса и оборудования. Активное и внутреннее индуктивное сопротивление заготовок цилиндрической формы из ферромагнитных и парамагнитных материалов определяют по рис. 19. Для заготовок из ферромагнитных материалов в виде прямоугольников, равнобоких уголков, тавров, двутавров

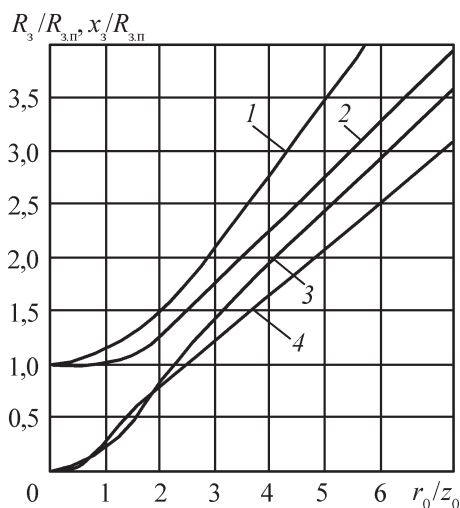


Рис. 19. График для расчета активного и внутреннего индуктивного сопротивлений цилиндрических заготовок из ферромагнитных и парамагнитных материалов:

1 — $R_{3ф} / R_{3п}$; 2 — $R_3 / R_{3п}$; 3 — $x_{3ф} / R_{3п}$; 4 — $x_{3п} / R_{3п}$; R_3 — активное сопротивление заготовки из парамагнитного материала; $R_{3ф}$ — то же, для ферромагнитного материала; x_3 — внутреннее индуктивное сопротивление заготовки из парамагнитного материала; $x_{3ф}$ — то же, для ферромагнитного материала; $R_{3п}$ — сопротивление заготовки постоянному току; r_0 — радиус заготовки; z_0 — глубина проникновения электромагнитной волны в металл

можно пользоваться этими же графиками, если аргумент r_0 / z_0 заменить отношением $2S / \Pi z_0$, где S , Π и r_0 — соответственно площадь и периметр поперечного сечения, радиус заготовки; $z_0 = \Delta$ — глубина проникновения тока в металл (см. табл. 2).

Сопротивление заготовок при постоянном токе

$$R_{з.п} = \rho(t) \frac{l}{S},$$

где $\rho(t)$ — удельное сопротивление нагреваемого металла в зависимости от температуры t ; l — длина нагреваемой заготовки; S — площадь поперечного сечения нагреваемой заготовки.

Рекомендуемую минимальную продолжительность нагрева методом сопротивления в зависимости от диаметра заготовки определяют по рис. 20.

Общий КПД электроконтактной установки

$$\eta = \eta_T \eta_3 \eta_{тр},$$

где η_T — термический КПД, учитывающий тепловые потери в зонах прижима контактов к заготовке, потери излучением и конвекцией с поверхности заготовки, $\eta_T \geq 0,9$. Чем больше l/d^2 , тем

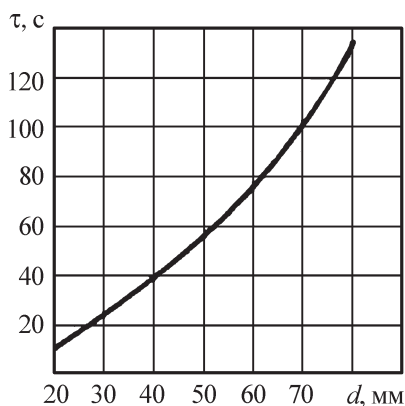


Рис. 20. Рекомендуемая минимальная продолжительность нагрева методом сопротивления в зависимости от диаметра заготовки

больше η_T , так как снижается доля тепловых потерь в зонах контактов.

Коэффициент, учитывающий электрические потери в элементах вторичной цепи установки,

$$\eta_3 = \frac{1}{1 + R_K / R_3},$$

где R_K — сопротивление короткой токоподводящей сети, Ом (без обмотки трансформатора); R_3 — сопротивление заготовки, Ом; $\eta_{тр}$ — коэффициент полезного действия силового согласующего трансформатора (по паспортным данным).

Активная мощность трансформатора, кВт,

$$N_a = \frac{mc(t_2 - t_1)}{\eta \tau \cdot 10^3},$$

где m — масса нагреваемой заготовки, кг.

Установленная мощность трансформатора, кВт·А,

$$N_{у.т} = P_a / \cos \varphi,$$

где $\cos \varphi$ — коэффициент мощности устройства.

Коэффициент мощности зависит от отношения длины нагреваемой заготовки к квадрату ее диаметра d . Так, при изменении l/d^2 в пределах 4–14 $\cos \varphi$ изменяется от 0,68 до 0,75.

При повторно-кратковременном режиме работы показатель

$$\xi = \frac{\tau}{\tau + \tau_{зв}},$$

где $\tau_{зв}$ — время загрузки и выгрузки заготовки. Расчетная мощность трансформатора, кВт·А, для продолжительного режима его работы

$$N_{тр} = P_{у.т} \sqrt{\xi}.$$

Средний за период нагрева ток, А, протекающий через нагреваемую заготовку:

$$I = \frac{\eta P_a}{U}.$$

Удельный расход электроэнергии при нагреве заготовки методом сопротивления в зависимости от соотношения ее размеров l/d^2 можно определить по графику (рис. 21).

Часто на практике возникает необходимость быстро выполнить ориентировочный прикидочный расчет энергетических параметров электроконтактной установки для нагрева круглых стальных заготовок до ковочных температур. В этом случае можно пользоваться данными табл. 6, в которой приведена мощность, необходимая для нагрева заготовок длиной 0,1 м, в зависимости от диаметра и продолжительности нагрева.

От продолжительности нагрева зависит вторичное напряжение питающей сети: чем больше продолжитель-

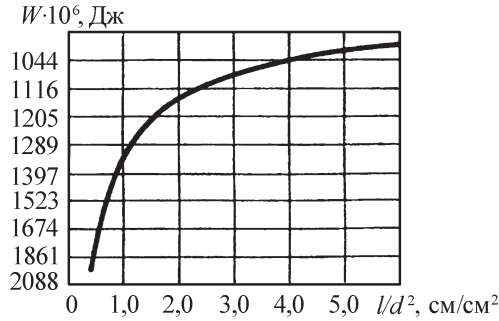


Рис. 21. Зависимость удельного расхода электроэнергии при нагреве тонны заготовок методом сопротивления в зависимости от соотношения l/d^2 заготовки

ность нагрева, тем меньше мощность, а следовательно, ниже напряжение.

Вторичное напряжение на 0,1 м длины нагреваемой заготовки в зависимости от продолжительности нагрева можно определить по табл. 7.

При определении мощности и вторичного напряжения питающей сети для нагрева заготовок длиной более 100 мм найденные по табл. 6 и 7 значения необходимо умножить на попра-

6. Мощность для нагрева, кВт, заготовок длиной 0,1 м

Продолжительность нагрева, с	Диаметр заготовки, мм								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
6	34	76,0	122	—	—	—	—	—	—
9	22,7	57,0	81	141	—	—	—	—	—
12	17,0	38,0	61	106	153	—	—	—	—
15	13,2	30,2	48,5	98	140	183	—	—	—
18	11,3	25,4	41	70	102	138	181	—	—
21	9,9	22,0	35	52	85	117	156	195	—
27	7,5	17,0	27	47	68	92	120	153	188
36	5,7	12,7	20	36	57	69	91	115	141
54	3,8	8,5	13,5	23	34	46	60	77	95
72	2,8	6,4	10,5	17,5	25,5	35	45	57	71
90	2,3	5,7	8,1	14,0	20,3	28	36	46	56
120	1,7	3,8	6,1	10,6	15,3	21	27	34	42
180	1,1	2,5	4,1	7,0	10,2	14	18	23	28

7. Вторичное напряжение на 0,1 м длины заготовки

Продолжительность нагрева, с	Вторичное напряжение, В	Продолжительность нагрева, с	Вторичное напряжение, В	Продолжительность нагрева, с	Вторичное напряжение, В
6	2,9	18	1,67	54	0,96
9	2,36	21	1,46	72	0,84
12	2,04	27	1,36	90	0,75
15	1,79	36	1,18	120	0,65
				180	0,48

вочный коэффициент K_{Π} , приведенный в табл. 8. В случае нагрева заготовок из высоколегированных сталей продолжительность нагрева увеличивается на 10 %, а при нагреве квадратных заготовок со стороной квадрата, равной диаметру круглой заготовки, на 25 %.

В электроконтактных нагревательных установках температуру нагрева заготовки контролируют непосредственным измерением с помощью различных термоэлектрических и цветовых пирометров; измерением удлинения заготов-

ки в процессе нагрева; дозированием с помощью ЭВМ энергии, подводимой к нагреваемой заготовке для достижения заданной температуры нагрева; отключением тока после заданной длительности нагрева (рекомендуется применять в установках, обеспечивающих стабилизацию тока, протекающего через нагреваемые изделия); программным управлением стабилизированного тока в сочетании с корректирующей обратной связью непосредственно по температуре нагреваемой заготовки.

8. Значения поправочного коэффициента K_{Π}

Длина заготовки, мм	Диаметр заготовки, мм								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
100	1,34	—	—	—	—	—	—	—	—
150	1,89	2,12	—	—	—	—	—	—	—
200	2,42	2,7	2,9	—	—	—	—	—	—
250	3,01	3,26	3,53	—	—	—	—	—	—
300	3,5	3,84	4,1	4,55	—	—	—	—	—
350	4,03	4,41	4,73	5,11	—	—	—	—	—
400	4,68	4,93	5,36	5,65	—	—	—	—	—
450	5,22	5,49	5,88	6,21	6,78	—	—	—	—
500	5,75	6,1	6,5	6,85	7,25	—	—	—	—
550	6,43	6,61	7,04	7,43	7,85	—	—	—	—
600	7,0	7,15	7,6	8,1	8,35	9,05	—	—	—
650	7,61	7,74	8,12	8,65	8,9	9,55	10,35	—	—
700	8,2	8,25	8,6	9,0	9,6	10,1	10,8	12,0	13,1
750	8,77	8,82	9,18	9,77	10,15	10,75	11,45	12,6	13,7
800	9,28	9,35	9,75	10,4	10,8	11,3	12,0	13,2	14,3

Нагрев в электролите

Схема нагрева в электролите (расплаве соли металла) показана на рис. 22. В ванну 1 с электролитом 2 погружены нагреваемая заготовка 3 (отрицательный полюс — катод) и металлическая пластина (анод) 4. При пропускании постоянного тока напряжением 200... 250 В и большой плотности заготовка быстро нагревается. Образуется газовая оболочка 5, отделяющая нагреваемую часть заготовки от электролита; это способствует быстрому нагреву заготовки. Режимы нагрева стальных заготовок приведены в

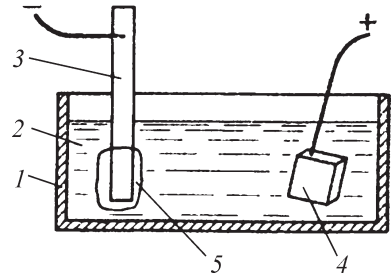


Рис. 22. Схема нагрева в электролите

табл. 9. В качестве эффективных электролитов служат растворы солей щелочных металлов и растворы кислот и щелочей, обычно BaCl_2 и NaCl . Одним

9. Режимы нагрева концевых участков стальных заготовок в электролите

Темпера- тура на- грева, °С	Диаметр заготовки	Глубина погруже- ния заготовки	Длина нагреваемой части заготовки	Напря- жение, В	Сила тока, А	Длитель- ность на- грева, с
	мм					
1300	15	45	42	200	60	19
1250	20	56	45	220	110	19
1200	15	45	42	200	60	16,5
1200	20	56	45	240	110	16,5
1250	15	45	42	220	65	13
1200	20	56	46	250	115	13
1150	15	45	40	220	65	10
1000	20	56	43	250	115	10
1250	30	15	15	250	—	32
1300	30	30	28	250	—	30
1300	30	45	38...40	250	—	29
1300	30	60	56	250	—	34
1300	30	75	73	245	—	41
1300	40	20	20	250	—	50
1300	40	40	40	245	—	55
1300	40	60	60	245	—	50
1300	40	80	66	230	—	55
1300	40	100	82	220	—	55
1250	50	25	27	250	—	64
1300	50	50	44	250	—	66
1100	50	75	65	225	—	65
1300	50	100	72	225	—	65

из наиболее оптимальных электролитов является ванна из 100 %-ного BaCl_2 .

Материалом для электролитных ванн служит винипласт или металл, облицованный винипластом.

Находят применение для нагрева металла под обработку давлением электропечи с соляной ванной (обычно BaCl_2 или NaCl), питаемые переменным током промышленной частоты (50 Гц). Температура электролита доходит до 1300°C . Схема питания может быть одно- или трехфазной; она определяется мощностью и конструкцией печи. Однофазная печь с донным расположением электродов представлена на рис. 23. Через отверстия в футеровке ванны 1 проходят электроды 2. Подачу электродов по мере износа обеспечивает механизм 3. Нагрев заготовок происходит в контейнере 4.

Указанные способы нагрева заготовок обеспечивают практически безокислительный и равномерный нагрев с удовлетворительной скоростью; сравнительно простой контроль температуры и длительности нагрева; возможность механизации и автоматизации загрузки и выдачи заготовок; простоту в осуществлении местного нагрева (конца заготовки).

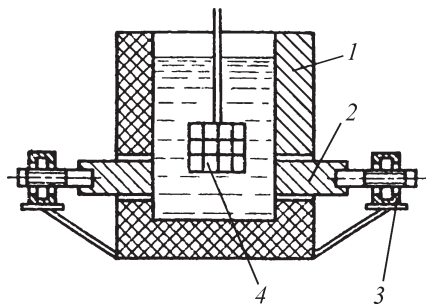


Рис. 23. Однофазная печь-ванна для нагрева заготовок в соляном растворе

Главные недостатки электронагрева заготовок в электролите и соляных ваннах следующие: значительный расход электроэнергии (до 5400 МДж на 1 т нагретого металла); низкая стойкость электродов; сравнительно небольшие размеры нагреваемых заготовок; невозможность нагрева длинных заготовок (штанг, прутков бунтового материала).

2. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗНЫХ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОНАГРЕВА И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

При выборе оборудования для нагрева заготовок следует учитывать технико-экономические показатели различных методов электронагрева (табл. 10).

10. Технико-экономические показатели разных методов электронагрева

Метод	Размеры заготовки, мм		Расход электроэнергии на 1 т заготовок, МДж	Относительная стоимость		
	диаметр	длина		1 кВт установленной мощности	оборудования производительностью 300 кг/ч	нагрева 1 т заготовок
В печах сопротивления	По размерам рабочей камеры		2160...4320	1	1	1
Индукционный токами частотой, Гц;						
50	170...300	Любая	1440	0,83	1,04	0,84
500...10000	15...160		1800	1,67	1,48	0,90
Контактный	18...75	$l/d^2 \geq 1$	1440	0,95	0,42	0,70
В электролите	5...50	≤ 75	3600...5400	0,75	1,13	2

Примечание. l — длина; d — диаметр заготовки, см.

11. Энергетические показатели индукционного нагрева стали под обработку давлением

КПД		Расход электроэнергии на 1 т металла, МДж	Производительность установки при мощности 100 кВт, кг/ч	
генератора	индуктора		генератора (частота 1000...8000 Гц)	питающей сети (частота 50 Гц)
0,8...0,88	0,7...0,75	1440...1800	До 300	—
—	0,55...0,7	1260...1620	—	До 280

12. Расход электроэнергии при индукционном нагреве током 500 Гц стальных заготовок Ø100×500 мм

Конечная температура нагрева, °С	Продолжительность нагрева, с	Расход электроэнергии на 1 т металла, МДж
1275	600	2160
1200	540	1980
1150	490	1800
1100	440	1620

Индукционный нагрев. В табл. 11 приведены энергетические показатели индукционного нагрева стали под обработку давлением; в табл. 12 — расход электроэнергии при индукционном нагреве стальных заготовок Ø100×500 мм током частотой 500 Гц.

Удельная мощность в печах сопротивления до 25 кВт/м² (редко больше), в индукционных нагревателях 500...1000 кВт/м².

Удельный расход электроэнергии при индукционном нагреве на частотах 1000...8000 Гц зависит от загруженности машинного генератора в процессе работы. Если нагрузка генератора (нагрев заготовок) непрерывна, расход электроэнергии равен примерно 1440 МДж на 1 т нагретого металла. При работе генератора без нагрузки в течение значительного времени этот показатель увеличивается до 1800...2160 МДж и более.

Наиболее рациональное применение индукционные нагреватели находят в специализированных полуавтоматических и автоматических линиях по изготовлению (например, подшипниковых колец) в массовом производстве.

Перед другими способами нагрева индукционный нагрев имеет бесспорные преимущества в том случае, когда требуется осуществить быстрый нагрев заготовок круглого, квадратного или прямоугольного сечения до температур выше 1000 °С при сравнительно небольших габаритных размерах нагревательного устройства.

Нагрев в электролите. Он применим как при единичном, так и массовом производстве. Если принять стоимость оборудования на 1 кВт установленной мощности для нагрева заготовок в пламенных печах за 100 %, то при нагреве в электролите она равна приблизительно 76 %. Продолжительность нагрева заготовок в электролите зависит от разницы температур в центре заготовки и температуры электролита (табл. 13).

Время нагрева в электролите в 3 раза меньше, чем при нагреве в пламенных печах.

Нагрев стальных прутков в электролите применяется перед деформированием в посадочных автоматах. Основные параметры нагрева в электролите стальных прутков диаметром 16...25 мм

13. Продолжительность нагрева стальных заготовок в электролите*

Температура нагрева заготовки, °С	Продолжительность нагрева, с, при диаметре заготовки, мм		
	10	20	30
1000	23	47	70
1100	30	60	90
1200	56	140	160

* Разница температуры центра заготовки и ванны 50 °С.

14. Параметры нагрева в электролите стальных заготовок перед деформированием на высадочных автоматах*

Диаметр заготовки	Глубина погружения заготовок	Длина зоны нагрева	Сила тока, А	Продолжительность нагрева, с	Расход электроэнергии, МДж	
					на одну деталь	на 1 кг нагретого металла
мм						
16	13	10	40	5	0,047	2,98
18	16	11	55	6	0,072	3,23
20	18	12	60	7	0,094	3,16
20	20	13	70	7	0,115	3,6
22	20	13	80	8	0,144	3,74
22	25	15	90	8	0,165	3,74
25	24	12	95	9	0,194	4,22
25	30	14	120	9	0,248	4,32
25	35	15	130	9	0,266	4,64
25	35	17	130	11	0,323	4,93

* Температура нагрева заготовки 1250...1350 °С.

до температуры 1250...1350 °С приведены в табл. 14.

Промышленные электронагревательные устройства

Отечественная промышленность выпускает ряд типов электротермических установок для нагрева заготовок перед обработкой давлением: камерные (табл. 15) и карусельные (табл. 16) электропечи сопротивления; оборудование для индукционного нагрева — машинные (табл. 17) и тиристорные преобразователи частоты (табл. 18), индукционные нагреватели (табл. 19) и нагревательные установки повышенных частот; кузнечные нагреватели (табл. 20); од-

но-, двух- и четырехпозиционные установки электроконтактного нагрева (табл. 21—23); трансформаторы для нагрева сопротивлением (контактным способом) (табл. 24); электродно-соляные нагревательные печи (табл. 25).

Отечественная промышленность выпускает индукционные нагреватели и комплектные нагревательные индукционные установки мощностью до 1500 кВт для нагрева мерных заготовок и пруткового материала перед ковкой и термообработкой (см. табл. 19). Специализированные индукционные нагреватели мощностью 5000 кВт и более изготавливаются по индивидуальным заказам.

15. Технические данные камерных электропечей сопротивления

Параметр	Тип печи						
	ИЧНЗ-8,5.14.6.5/8,5	СНО-3.4.2,5/13-И1	СНО-4.8.2,5/13-И1	СНО-3.6.2/10-И2	СНО-4.8.2,5/10-И2	СНО-6.12.4/10-И2	СНО-8.16.5/10-И2
Установленная мощность, кВт	100	30	50	14,6	25	71	81
Номинальная температура, °С	900	1300	1300	1000	1000	1000	1000
Размеры рабочего пространства, мм:							
ширина	850	300	400	300	400	600	800
длина	1400	400	800	600	800	1200	1600
высота	650	250	250	200	250	400	500
Масса заготовки с приспособлением, т	3,0	0,1	0,25	0,1	0,22	0,8	1,35
Напряжение питающей сети, В	380	380	380	380	380	380	380
Число фаз	3	3	3	—	—	—	—
Масса электропечи (комплекса), т	8,72	1,95	2,51	1,1	2,7	4,2	5,7
Масса футеровки, т	—	1,34	1,72	0,63	1,59	2,74	4,2
Мощность холостого хода, кВт	15,4	9,8	14,4	4,4	6,7	9,5	14

16. Карусельные электропечи сопротивления на номинальную температуру нагрева 1100 °С

Параметр	Тип печи	
	CAO-60.40.7/11-И1	CAO-85.65.7/11-И1
Установленная мощность, кВт	800	1239
Мощность нагревателей, кВт	795	1225
Число тепловых зон	7	10
Производительность, кг/ч	1280	1440
Время разогрева, ч	20	27
Размеры рабочего пространства, мм:		
внешний диаметр пода	6000	8500
внутренний диаметр пода	4000	6500
высота загрузочного окна	700	700
Масса, т:		
электропечи	90	150
футеровки	37,9	68
Габаритные размеры печи (ширина×длина×высота) мм	—	10900×14200×5500

Примечания: 1. Напряжение цепей управления 220 В. Среда в рабочем пространстве — окислительная. 2. Питающая сеть: частота 50 Гц, напряжение 380 В, число фаз — три.

17. Машинные преобразователи частоты тока, питающие индукционные нагреватели

Параметр	Тип преобразователя		
	ОПЧ-250-2,4	ОПЧ-250-10,0	ОПЧ-320-1,0
Частота тока, кГц	2,4	10,0	1,0
Мощность полезная, кВт	250	250	320
Мощность потребляемая, кВт	291	306	364
КПД, %	86	82	88
Напряжение номинальное, В	800	800	800
Напряжение питающей сети, В	3000; 6000; 380	3000; 6000; 380	3000; 6000; 380
Сила тока генератора, А	329	329	400
Расход охлаждающей воды, м ³ /ч	3,6	4,8	3,6
Масса, т	4,25	4,71	4,29
Длительность пуска, с	13...16	18...19	16
Занимаемая площадь, м ²	1,56	1,56	1,56
Частота тока, кГц	1,0	2,4	1,0
Мощность полезная, кВт	500	500	2500
Мощность потребляемая, кВт	556	568	2660
КПД, %	90	88	94,2
Напряжение номинальное, В	800/1600	800/1600	1000
Напряжение питающей сети, В	3000; 6000	3000; 6000	10 000
Сила тока генератора, А	625	658	2500
Расход охлаждающей воды, м ³ /ч	5,4	6,0	15
Масса, т	5,285	6,14	9,51
Длительность пуска, с	10	14	30
Занимаемая площадь, м ²	1,7	1,7	7,64

Примечание. Перегрузка сети при пуске 150 % в течение 30 с.

18. Тиристорные преобразователи частоты тока для индукционных нагревателей

Параметр	Тип преобразователя					
	ТПЧ-1	ТПЧ-800-1,0/0,5	ТПЧ-250-2,4	ТПЧ-500-2,4	ТПЧ-800-1,0	ТПЧ-160-4,0
Номинальная выходная мощность, кВт	630	800	250	500	800	160
Номинальное выходное напряжение, В	800	800	800	800	800	2×400
Пределы отклонения выходного напряжения (от номинального), %	+25...-50	+25...-50	+25...-50	+10...-50	+25...-50	0...-90
Номинальная выходная частота, кГц	1,0	1,0	2,4	2,4	1,0	4,0
КПД, %, не менее	92	92	90	91	94	90

Окончание табл. 18

Параметр	Тип преобразователя					
	ТПЧ-1	ТПЧ-800-1,0/0,5	ТПЧ-250-2,4	ТПЧ-500-2,4	ТПЧ-800-1,0	ТПЧ-160-4,0
Расход охлаждающей воды (для системы прямого охлаждения во внешнем контуре), м ³ /ч	—	6	4	5	5	2,5

Примечания: 1. Тиристорные преобразователи должны быть расположены как можно ближе к питающим их подстанциям и нагревателям.

2. На 1000 кВт установленной мощности тиристорного преобразователя (при частоте 1000 Гц) требуется 70 м² площади, на которой размещаются преобразователь, фильтрокомпенсирующие устройства и система принудительного водоохлаждения.

3. Качество воды, охлаждающей тиристорные преобразователи, должно соответствовать следующим параметрам:

на внешнем контуре: удельное электросопротивление не менее 0,4 МОм·м; общая жесткость не более 85 мг·экв/л; содержание механических примесей (нерастворимых осадков) не более 12 мг/л.;

на внутреннем контуре: температура на входе в преобразователь в пределах 20...35 °С; температура на выходе из преобразователя не выше 45 °С; удельное электросопротивление не ниже 6,0 МОм·м; общая жесткость не более 35 мг·экв/л; нерастворимые осадки в количестве не более 10 мг/л.

4. Для преобразователей мощностью 500...800 кВт расход охлаждающей воды составляет 4...5 м³/ч.

19. Параметры серийных индукционных нагревателей

Тип нагревателя или установки	Мощность, кВт	Частота, кГц	Расход, м ³ /ч		Длина индуктора, мм
			воды	воздуха	
КИН9-250/2,4П	250	2,4	4	6,5	1000
КИН8-250/4П	250	4	4	6,5	1000
КИН10-250/10П	250	10	4	6,5	1000
ИК1-250/2,4	250	2,4	8	6,5	1000
ИК2-250/8	250	8	8	6,5	1000
КИН10-500/1П	500	1	7	21	2000
КИН9-500/2,4П	500	2,4	7	21	2000
КИН11-500/4П	500	4	7	21	2000
КИН12-500/10П	500	10	7	10	2000
ИК-500/1,0	500	1	12	10	2000
ИК-500/2,4	500	2,4	12	10	2000
КИН14-750/1Ш	750	1	12	10	3000
КИН5-750/1Ш	750	1	12	10	3000
КИН6-750/2,4Ш	750	2,4	12	10	3000
КИН7-750/2,4Ш	750	2,4	12	10	3000
КИН8-750/4Ш	750	4	12	10	3000
КИН9-750/4Ш	750	4	12	10	3000
ИК-750/1	750	1	12	10	3000
КИН2-1500/1Ш	1500	1	25	20	3000×2
КИН2-1500/2,4Ш	1500	2,4	25	20	3000×2

Окончание табл. 19

Тип нагревателя или установки	Мощность, кВт	Частота, кГц	Расход, м³/ч		Длина индук- тора, мм
			воды	воздуха	
ИК1-1500/2,4	1500	2,4	35	20	3000×2
ИК1-1500/1	1500	1	35	20	3000×2
ИН5-250/10	250	10	12	5	600
КИН7-500/2,4П	500	2,4	6,5	8	500
ИН2-250/10	250	10	4	—	2×500
Тип нагревателя или установки	Размеры заготовки, мм				Производитель- ность, кг/ч
	Диаметр		Длина		
	предельный	рекомендуемый			
КИН9-250/2,4П	25...65	40...60	70...250	600	
КИН8-250/4П	20...60	30...50	70...250	550	
КИН10-250/10П	15...45	25...35	70...250	500	
ИК1-250/2,4	25...65	40...60	70...250	600	
ИК2-250/8	15...45	25...35	70...250	500	
КИН10-500/1П	60...135	65...95	100...400	1200	
КИН9-500/2,4П	30...80	40...60	100...400	1200	
КИН11-500/4П	20...80	30...50	100...400	1000	
КИН12-500/10П	15...45	25...35	100...400	1000	
ИК-500/1,0	60...135	65...95	100...400	1200	
ИК-500/2,4	30...80	40...60	100...400	1200	
КИН14-750/1Ш	80...160	65...95	120...400	1800	
КИН5-750/1Ш	80...160	65...95	120...400	1800	
КИН6-750/2,4Ш	45...160	45...60	80...400	1800	
КИН7-750/2,4Ш	45...160	45...60	80...400	1800	
КИН8-750/4Ш	45...80	45...50	70...400	1800	
КИН9-750/4Ш	45...80	45...50	70...400	1800	
ИК-750/1	80...160	85...95	120...400	1800	
КИН2-1500/1Ш	80...160	85...95	120...400	3600	
КИН2-1500/2,4Ш	45...160	45...60	80...400	3600	
ИК1-1500/1	80...160	85...95	120...400	3600	
ИК1-1500/2,4	45...160	45...60	80...400	3600	
ИН5-250/10	15...45	25...35	200...300	600	
КИН7-500/2,4П	35...80	40...60	200...700	1200	
ИН2-250/10	10...100	25...35	200...800	600	

Примечание. Принятые обозначения: КИН — кузнечный индукционный нагреватель; следующая цифра за аббревиатурой — порядковый номер нагревателя; цифра перед косой чертой — мощность, после черты — частота (кГц); механизм передвижения заготовок: П — пневматический, Ш — шаговый; ИК — комплексная установка из индукционного нагревателя КИН и тиристорного преобразователя частоты типа ТПЧ; ИН — комплексная установка типа КИН и одного или нескольких машинных преобразователей частоты типа ОПЧ.

20. Кузнечные нагреватели

Параметр	Тип кузнечного нагревателя					
	КИНЗ-250/1	КИН4-250/1	КИН1-250/2,4	КИН2-250/2,4	КИН1-150/8	КИН2-150/8
Исполнение кузнечного нагревателя	Правое	Левое	Правое	Левое	Правое	Левое
Мощность высокой частоты, кВт	250	250	250	250	150	150
Частота тока, Гц	1000	1000	2400	2400	8000	8000
Напряжение, В: высокочастотной сети	800	800	800	800	800	800
цепей управления	220; 380	220; 380	220; 380	220; 380	220; 380	220; 380
Производительность, шт/ч, для заготовок диаметром, мм:						
50	72	72	42	42	212*	212*
120	7	7	6	6	30**	30**
Мощность конденсаторной батареи, кВт	1740	1740	2640	2640	2700	2700
Расход охлаждающей воды, м ³ /ч	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Давление охлаждающей воды, кПа	350±50	350±50	350±50	350±50	350±50	350±50
Расход воздуха, м ³ /ч	2	2	2	2	2	2
Давление воздуха, кПа	400...600	400...600	400...600	400...600	400...600	400...600
Количество ручьев	—	1	1	1	1	1
Размеры нагреваемых заготовок, мм:						
диаметр	50...120	50...120	50...120	50...120	15...50	15...50
сторона квадрата	50...120	50...120	50...120	50...120	15...50	15...50
длина	100...500	100...500	100...500	100...500	100...500	100...500
Масса, кг	2077	2077	2077	2077	2002	2002

* Для диаметра заготовок 15 мм.

** Для диаметра заготовок 50 мм.

21. Однопозиционные установки электроконтактного нагрева

Параметр	Тип нагревательной установки				
	Однозо- нальная ЭУ-150	Для нагре- ва грабель- ного зуба под отпуск	Двухзо- нальная ЭУ-150	Спаренная для нагрева загото- вок грабельного зуба под гибку	Двухпо- зицион- ная
Конструктивная группа (число позиций)	1	1	1	1	2
Конструктивная подгруппа (число зон)	1	1	2	1	1
Напряжение питания в сети, В	380	380	380	380	380
Мощность трансформатора, кВт·А	150	95	150	2×95	250
Пределы изменения вторичного на- пряжения, В	8...16	16...24	12...18	30×36	10...18

Окончание табл. 21

Параметр	Тип нагревательной установки				
	Однозонная ЭУ-150	Для нагрева грабельного зуба под отпуск	Двухзонная ЭУ-150	Спаренная для нагрева заготовок грабельного зуба под гибку	Двухпозиционная
Размеры нагреваемых зон заготовок, мм:					
диаметр	40...50	10	40...50	10	45...70
длина	300...600	1500	250...300 (для каждой зоны)	1500	400...800
Расход энергии на 1 кг металла при нагреве до 1100 °С, кВт·ч	0,3...0,4	0,1	0,4...0,55	0,22	0,27...0,37
Средний КПД для указанных зон заготовок	0,4...0,6	0,96	0,35...0,5	0,97	0,55...0,7
Средний коэффициент мощности	0,55...0,7	0,95	0,6...0,75	0,96	0,7...0,8
Привод контактных зажимных головок	Пневматический	Гидравлический	Пневматический	Гидравлический	Пневматический
Сила контактного зажима заготовок, кН	40	20	40	20	25
Охлаждение элементов электрической силовой цепи	Водяное				
Высота нагревательных позиций над уровнем пола, мм	1125	1270	1125	1270	1200
Габаритные размеры, мм:					
высота	1900	2417	1932	1900	1363
ширина	1190	550	1385	1160	1000
длина	1900	3000	2812	3500	1750

22. Двухпозиционные установки электроконтактного нагрева

Параметр	Тип установки			
	H024	2786	H056	H010
Число нагревательных позиций	2	2	2 (1)	2
Число нагреваемых зон на заготовке	1	1	1	2
Поперечные размеры заготовок, мм	Диаметр 12...30	70(20...30)	Диаметр 12...30	Диаметр 10...60
Длина нагреваемой зоны, мм	110...750	1400...800	155...750	200...500
Напряжение сети питания, В	380	380	380	380
Мощность трансформатора, кВ·А	150	250	125	125
Привод зажимных головок	Пневматический		Гидравлический	
Сила контактного зажима, кН	19,0	30,0	18,0	31,0
Охлаждение элементов силовой цепи	Водяное			
Высота нагревательных позиций от пола, мм	800	1203	955	850
Габаритные размеры установки (высота×ширина×длина), мм	1650×1200×2400	1363×1000×1710	3600×400×1665	1280×3680×5200
Масса установки, т	2	2	2,5	3

23. Четырехпозиционные установки электроконтактного нагрева

Параметр	Тип установки					
	2839	2800	2921	2915	2850	Н035 трехфазная
Число нагревательных позиций	4	4	4	4	4	4
Число нагреваемых зон на заготовке	1	1	1	1	1	1
Поперечные размеры заготовок, мм	60...70	154...314	Ø70...75	Ø40...120	30...70	Ø14...20
Длина нагреваемой зоны, мм	500...600	2100...3700	1300...1500	3000...8000	320	1500...4000
Общая длина заготовки, мм	—	3700	1500	8000	615	4000
Напряжение сети питания, В	380	380	380	380	380	380
Мощность трансформатора, кВт	250	200	500	500	250	400
Привод зажимных головок	Пневматический		Гидравлический		Пневматический	
Сила контактного зажима, кН	20,0	5,0	13,5	20,0	20,0	10,0
Охлаждение элементов силовой цепи	Водяное					
Высота нагревательных позиций от пола, мм	1150	1100	1070	1325	100	100
Габаритные размеры установки (высота×ширина×длина), мм	1300×2300×2455	1450×2450×5000	2200×2680×3110	2500×2000×1075	1450×1900×2200	1650×2500×7800
Масса установки, т	3	3	11	13	3	11

24. Однофазные трансформаторы

Мощность, кВт·А	Масса трансформатора, кг	Габаритные размеры трансформатора, мм	Напряжение, В	
			первичное	вторичное
35	332	500×650×450	380	7...13
70	430	660×503×510	380	3...6
95	630	640×560×720	380	5...47,5
150	1122	590×660×735	380	8...16
250	1450	800×655×1125	380	8...16
500	1100	700×880×900	380	31...62

25. Электродно-соляные нагревательные печи-ванны

Параметр	Тип печи				
	СВС-2,3/13-И1	СВС-2,5/13-И1	СВГ-1,5,2/8,5-И2	СВГ-2,3,5-И2	СВГ-3,5,4/8,5-И2
Установленная мощность, кВт·А	100	137	12	22	34
Номинальная температура, °С	1300	1300	850	850	850
Число фаз	3	3	1	2	3
Максимальный объем расплавленной среды, л	70	120	11	35	75
Мощность холостого хода, кВт	60	62	4	5,1	6
Масса футеровки, т	1,14	1,47	0,385	0,53	0,86
Масса электрованны (без соли), т	3,1	3,45	0,86	1,08	1,56
Масса садки (максимальная), кг	—	—	10	28	65

Примечания: 1. Расплавленные среды — соли, щелочи, металлы.

2. Напряжение питающей сети во всех типах печей может быть двух видов: 380 и 220 В, для СВГ-1,5, 2/8,5-И2 — только 220 В.

Габаритные размеры установок типа ИК мощностью 250 и 500 кВт показаны на рис. 24, а, б. Каждая установка состоит из тиристорного преобразователя частоты, бункера для подачи заготовок и нагревателя.

На рис. 25 показаны габаритные размеры установки ИН-250/10 для нагрева концов (длиной до 5 мм) заготовок. В нее входят: машинный преобразователь частоты типа ОПЧ, нагрева-

тель с двумя индукторами и шкафы силового и автоматического управления.

Габаритные размеры нагревателя типа КИН7-500/2,4П показаны на рис. 26.

Для нагрева концов заготовок под пластическую деформацию в кузнечно-прессовом производстве применяют универсальные кузнечные нагреватели типа КИН. С их помощью можно нагревать концы заготовок из стали,

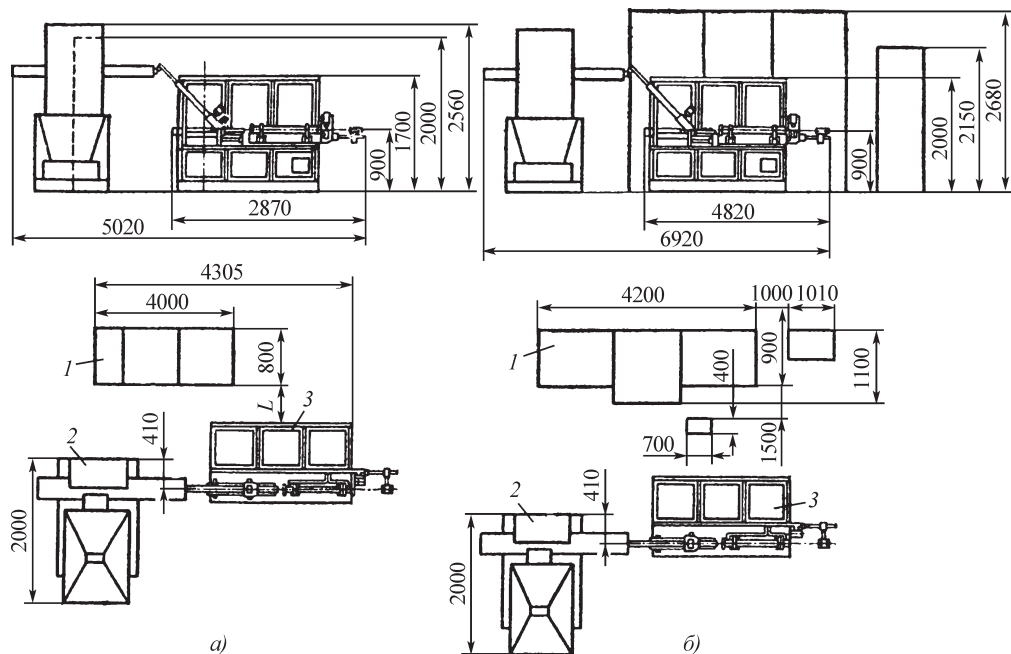


Рис. 24. Кузнечные нагревательные установки:

а — ИК-250; б — ИК-500; 1 — тиристорный преобразователь частоты; 2 — вибрационно-механический бункер для подачи заготовок; 3 — нагреватель

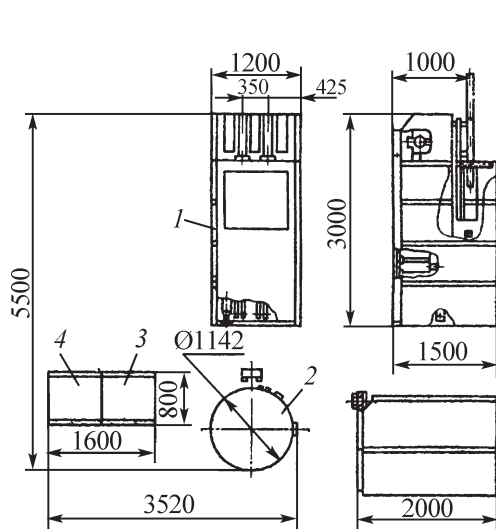


Рис. 25. Установка ИН-250/10:

1 — индукционный нагреватель типа КИН-250;
2 — машинный преобразователь частоты
ОПЧ-250/2,4; 3 — силовой шкаф; 4 — шкаф
автоматического управления

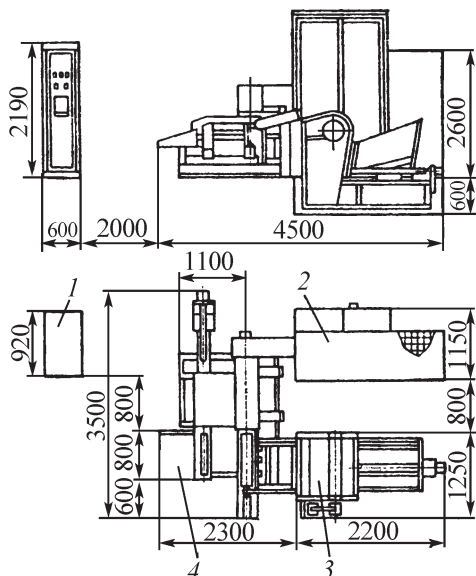


Рис. 26. Нагреватель КИН7-500/2,4П:

1 — шкаф автоматического управления; 2 —
шкаф конденсаторов; 3 — бункер для загото-
вок; 4 — лоток, по которому нагретые заго-
товки выкатываются из нагревателя

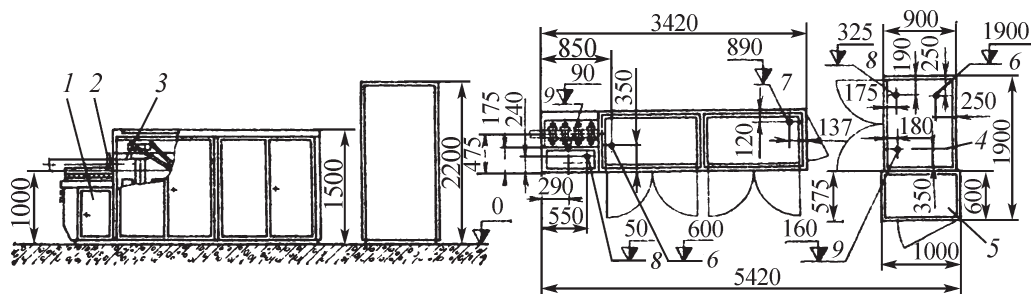


Рис. 27. Рекомендуемая планировка размещения кузнечного нагревателя:

1 — нагревательный блок; 2 — ограничитель; 3 — индуктор; 4 — трансформаторный шкаф; 5 — шкаф управления; 6 — подвод высокочастотного питания; 7 — подвод воздуха; 8 — подвод воды; 9 — слив воды

цветных металлов и их сплавов цилиндрического, квадратного или прямоугольного сечения в широком диапазоне типоразмеров. Технические данные универсальных кузнечных нагревателей приведены в табл. 20.

Кузнечный индукционный нагреватель состоит из нагревательного блока и двух шкафов: трансформаторного и управления. Рекомендуемая планировка кузнечного нагревателя показана на рис. 27.

Выбирая кузнечные индукционные нагреватели, необходимо учитывать следующие обстоятельства.

Индукционный нагрев наиболее эффективен в массовом и крупносерийном производстве.

Как правило, каждый индукционный нагреватель предназначен для одной частоты тока и определенных размеров нагреваемых заготовок, поэтому за каждой отдельной кузнечной машиной следует закреплять строго определенные заготовки, подобранные по размерам сечения и длины.

Длина заготовок должна быть не менее 1,5 диаметра. Индукционные нагреватели должны эксплуатироваться при определенных номинальных производительностях. Работа при производительностях существенно ниже номинальных ведет к снижению технико-экономических показателей на-

гревателей, к большому образованию окалины и т. п.

Экономически невыгодно индивидуальное питание универсальных индукционных нагревателей от машинных преобразователей частоты тока.

Преобразовательные подстанции следует располагать возможно ближе к нагревателям. Чем больше удалена преобразовательная подстанция от нагревателей, тем больше капитальные затраты на каналы и кабели, а также на перерасход энергии при работе нагревателей. В ряде случаев нерациональное размещение преобразователей вдали от нагревателя делает работу невозможной, особенно при тиристорных преобразователях.

Нормальная работа участка индукционного нагрева при высоких технико-экономических показателях требует наличия мастерской для изготовления и ремонта индукторов.

Оборудование установок электроконтактного нагрева содержит: силовую понижающий трансформатор; контактные зажимы; аппаратуру контроля и регулирования процесса нагрева; механические приспособления для перемещения и фиксации нагреваемых заготовок.

На практике применяют однопозиционные и многопозиционные установки электроконтактного нагрева.

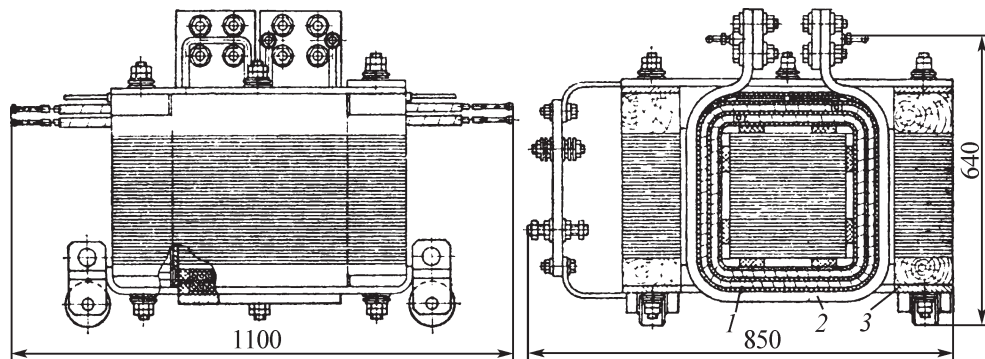


Рис. 28. Конструкция силового трансформатора установки электроконтактного нагрева:
1 — катушки первичной обмотки; 2 — витки вторичной обмотки; 3 — рама

В табл. 21 приведены технические характеристики однопозиционных установок электроконтактного нагрева.

В промышленности применяют также многопозиционные установки электроконтактного нагрева. Технические характеристики двухпозиционных установок представлены в табл. 22, а четырехпозиционных — в табл. 23.

На горизонтальных однопозиционных автоматах для контактного нагрева и высадки фланца изготовляют автомобильные полуоси.

Для изготовления клапанов двигателей применяют вертикальные четырехпозиционные и восьмипозиционные электровысочные автоматы, состоящие из однопозиционных установок, расположенных по окружности

цилиндрического корпуса с вертикальной осью. Автомат барабанного типа, вращающийся вокруг вертикальной оси. Заготовки загружаются в контакты механической рукой. После того как загруженная позиция отойдет от места загрузки, автоматически производится зажим заготовки, нагрев ее и высадка, затем нагрев и высадка отключаются, и заготовка подходит к позиции выгрузки. Высаженная заготовка забирается механической рукой и подается в штамп прессы.

Технические характеристики силовых трансформаторов с соленоидными водоохлаждаемыми обмотками приведены в табл. 24, а на рис. 28 изображена конструкция трансформатора.

Глава 8

КОВОЧНО-ШТАМПОВОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

1. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРЕССЫ

Кривошипные горячештамповочные прессы (рис. 1, табл. 1) предназначены для изготовления поковок из черных и цветных металлов и сплавов методом горячей штамповки. Они универсальны и находят применение в различных отраслях промышленности.

Прессы состоят из следующих основных узлов: станины, привода, ползуна, электрооборудования, систем смазки и управления. Станина — сборносварная, разъемная, состоит из стоек, верхней траверсы и стола, соединенных между собой стяжными шпильками и гидрогайками. Стол — нерегулируемый. Для удаления поковок из нижней половины штампа в столе предусмотрен гидропневматический выталкиватель.

Привод прессов — двухступенчатый. Движение передается от электродвигателя через клиноременную

и зубчатую передачи на эксцентриковый вал и далее через кривошипно-шатунный механизм на ползун. Передача технологической силы осуществляется двумя шатунами. Муфта включения и тормоз — фрикционные, дисковые, с электропневматическим управлением и воздушным охлаждением, смонтированы на ступице станины.

Для наладки прессов предусмотрен микропривод.

Ползун — литой, стальной, совершает возвратно-поступательное движение в регулируемых направляющих станины.

Ползун уравновешен пневматическими цилиндрами.

В ползуне размещен механизм регулировки расстояния между столом и ползуном с приводом от отдельного электродвигателя. Регулировка осуществляется с пульта управления.

Для удаления поковок из верхней половины штампа ползун оснащен жестким механическим выталкивателем. Управление прессами — кнопочное и от педали.

Электросхема предусматривает работу прессов в автоматическом и наладочном режимах, а также в режиме одиночных ходов.

Система смазки — централизованная, циркуляционная, автоматическая.

Ориентировочная производительность и масса поковок в зависимости от номинальной силы пресса приведены в табл. 2.

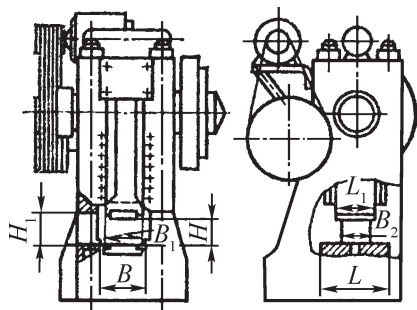


Рис. 1. Пресс кривошипный
горячештамповочный

Окончание табл. 1

Параметр	Модель					
	КИ8044	К8045	КБ8046	КГ (Б) 8046	К8549.02	К8550
	Нормы					
Номинальная сила, кН	25000	31500	40000	63000	80000	100000
Частота непрерывных ходов, мин ⁻¹	70	60	50	40	40	36
Частота одиночных ходов, мин ⁻¹	22	20	14	12	8	6
Ход ползуна, мм	350	360	400	460	480	500
Закрыва́тая высота, мм	1000	1000	1200	1350	1590	1800
Регулировка ползуна, мм	10	10	10	12 (10)	13	20
Размеры ползуна, мм:						
слева направо	1350	1420	1470	1900	1900	2210
спереди назад	1450	1800	2000	1850 (1680)	1800	2800
Размеры стола, мм:						
слева направо	1500	1600	1680	2100	2100	2150
спереди назад	1500	1550	1620	1950	1950	2800
Расстояние между стойками, мм	1580	1700	1770	2200	2200	2510
Габаритные размеры пресса, мм:						
слева направо			6628	8400 (7970)	8560	9200
спереди назад			5700	5750 (5760)	5955	7800
высота над уровнем пола			7830	8950 (9670)	9620	9800

2. Ориентировочная производительность и масса поковок в зависимости от номинальной силы прессы

Параметр	Норма					
Номинальная сила прессы, кН	6300	10000	16000	25000	40000	63000
Производительность, кг/ч	300...400	400...600	600...800	900...1100	1500...1800	2200...2800
Масса поковки, кг	до 1	1...2,5	2,5...4	7,0...12,0	18...22	30...50

Горячештамповочные кривошипные прессы двойного действия для штамповки в закрытых штампах с разъемными матрицами (табл. 3) предназначены для горячей объемной штамповки поковок из углеродистой и легированной стали и сплавов в разъемных матрицах.

Прессы состоят из следующих основных узлов: станины, привода, внутреннего и наружного ползунов, электрооборудования, систем смазки и управления. Станина — сборносварная, разъемная, состоит из стоек, траверсы и стола, соединенных между собой стяжными шпильками и гидрогайками.

Привод прессов — двухступенчатый, движение от электродвигателя к ползунам передается через клиноременную и зубчатую передачи и эксцентриковый вал. Привод ползунов — отдельный. Регулировка расстояния между ползунами и столом осуществляется клиновым механизмом стола. Внутренний ползун имеет независимую подрегулировку указанного расстояния с приводом от переносного пневмодвигателя.

Прессы снабжены пневматическим выталкивателем для удаления поковок из нижней половины штампа. Наружный ползун оснащен гидропневматическим предохранителем от перегрузок по силе.

Муфта включения и тормоз — фрикционные, однодисковые, с электропневматическим управлением, расположены на эксцентриковом валу.

Управление прессами — кнопочное и от педали.

Электросхема предусматривает работу прессов в автоматическом и наладочном режимах, а также в режиме одиночных ходов.

Система смазки — автоматическая, централизованная.

Обрезные однокривошипные закрытые прессы (табл. 4) предназначены для обрезки в горячем или холодном состоянии облоя поковок, полученных на штамповочных молотах, горячештамповочных прессах и другом горячештамповочном оборудовании. Кроме того, их можно

3. Прессы горячештамповочные кривошипные двойного действия для штамповки в закрытых штампах с разъемными матрицами

Параметр	Норма	
Номинальная сила прессы, кН	10000	16000
Сила на ползуне деформирующем/прижимном, кН	5000/5000	8000/8000
Закрытая высота по ползуну деформирующему/прижимному, мм	—	1360/1100
Размеры стола, мм	—	1250×1250
Мощность привода, кВт	90	—
Масса, т	83	140

4. Обрезные однокривошипные закрытые прессы

Параметр	Модель				
	К9532	КБ9534	КД9536	К9538	КА9540
	Нормы				
Номинальная сила, кН	1600	2500	4000	6300	10000
Ход ползуна, мм	220	320	400	400	500
Частота ходов ползуна, мин ⁻¹	37	32	25	20	20
Расстояние между подштамповой плитой и ползуном в его нижнем положении при регулировке вверх, мм	330	390	470	570	680
Значение регулировки расстояния между подштамповой плитой и ползуном, мм	120	140	160	180	200
Размеры стола, мм	710×710	800×800	1000×1000	1250×1250	1250×1250
Размеры отверстия в столе, мм	420×420	500×500	630×630	800×800	1000×1000
Размеры ползуна, мм	560×665	650×650	800×800	1000×1000	1250×1250
Толщина подштамповой плиты, мм	120	140	160	180	260
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	10	27	40	61	75
Габаритные размеры пресса, мм:					
в плане	2100×1680	3260×2970	3410×3140	3600×3470	4310×3820
высота над уровнем пола	3610	5180	5940	6190	6790
Масса пресса, т	10,4	23,3	32,7	49,8	79,5

* С выдвижным столом.

использовать для выполнения различных листоштамповочных операций: вырубки, неглубокой вытяжки, гибки и др.

При оснащении средствами механизации и автоматизации прессы могут быть включены в автоматические и полуавтоматические линии.

Прессы состоят из следующих основных узлов: станины, привода, ползуна, электрооборудования, систем смазки и управления. Станина прессов КА9536, К9538, КА9540, КА9542 — сварная, разъемная, коробчатой формы, состоит из стола, двух стоек и траверсы, соединенных между собой стяжными шпильками. Станина прессов К9532 и КБ9534 — цельносварная.

В стойках станины предусмотрены окна для установки средств механизации и автоматизации.

Привод прессов — двухступенчатый, шестерне-эксцентриковый, закрытого типа. Валы привода в прессе К9532 расположены параллельно, а в остальных прессах — перпендикулярно к фронту пресса. Передача движения от электродвигателя к ползуну осуществляется через клиноременную и зубчатую передачи и кривошипно-шатунный механизм. Предусмотрена возможность отбора мощности для привода средств механизации и автоматизации.

Ползун — литой, перемещается в регулируемых направляющих станины. Регулировка расстояния между ползуном и подштамповой плитой осуществляется отдельным электродвигателем. Для удаления поковок из верхней половины штампа ползун оснащен жестким механическим выталкивателем. Подвижные части прессов уравновешены пневматическими цилиндрами. Стол прессов КА9540, КА9542 — подвижной, у остальных прессов — неподвижный. Конструкция стола предусматривает возможность установки гидропневматической подушки.

Муфта включения и тормоз — фрикционные, однодисковые, с электропневматическим управлением, расположены на промежуточном валу.

Управление прессами — кнопочное. Электросхема предусматривает работу прессов в автоматическом и наладочном режимах, а также в режиме одиночных ходов.

Система смазки — централизованная, циркуляционная.

Обрезные двухкривошипные закрытые прессы (табл. 5) предназначены для выполнения различных технологических операций по обработке поковок, полученных на горячештамповочных прессах, штамповочных молотах и другом горячештамповочном оборудовании: обрезки облоя, прошивки, гибки, правки и калибровки в горячем или холодном состоянии.

При оснащении средствами механизации и автоматизации прессы могут быть включены в автоматические линии. Прессы универсальны и находят применение в различных отраслях промышленности.

Прессы состоят из следующих основных узлов: станины, привода, ползуна, электрооборудования, систем смазки и управления. Станина — сварная, разъемная, коробчатой формы, состоит из траверсы, стола и стоек, соединенных между собой стяжными шпильками. Затяжка шпилек осуществляется гидравлическим устройством. В стойках станины предусмотрены окна для установки средств механизации и автоматизации.

Привод прессов — одноступенчатый. Движение на ползун передается от электродвигателя через клиноременную передачу и кривошипно-шатунный механизм. Кривошипный вал расположен вдоль фронта пресса.

Предусмотрена возможность отбора мощности для привода средств механизации и автоматизации.

5. Обрезные двухкривошипные закрытые прессы

Параметр	Модель			
	КА9033	КА9035	КА9036	КА9038
	Нормы			
Номинальная сила, кН	2000	3150	4000	6300
Ход ползуна, мм	200	250	280	320
Частота ходов ползуна, мин ⁻¹	50	50	45	40
Расстояние между подштамповой плитой и ползуном в его нижнем положении при регулировке вверх, мм	450	600	600	780
Значение регулировки расстояния между подштамповой плитой и ползуном, мм	20	20	20	20
Размеры стола, мм	1250×900	1250×900	1600×1120	1800×1250
Размеры ползуна, мм	1250×800	1250×800	1600×1000	1800×1120
Толщина подштамповой плиты, мм	180	200	200	220
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	22	30	40	55
Габаритные размеры пресса, мм:				
в плане	4010×2960	4080×3040	4490×3200	4925×3550
высота над уровнем пола	4885	5105	5315	5805
Масса пресса, т	41,0	48,0	65,5	92,0

Ползун перемещается в регулируемых направляющих станины. Регулировка расстояния между ползуном и подштамповой плитой осуществляется отдельным электродвигателем. Значение регулировки фиксируется на цифровом указателе. Для удаления деталей из верхней половины штампа ползун снабжен жестким механическим выталкивателем. Подвижные части прессов уравновешены пневматическими цилиндрами. Муфта включения и тормоз — фрикционные, дисковые, с электропневматическим управлением, расположены на кривошипном валу.

Управление прессами — кнопочное и от педали.

Электросхема предусматривает работу прессов в автоматическом и наладочном режимах, а также в режиме одиночных ходов.

Система смазки — централизованная, циркуляционная.

Чеканочные кривошипно-коленные прессы (табл. 6.) предназначены для выполнения различных холодноштамповочных работ, требующих высоких удельных давлений при небольших ходах: чеканки, калибровки, доводки, объемной формовки и др. Кроме того, они могут быть использованы для выполнения операций холодного выдавливания стальных деталей.

Прессы состоят из следующих основных узлов: станины, привода, ползуна, электрооборудования, систем смазки и управления.

Станина — сборносварная, повышенной жесткости, состоит из стоек, траверсы и стола.

Для удаления поковок из нижней половины штампа стол оснащен регулируемым механическим выталкивателем.

Привод прессов — двухступенчатый. Движение передается от электро-

6. Чеканочные кривошипно-коленные прессы

Параметр	Модель				
	КВ8334	КБ8336	КБ8338	КБ8340	КБ8342
	Нормы				
Номинальная сила, кН	2500	4000	6300	10000	16000
Ход ползуна, мм	120	130	150	170	180
Частота ходов ползуна, мин ⁻¹	60	50	40	32	25
Расстояние между подштамповой плитой и ползуном в его нижнем положении при регулировке вверх, мм	300	475	475	470	510
Значение регулировки расстояния между подштамповой плитой и ползуном, мм	12	12	15	16	16
Размеры стола, мм	400×400	500×500	630×630	800×800	1000×1000
Толщина подштамповой плиты, мм	60	100	120	140	160
Нижний выталкиватель:					
ход, мм	70	80	110	110	110
сила, кН	80	120	200	320	500
Верхний выталкиватель:					
ход, мм	10	10	10	10	16
сила, кН	25	40	65	100	160
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	8,5	19	21	40	63
Габаритные размеры прессы, мм:					
в плане	1745×1150	1980×1240	1700×1600	3060×1730	3115×2040
высота над уровнем пола	2585	2800	3000	3830	4750
Масса прессы, т	5,5	8,5	14,3	26,0	45,0
					71,6

двигателя через клиноременную передачу на промежуточный вал и далее через муфту и косозубую зубчатую передачу на спаренные эксцентриковые шестерни. Движение ползуна осуществляется через коленно-рычажную систему с помощью шатуна.

Муфта включения и тормоз — фрикционные, дисковые, жестко заблокированные, с электропневматическим управлением.

Ползун — сварной, коробчатой формы, совершает возвратно-поступательное движение в регулируемых направляющих станины. В ползуне смонтированы коленно-рычажная система привода ползуна, жесткий механический

выталкиватель для удаления поковок из верхней половины штампа и механизм регулировки расстояния между столом и ползуном с приводом от отдельного электродвигателя.

Ползун уравнивается пневматическими цилиндрами.

Управление прессами — кнопочное и от педали.

Электросхема предусматривает работу прессов в автоматическом и наладочном режимах, а также в режиме одиночных ходов.

Система смазки — централизованная, циркуляционная, автоматическая.

Кривошипно-коленные прессы для холодного выдавливания (табл. 7) пред-

7. Кривошипно-коленные прессы для холодного выдавливания

Параметр	Модель			
	КБ0032	КБ0034	КБ0036	КБ0038
	Нормы			
Номинальная сила, кН	1600	2500	4000	6300
Ход ползуна, мм	160	200	240	300
Ход ползуна до нижней мертвой точки при номинальной силе, мм	22	28	36	45
Частота ходов ползуна, мин ⁻¹	50	40	32	25
Расстояние между подштамповой плитой и ползуном в его нижнем положении при регулировке вверх, мм	435	490	590	700
Значение регулировки расстояния между подштамповой плитой и ползуном, мм	16	16	16	20
Размеры стола, мм	630×630	800×800	1000×1000	1250×1250
Нижний выталкиватель:				
ход, мм	90	110	120	140
сила, кН	200	320	320	360
Верхний выталкиватель:				
ход, мм	10	10	10	10
сила, кН	63	100	160	200
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	33,5	40,0	40,0	56,0
Габаритные размеры пресса, мм:				
в плане	2220×1490	3030×100	3030×1750	4200×2100
высота над уровнем пола	3622	3850	3870	4200
Масса пресса, т	12,1	21,7	36,5	64,5

назначены для выполнения операций холодного выдавливания деталей из стали и цветных металлов, а также для выполнения разделительных операций типа вырубки, просечки, обрезки, отрезки и др.

Прессы состоят из следующих основных узлов: станины, привода, ползуна, электрооборудования, систем смазки и управления. Станина — цельносварная, повышенной жесткости, состоит из двух стоек, траверсы и стола.

Для удаления деталей из нижней половины штампа стол оснащен регулируемым механическим выталкивателем. Привод прессов — двухступенчатый. Движение передается от электродвигателя через клиноременную передачу на промежуточный вал и далее через муфту и косозубую зубчатую передачу на спаренные эксцентриковые шестерни. Движение ползуна осуществляется через коленно-рычажную систему с помощью шатуна. Муфта включения и тормоз — фрикционные, дисковые, жестко заблокированные, с электропневматическим управлением.

Ползун — сварной, коробчатой формы, совершает возвратно-поступательное движение в регулируемых направляющих станины. В ползуне смон-

тированы коленно-рычажная система привода ползуна, жесткий механический выталкиватель для удаления деталей из верхней половины штампа. Механизм регулировки расстояния между столом и ползуном выполнен с приводом от отдельного электродвигателя. Регулировка осуществляется поворотом эксцентриковой втулки верхней оси ползуна.

Ползун уравновешен пневматическими цилиндрами.

Управление прессами — кнопочное. Электросхема предусматривает работу прессов в автоматическом и наладочном режимах, а также в режиме одиночных ходов.

Система смазки — централизованная, циркуляционная, автоматическая.

Гибочно-штамповочные горизонтальные (бульдозеры) прессы (табл. 8) предназначены для горячей и холодной гибки-штамповки в одноручьевых и многоручьевых штампах деталей из мерных штучных заготовок больших габаритов из сортового проката (полос, уголков, кругов, квадратов и другого сортового проката).

Винтовые прессы (рис. 2, табл. 9) предназначены для штамповки в открытых и закрытых штампах (в основ-

8. Основные параметры прессов гибочно-штамповочных горизонтальных (бульдозеров)

Параметр	Норма	
Номинальная сила, кН	1000	1600
Ход ползуна, мм	420	500
Число ходов ползуна, мин ⁻¹	25/19	20/8
Размеры ползуна, мм:		
длина	1200	1500
ширина	300	350
Наибольшее расстояние между ползуном и упором в конце рабочего хода ползуна, мм	750	1020
Мощность привода, кВт	12	18,5
Масса, т	8,6	14

9. Винтовые прессы (по ГОСТ 713–88)

Параметр	Нормы									
	0,4		0,63		1,0		1,6		2,5	
Номинальная сила прессы, МН	0,63		1,0		1,6		2,5		4,0	
Допустимая сила, МН	0,8		1,25		2,0		3,0		4,0	
Эффективная номинальная энергия, кДж, не менее	200		230		260		320		400	
Наибольший ход ползуна S , мм, не менее	42		36		38		34		28	
Частота ходов ползуна при наибольшем ходе, мин ⁻¹ , не менее	360		400		450		500		560	
Расстояние между направляющими в свету B , мм, не менее	350		390		440		500		560	
Размер ползуна L , мм, не менее	450		500		560		650		750	
Размеры стола, мм, не менее:	400		450		500		580		670	
L_1	190		210		250		320		420	
B_1										
Высота штампа H , мм, не менее	0,04		0,06		0,08		0,12		0,16	
Нижний выталкиватель:	85		90		95		100		105	
сила, МН, не менее										
наибольший ход, мм										

Продолжение табл. 9

Параметры	Нормы									
	4,0		6,3		10,0		16,0		25,0	
Номинальная сила пресса, МН									16,0	
Допустимая сила, МН	6,3		10,0		16,0		25,0			
Эффективная номинальная энергия, кДж, не менее	25,0	40,0	50,0		80,0		100,0		160,0	
									200,0	
Наибольший ход ползуна S , мм, не менее	460		520		580		640			
Частота ходов ползуна при наибольшем ходе, мин ⁻¹ , не менее	30	22	25		18		20		14	
									16	
Расстояние между направляющими в свету B , мм, не менее	670		800		1000		1180			
Размер ползуна L , мм, не менее	630		800		1000		1180			
Размеры стола, мм, не менее	L_1	875	1000		1180		1400			
B_1	775	900		1030		1220				
Высота штампа H , мм, не менее	450		500		560		660			
Нижний выталкиватель:	сила, МН, не менее	0,20	0,25		0,32		0,45			
наибольший ход, мм	115		125		135		150			

Окончание табл. 9

Параметры	Нормы									
Номинальная сила пресса, МН	25		40		63		100			
Допустимая сила, МН	40		63		100		160			
Эффективная номинальная энергия, кДж. не менее	400	630	800	1250	1600	2500	3200	5000		
Наибольший ход ползуна S , мм, не менее	710		800		900		1000			
Частота ходов ползуна при наибольшем ходе, мин ⁻¹ , не менее	15	10	12	8	10	8	5			
Расстояние между направляющими в свету B , мм, не менее	1400		1600		1800		2000			
Размер ползуна L , мм, не менее	1400		1600		1800		2000			
Размеры стола, мм, не менее:										
L_1	1600		2000		2400		3000			
B_1	1400		1800		2000		2500			
Высота штампа H , мм, не менее	900		1200		1600		2000			
Нижний выталкиватель:										
сила, МН, не менее	0,55		0,7		0,85		1,0			
наибольший ход, мм	165		190		210		230			

10. Гидравлические ковочные прессы с верхним расположением рабочих цилиндров

Параметр	Модель						
	ПА1339	ПА1341	ПА1343	ПА1345	ПА1348	ПВГК8000-4	ПВГК15000-4
	Нормы						
Номинальная сила пресса, кН	8000	12500	20000	31500	63000	80000	150000
Наибольший ход ползуна, мм	900	1250	1600	2000	2650	3000	4000
Расстояние между столом и подвижной траверсой в ее верхнем положении, мм	2120	2650	3150	4000	5600	6500	8500
Размеры выдвижного стола, мм	1000×2500	1250×3150	1600×4000	2000×5600	3150×8000	3600×8000	4700×12000
Ход выдвижного стола относительно оси прессы, мм:							
влево	1120	1400	1600	2240	3150	3000	6000
вправо	1120	1400	1600	2240	3150	3000	4000
Скорость перемещения ползуна, мм/с:							
при холостом ходе	300	300	300	300	300	300	300
при рабочем ходе	150	150	150	150	150	100	80
Ход выталкивателя над столом, мм	320	400	560	800	1000	810	850
Сила выталкивателя, кН	400	630	1000	1600	2500	2700	6300
Габаритные размеры прессы, мм:							
слева направо	15940	16940	17840	23400	33000	48500	52620
спереди назад	12705	11540	12470	19335	25000	30000	37460
высота над уровнем пола	6000	7270	8900	11030	14330	16000	19860
Масса прессы, т	149	193	335	680	1730	3500	5200

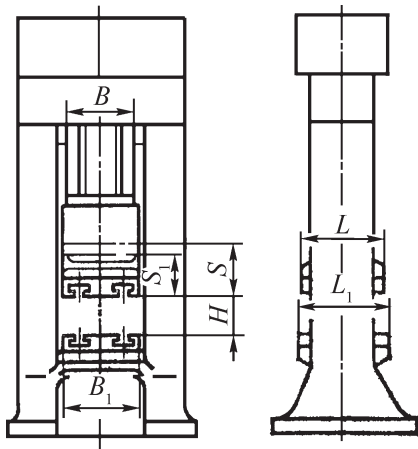


Рис. 2. Винтовые прессы

ном одноручьевых). Прессы с дугостаторным приводом предназначены для выполнения различных операций холодной и горячей штамповки, чеканочных, гибочных, рихтовочных и калибровочных работ. Прессы с гидравлическим приводом применяют для точной объемной штамповки поковок, калибровки, чеканки и выдавливания заготовок из обычных и труднодеформируемых металлов и сплавов. Особое место в ряду винтовых прессов занимают прессы винтовые муфтовые, отличающиеся чисто механическим приводом.

2. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРЕССЫ

Гидравлические ковочные прессы с верхним расположением рабочих цилиндров (табл. 10) предназначены для изготовления поковок методомковки из углеродистых, высокоуглеродистых сталей и сплавов, цветных металлов и их сплавов, а также для выполнения отдельных штамповочных операций, не требующих строгого направления подвижных частей.

Станина прессов — сборная, состоит из верхней литой неподвижной траверсы, литого основания, покрытого

стальными термообработанными накладками, и четырех колонн. Колонны одновременно являются трубопроводами, обеспечивающими подачу рабочей жидкости к силовым гидроцилиндрам.

В неподвижной траверсе установлены три рабочих гидравлических цилиндра плунжерного типа, что позволяет работать с тремя ступенями рабочей силы. На траверсе также смонтированы цилиндры обратного хода плунжерного типа, связанные с ползуном посредством тянущих колонн.

Ползун — литой. На его нижней части установлен клиновой зажим (с приводом от пневмоцилиндров) для быстрого крепления верхних бойков.

Для расширения технологических возможностей прессы оснащены выдвижным столом и выталкивателем. Выдвижной стол — двухсторонний, имеет большую длину и возможность хода (влево и вправо) вдоль осиковки в стальных азотированных направляющих, что позволяет одновременно устанавливать несколько комплектов рабочего инструмента.

По особому заказу прессы могут быть оснащены: механизмом смены инструмента; обеспечивающим смену нижних бойков в процессековки; центральным выталкивателем для удаления готового изделия при штамповочных работах; тележкой с поворотным столом для подачи слитка (к прессу) и его отвода, а также для разворотаковки при перехвате манипулятором

Режимы работы прессов: ручной, полуавтоматический, автоматический. Смазка основных механизмов прессов — автоматическая, централизованная. Смазка направляющих стола — жидкая, с замкнутой циркуляцией.

Гидравлические прессы для горячей объемной штамповки (табл. 11) предназначены для горячей объемной штамповки паковок из черных и цветных металлов и их сплавов. Кроме того, они могут быть использованы для листовой штамповки, осадки, правки и выполнения других операций, не требующих приложения больших эксцентрисических нагрузок.

Конструкция прессов — вертикальная, четырехколонная. Верхняя и нижняя траверсы — литые, коробчатой формы, стянуты между собой круглыми колоннами, по которым в бронзовых

направляющих перемещается подвижная литая траверса коробчатой формы. В своем нижнем положении подвижная траверса опирается на четыре ограничителя, охватывающих колонны у нижней траверсы.

В верхней траверсе размещены три плунжерных гидроцилиндра: центральный и два боковых.

Обратный ход подвижной траверсы осуществляется двумя плунжерными гидроцилиндрами, установленными в нижней траверсе.

Для расширения технологических возможностей прессы оснащены вы-

11. Гидравлические прессы для горячей объемной штамповки

Параметр	Модель	
	П272А	П2547
	Нормы	
Номинальная сила прессы, кН:		
на первой ступени	10000	16000
на второй ступени	20000	31500
на третьей ступени	31500	50000
Наибольший ход подвижной траверсы, мм	1000	1250
Наибольшее расстояние между столом и подвижной траверсой, мм	2200	2500
Размеры выдвижного стола, мм	1600×2000	2500×2000
Номинальная сила выталкивателя, кН:		
центрального	1800	2000
бокового	—	2000
Наибольший ход выталкивателя, мм	750	750
Наибольшая скорость перемещения подвижной траверсы, мм/с:		
при рабочем ходе	50	80
при холостом ходе	200	200
при обратном ходе	250	200
Установленная мощность привода, кВт	19	21
Габаритные размеры прессы, мм:		
слева направо	14800	14800
спереди назад	10000	11000
высота над уровнем пола	7100	9700
Масса прессы, т	330	570

движным столом, перемещающимся по плоскости нижней траверсы. Перемещение выталкивателя осуществляется с помощью гидроцилиндров. Пресс П2547 дополнительно оснащен дополнительным гидровыталкивателем.

Опускание подвижной траверсы на холостом ходу осуществляется под действием собственного веса. При этом заполнение рабочих цилиндров производится из бака наполнения, расположенного на верхней траверсе, с помощью клапанов наполнения. Перемещение всех подвижных органов и создание рабочих сил осуществляется индивидуальным масляным гидроприводом. Гидропривод состоит из масляного бака, на котором расположены гидронасос с индивидуальным электродвигателем, гидроаппаратура и устройства для фильтрации и охлаждения масла.

Гидросхема обеспечивает работу прессов с тремя ступенями рабочей силы: на первой ступени действует центральный гидроцилиндр, на второй —

два боковых гидроцилиндра, на третьей — все три рабочих цилиндра.

Окончание рабочего хода может осуществляться либо по пути подвижной траверсы, либо по давлению. Технологический процесс, выполняемый на прессах в каждом конкретном случае, определяется типом, формой и размерами штампуемой детали.

Режимы работы прессов: наладочный, ручной, полуавтоматический и автоматический.

Управление прессами осуществляется с центрального пульта.

Для обслуживания узлов, расположенных на верхней и подвижной траверсах, предусмотрены площадки с лестницами. Смазка пресса П2547 — комбинированная: автоматическая централизованная жидкая и ручная густая. В прессе П272А применяется централизованная густая смазка от ручных насосов.

Гидравлические многоплунжерные прессы для безоблойной штамповки (табл. 12) предназначены для горячей

12. Гидравлические многоплунжерные прессы для безоблойной штамповки

Параметр	Модель		
	ПБ2636	ПБ2638А	ПБ2640
	Нормы		
Номинальная сила штамповки горизонтальными пуансонами, кН:			
на первой ступени	2000	3150	5000
на второй ступени	4000	6300	10000
Ход горизонтальных пуансонов, мм	100	125	150
Скорость штамповки горизонтальными пуансонами, мм/с:			
на первой ступени	100	100	80
на второй ступени	50	50	40
номинальная сила штамповки вертикальными пуансонами, кН	1000	1600	2500
Ход вертикальных пуансонов, мм	50	70	100
Скорость штамповки вертикальными пуансонами, мм/с	110	102	165
Номинальная сила прижимной траверсы, кН	8000	12500	20000
Ход прижимной траверсы, мм	400	500	630
Скорость опускания прижимной траверсы, мм/с	270	208	200

Окончание табл. 12

Параметр	Модель		
	ПБ2636	ПБ2638А	ПБ2640
	Нормы		
Номинальная сила верхнего и нижнего выталкивателей, кН	160	200	320
Ход выталкивателей, мм	50	70	100
Установленная мощность электродвигателей, кВт	240	350	460
Габаритные размеры пресса, мм:			
слева направо	6800	8800	10000
спереди назад	10400	11500	10000
высота над уровнем пола	5500	6730	7200
Масса пресса, т, около	119,8	159	260

штамповки в разъемных матрицах поковок сложной конфигурации из стали, алюминиевых и титановых сплавов.

Прессы работают следующим образом. Заготовка устанавливается в нижней полуматрице, после чего опускается прижимная траверса с верхней полуматрицей. После смыкания полуматриц происходит их сжатие цилиндрами прижима, а затем начинается рабочий ход пуансонов. Последовательность движения пуансонов определяется выбранным режимом работы. На прессах реализуются следующие варианты движений: одновременное движение всех пуансонов; движение горизонтальных пуансонов, движение вертикальных пуансонов; движение вертикальных пуансонов, движение горизонтальных пуансонов; выполнение указанных движений без участия одного или обоих вертикальных пуансонов.

В начале хода (на первой ступени сил) подвижных траверс происходит быстрое перемещение обоих горизонтальных пуансонов. В конце хода (на второй ступени сил) скорость движения замедляется. Штамповка вертикальными пуансонами осуществляется при подаче рабочей жидкости в верхний дифференциальный цилиндр, в

нижний подвижный цилиндр или одновременно в оба цилиндра.

После окончания штамповки все пуансоны совершают обратный ход. Затем прижимная траверса поднимается и происходит выталкивание заготовки из полуматриц (срабатывают оба механизма выталкивания, размещенные в нижней траверсе и в траверсе прижима).

Прессы состоят из двух независимых станин: вертикальной, объединяющей два цилиндра прижима и два форсирующих цилиндра, расположенных по диагонали, и горизонтальной, объединяющей центральные и боковые цилиндры.

Вертикальная станина состоит из верхней и нижней траверс, соединенных между собой четырьмя колоннами, по которым перемещается прижимная траверса. Снизу к прижимной траверсе крепится верхняя часть блока крепления полуматриц. Нижняя часть блока крепится к нижней траверсе. Верхняя и нижняя полуматрицы крепятся к соответствующим частям блока. Предусмотрена возможность подогрева матриц до 350 ± 25 °С с помощью индукционных нагревателей.

По центру верхней траверсы расположен центральный дифференциальный цилиндр, на нижнем плунжере которого закреплен верхний пуансонодержатель. В нижней траверсе установлен подвижный цилиндр, на верхнем дне которого закреплен нижний пуансонодержатель. Горизонтальная станина установлена на нижней траверсе. На горизонтальной станине смонтированы левая и правая неподвижные траверсы, соединенные между собой по диагонали двумя колоннами. На колоннах установлены подвижные траверсы, на которых закреплены горизонтальные пуансонодержатели. Перемещение каждой из подвижных траверс осуществляется независимо соответствующими гидроцилиндрами.

Для многопуансонной штамповки в разъемных матрицах гидравлический пресс мод. ПБ2632 (рис. 3, табл. 13) имеет верхний вертикальный прижим-

ной ползун, четыре деформирующих ползуна (верхний, нижний, левый и правый), четыре дополнительных силовых органа, устройства для загрузки исходных заготовок в штамп и удаления готовых заготовок.

Важным преимуществом пресса является оснащение деформирующих ползунов дополнительными силовыми органами, что позволяет получать сложные детали в одном ручье штампа. Возможность регулировки силы дополнительных силовых органов позволяет управлять процессом формообразования и предотвращать перегрузку штампового инструмента. Одновременно дополнительные силовые органы используются в качестве выталкивающих устройств.

Система управления прессом обеспечивает более десяти различных вариантов последовательности движения пуансонов, что позволяет полу-

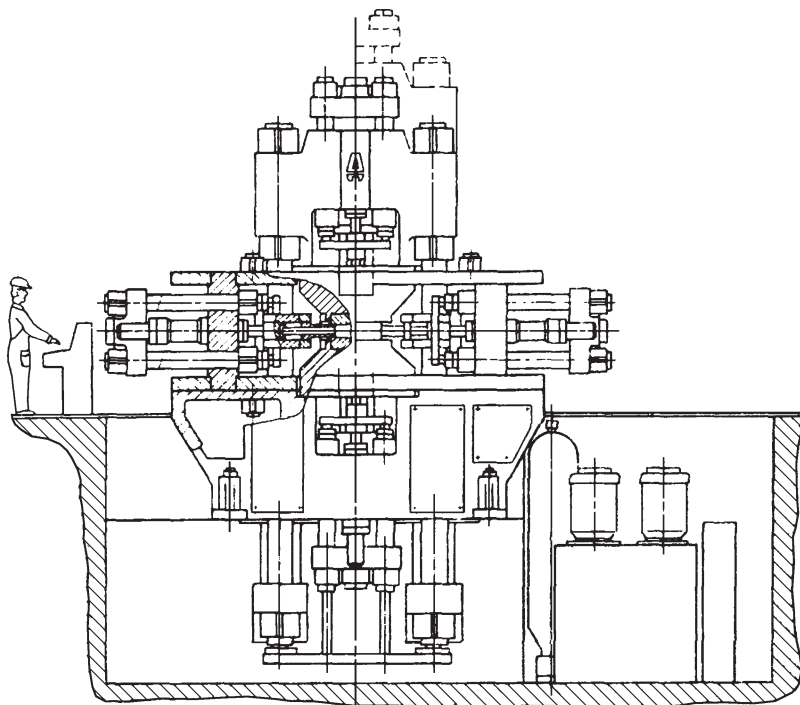


Рис. 3. Многоплунжерный пресс мод. ПБ2632

13. Техническая характеристика прессы мод. ПБ2632

Параметры	Нормы
Сила каждого деформирующего ползуна, кН	1600
Наибольший ход деформирующих ползунов, мм:	
вертикальных	70
горизонтальных	130
Сила возврата деформирующих ползунов, кН	250
Скорость деформирующих ползунов (средняя), мм/с	450
Сила прижимной траверсы, кН	3150
Ход прижимной траверсы, мм	220
Скорость перемещения прижимной траверсы, мм/с	300
Регулируемая сила каждого из дополнительных силовых механизмов, кН	20...240
Наибольший ход дополнительных силовых механизмов, мм:	
вертикальных	60
горизонтальных	100
Наибольшее время цикла, с	8
Номинальное давление рабочей жидкости, МПа	32
Установленная мощность, кВт	100
Габаритные размеры прессы без гидропривода, мм:	
длина	5250
ширина	2530
высота над уровнем пола	5050
Масса, т	88

чать на прессе детали широкой номенклатуры.

Основные преимущества гидравлических многоплунжерных прессов: предусмотрена возможность штамповки поковок из фасонных заготовок, так как они могут быть уложены в полости нижней полуматрицы при отведенной верхней полуматрице; прессы обеспечивают непрерывный цикл штамповки после укладки заготовки в полость нижней полуматрицы.

Управление прессами — кнопочное, осуществляется с пульта управления.

Система смазки — централизованная.

Гидравлические прессы для холодного выдавливания рельефных полостей (табл. 14) предназначены для холодного выдавливания рельефных полостей в формообразующих деталях технологической оснастки (штампах, пресс-формах, матрицах).

Выдавливание полости производится внедрением закаленного мастер-пуансона в сырую металлическую заготовку.

Станина прессы П0443А — сборная, рамного типа, состоит из двух стоек и верхней траверсы. Станина остальных прессов — цельнолитая, рамная, обладает высокой жесткостью. В нижней части станины расположен силовой

14. Гидравлические прессы для холодного выдавливания рельефных полостей

Параметр	Модель			
	П7636	П7640	П0443А	П7644
	Нормы			
Номинальная сила пресса, кН	4000	10000	20000	25000
Наибольший ход подвижного стола, мм	250	320	500	500
Скорость перемещения подвижного стола, мм/с:				
рабочая (регулируемая)	0,005...0,4	0,005...0,4	0,005...0,4	0,005...0,4
при холостом ходе	10	8,5	3,1	6,7
Наибольшее расстояние между подвижным столом и верхней траверсой, мм	340	500	1500	710
Установленная мощность электродвигателя, кВт	3,0	7,5	5,5	17,0
Габаритные размеры пресса, мм:				
слева направо	3810	4025	2575	4650
спереди назад	1020	1010	1500	1675
высота над уровнем пола	1950	2000	3600	2820
общая высота	1950	2240	4000	3240
Масса пресса, т	5,9	10,7	28,7	27,0

гидравлический цилиндр плунжерного типа, осуществляющий перемещение подвижного стола. Стол и верхняя траверса — литые, стальные.

Ограничение глубины выдавливания можно осуществлять по пути и по давлению в гидросистеме. При ограничении глубины выдавливания по пути используется выотомер с ценой деления 0,01 мм. При ограничении по давлению применяется электроконтактный манометр. Для его точной установки на пульте управления имеется измерительный манометр.

Скорость прессования регулируется бесступенчато с помощью регулятора скорости. Гидропривод прессов П7636, П7640 и П7644 установлен отдельно от пресса. Гидропривод пресса П0443А размещен в одной из стоек.

Режимы работы прессов: наладочный, ручной и полуавтоматический. В прессе П0443А режим работы задается с помощью программного штеккер-

ного поля, расположенного на пульте управления. В прессах П7636, П7640 и П7644 пульт управления установлен отдельно от пресса. Система смазки — централизованная.

Гидравлические прессы с нижним приводом для холодного выдавливания деталей (табл. 15) предназначены для холодного выдавливания сложных деталей (типа втулки с фланцем, ступенчатой втулки и т.п.) из заготовок черных и цветных металлов и сплавов.

Станина прессов — вертикальная, цельнолитая, с нижним расположением главного цилиндра, приводящего в движение ползун. Для обратного хода ползуна предусмотрены возвратные цилиндры. В верхней траверсе станины смонтирован вспомогательный гидроцилиндр. Внутри ползуна встроены выталкиватель.

Прессы оснащены калеными подштамповыми плитами, а также контрольными приборами для ограниче-

15. Гидравлические прессы П2936 В П2940 с нижним приводом для холодного выдавливания деталей

Параметр	Модель	
	П2936	П2940
	Нормы	
Номинальная сила ползуна, кН	4000	10000
Номинальная сила штока верхнего цилиндра, кН	1600	1000
Номинальная сила обратного хода ползуна, кН	210	500
Наибольший ход ползуна, мм	320	400
Наибольший ход штока верхнего цилиндра, мм	160	200
Наибольшая скорость рабочего хода ползуна, мм/с	17	17
Открытая высота прессы, мм	500	900
Установленная мощность привода, кВт	75	140
Габаритные размеры прессы, мм:		
слева направо	5000	5500
спереди назад	2300	2800
высота над уровнем пола	3600	3700
Масса прессы, т	15,1	35,0

ния процесса выдавливания по заданной глубине или заданному давлению в гидросистеме. Направляющие качения, используемые в прессах, обеспечивают возможность регулирования необходимого натяга или зазора. Отдельно от прессов на фундаменте установлены электрошкаф, пульт управления и гидроагрегат, представляющий собой бак, на котором установлена насосная установка с регулирующей аппаратурой. Режимы работы прессов: наладочный, рабочий и полуавтоматический.

Гидравлические одностоечные прессы (табл. 16) предназначены для выполнения различных монтажно-запрессовочных операций, прошивки, калибровки, гибки и штамповки. При установке правильного стола с оснасткой прессы могут быть использованы для правки.

Станина прессов — сварная, одностоечная, С-образной формы. Внутри станины расположен гидроагрегат.

В верхней консоли станины установлен главный силовой цилиндр поршневого типа, на днище которого смонтированы клапан и бак наполнения. К торцу штока главного цилиндра крепится ползун, представляющий собой стальную плиту. Значение хода ползуна регулируется установкой командоаппарата перемещения ползуна.

На нижней консоли станины расположены рабочий стол, пульт двухкнопочного управления и рукоятка рычажной системы управления.

Гидроагрегат состоит из электродвигателя, насоса с регулируемой подачей, контрольно-регулирующей и распределительной аппаратуры.

На прессе П6328Б установлено устройство фотозащиты, включающее обратный ход ползуна при пересечении световой завесы. Режимы работы прессов: наладочный и одиночные ходы. Система смазки — комбинированная.

16. Гидравлические одностоечные прессы

Параметр	Модель						
	П6316А	П6320Б	П6324Б	П6326Б	П6328Б	П6330Б	П6334Б
	Нормы						
Номинальная сила пресса, кН	40	100	250	400	630	1000	1600
Наибольший ход штока главного цилиндра, мм	250	400	500	500	500	500	500
Наибольшее расстояние между столом и штоком главного цилиндра, мм	400	600	710	710	710	750	800
Размеры рабочего стола, мм:							
слева направо	320	500	630	630	630	800	1000
спереди назад	300	380	480	560	560	630	630
Расстояние от оси штока главного цилиндра до станины, мм	160	200	250	320	320	400	400
Скорость штока главного цилиндра, мм/с:							
при холостом ходе	150	230	250	250	250	190	180
при рабочем ходе	48	25	20	16	18	8	6,3
при обратном ходе	360	350	350	350	350	240	180
Установленная мощность привода, кВт	3	4	7,5	7,5	11	11	15
Габаритные размеры пресса, мм:							
слева направо	715	910	900	900	1060	1200	1150
спереди назад	1020	1450	1530	1650	1800	2090	2170
высота над уровнем пола	1240	2085	2760	2880	2900	3400	3670
Масса пресса, т	0,43	1,2	2,1	3,0	3,7	5,5	7,4

17. Гидравлические одностоечные прессы с гидродушкой

Параметр	Модель			
	ПЗ226Б	ПЗ228Б	ПЗ230А	ПЗ232Б
	Нормы			
Номинальная сила прессы, кН	400	630	1000	1600
Наибольший ход штока главного цилиндра, мм	500	500	500	500
Наибольшее расстояние между столом и штоком главного цилиндра, мм	710	710	750	750
Размеры рабочего стола, мм: слева направо спереди назад	630 560	710 560	800 630	800 630
Расстояние от оси штока главного цилиндра до станины, мм	320	320	400	400
Скорость штока главного цилиндра, мм/с: при холостом ходе при рабочем ходе при обратном ходе	350 20 500	250 18 350	190 8 240	250 10 250
Номинальная сила нижнего выталкивателя, кН	160	250	400	630
Ход нижнего выталкивателя, мм	160	160	200	200
Наибольший ход пибера, мм	400	400	400	400
Установленная мощность привода, кВт	11	15	11	18,5
Габаритные размеры прессы, мм: слева направо спереди назад высота над уровнем пола	950 1650 2880	1060 1800 2900	1200 2090 3400	1150 2090 3500
				1320 2230 3670

Гидравлические одностоечные прессы с гидроподушкой (табл. 17) предназначены для выполнения различных технологических операций обработки давлением: запрессовки, прошивки, гибки, листовой штамповки, калибровки, правки валов и др.

Станина прессов — сварная, одностоечная, С-образной формы. Внутри станины расположен гидроагрегат.

В верхней консоли станины установлен главный силовой цилиндр поршневого типа со встроенным форсирующим плунжером, обеспечивающим ускоренные холостые ходы и замедленный рабочий ход. На днище главного цилиндра смонтированы клапан и бак наполнения. К торцу штока главного цилиндра крепится ползун, представляющий собой стальную плиту. Величина хода ползуна регулируется установкой командоаппарата перемещения, выполненного на бесконтактных выключателях.

На нижней консоли станины расположены рабочий стол, пульт двухкнопочного управления и рукоятка рычажной системы управления. Внутри нижней консоли установлена гидроподушка, выполняющая функции нижнего прижимного устройства и выталкивателя. Она состоит из гидроцилиндра поршневого типа, на штоке которого закреплена плита, перемещающаяся по направляющим колоннам.

В станине размещен змеевик маслоохладителя, на конце которого установлен электроклапан, управляющий подачей охлаждающей воды в змеевик.

Гидроагрегат прессов оснащен насосом с регулируемой подачей. Гидропанель выполнена на базе встроенной клапанной аппаратуры.

Прессы могут быть оснащены шиберным устройством с индивидуальным гидроприводом. Ход шибера регулируется в зависимости от размеров пода-

ваемой заготовки. Электрооборудование размещено в электрошкафу, установленном на правой стороне станины. На боковой стенке электрошкафа расположена панель манометров для регулировки и визуального контроля давления рабочей жидкости. Для защиты обслуживающего персонала прессы оснащены устройством фотозащиты, включающим обратный ход ползуна при пересечении лучей световой завесы. Режимы работы прессов: наладочный, полуавтоматический и автоматический.

Гидравлические прессы для пакетирования легковесных отходов и лома БА1330, Б1332, БА1334А, БА1334 (табл. 18) предназначены для прессования легковесных металлических отходов и лома в пакеты, удобные для транспортирования и переплавки.

Для обеспечения высокой прочности и плотности пакетов в прессах предусмотрено сжатие в трех взаимно перпендикулярных направлениях (первая, вторая и третья операции).

Конструкция прессов — горизонтальная. Станина — сборносварная, коробчатой формы, служит одновременно загрузочной и прессовой камерой. На станине закреплены гидроцилиндры первой, второй и третьей операций, крышка с гидроцилиндрами и заслонка.

Пакеты изготавливают за один цикл пакетирования. Металлолом с помощью специального устройства загружается в прессовую камеру. Поворачивающаяся вокруг стяжки крышка закрывается, осуществляя предварительную подпрессовку, и происходит прессование лома пресс-штемпеями первой, второй и третьей операций. Затем гидроцилиндр заслонки открывает окно выдачи, и готовый пакет перемещением пресс-штемпеля третьей операции выталкивается из пресса. Все рабочие органы возвращаются в исходное положение — цикл окончен.

18. Гидравлические прессы для пакетирования легковесных отходов и лома

Параметр	Модель						
	БА1330	Б1332	БА1334А	Б1334	Б1638	Б1642	Б1345
	Нормы						
Сила (на окончательной ступени прессования), кН	1000	1600	2500		6300	16000	31500
Размеры пакета, мм, не более:							
длина	400	450	500		1000	2000	
ширина	320	340	360		500	1000	
высота	320	340	360		500	710	
Объем прессовой камеры в начале пакетирования, м ³	0,72	2,43	10,9	2,94	10	21	32,5
Толщина пакетируемых отходов, мм, не более	3		4	6	8	12	
Производительность, пакетов в час	40			35	30	20	
Мощность привода, кВт	22	89,7	177,2	127	300	750	1320
Габаритные размеры, мм:							
длина	4600	8800	12000	9000	15350	18700	25800
ширина	3300	5300	8700	5350	1050	17180	22650
высота над уровнем пола	2600	3100	1000	2780	4650	1000	6320
Масса, т	10,6	38	148	72	230	605	1190

Прессы снабжены механизмом контроля длины пакетов, состоящим из сельсина-датчика, связанного с ползуном третьей операции, и сельсина-приемника, установленного на пульте управления и показывающего на стрелочном приборе длину пакета.

Все поверхности прессовой камеры и пресс-штемпелей, соприкасающиеся в процессе пакетирования с металлоломом, облицованы быстросменными износостойкими плитами. Кроме того, все трущиеся поверхности прессовой камеры смазываются с помощью специального устройства жидкой смазкой.

Гидропривод прессов — индивидуальный, масляный. Он представляет собой автономный гидроагрегат, устанавливаемый отдельно от пресса. Охлаждение гидроагрегата осуществляется встроенным теплообменником.

Все используемые в прессах гидроцилиндры — поршневого типа.

Управление прессами — электрогидравлическое, кнопочное, осуществляется с пульта управления, расположенного в кабине оператора.

Режимы работы прессов: наладочный, одиночные ходы, полуавтоматический. Система смазки — централизованная.

Гидравлические прессы для пакетирования металлолома Б1638, Б1642, Б1345 (табл. 19) предназначены для прессования листовых отходов черных и цветных металлов в пакеты, используемые в качестве шихты в металлургическом производстве. Станина прессов одновременно служит прессовой камерой. Она представляет собой открытую сверху коробку, боковины и основание которой соединены между собой двумя

колоннами и стяжками. С левой боковой соединен короб, служащий для загрузки лома в прессовую камеру. На левой боковине и крышке установлены ножи для обрезки излишков металлолома.

Механизм первой ступени прессования закреплен на торце загрузочного короба и состоит из траверсы, двух рабочих гидроцилиндров и цилиндра обратного хода. Плунжеры цилиндров соединены с траверсой.

Механизм второй ступени прессования состоит из крышки и качающейся траверсы, в которую встроены два гидроцилиндра.

Механизм третьей ступени прессования расположен против механизма второй ступени и состоит из двух рабочих плунжерных гидроцилиндров и цилиндра обратного хода.

Механизм четвертой ступени прессования, предназначенный для окончательного формирования пакета по длине, состоит из рабочего гидроцилиндра, выполненного с двумя встроенными один в другой плунжерами, и двух цилиндров обратного хода. Оба плунжера рабочего цилиндра осуществляют прессование пакета, а внутренний плунжер с увеличенным ходом — еще и выталкивание готового пакета через окно в правой боковине, закрываемое шибером. Режимы работы прессов: наладочный и автоматический.

Управление прессами — кнопочное, осуществляется с пульта управления. Система смазки — централизованная.

Гидравлические прессы для брикетирования чугуновой и стальной дробленой стружки (рис. 4, табл. 19) предназначены для прессования дробленой стружки черных и цветных металлов в брикеты, используемые в машиностроительной, металлообрабатывающей и металлургической промышленности.

Прессы — горизонтальные, колонного типа.

Станина — сварная, служит основанием пресса и одновременно емкостью для рабочей жидкости гидропривода. На станине установлен гидроагрегат, управляющий перемещением подвижных механизмов пресса.

Равномерная подача стружки в контейнер обеспечивается вибробункером и вибропитателем. Контейнер с гидравлическими (в прессе Б6234 — пневматическими) трамбовками производит предварительное уплотнение и брикетирование стружки. К контейнеру крепится инструмент для брике-

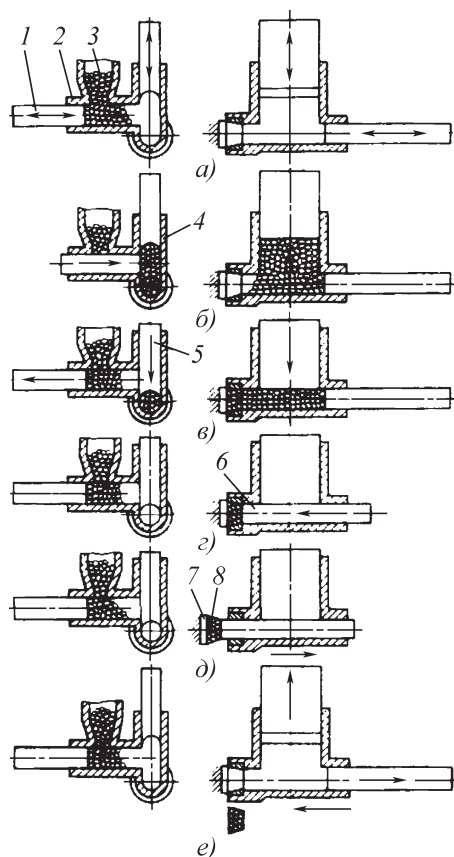


Рис. 4. Схема работы механизмов пресса для горячего брикетирования стружки:
1 — штемпель; 2 — дозатор; 3 — стружка;
4 — контейнер; 5 — штемпель; 6 — пресс-штемпель; 7 — пресс-шайба;
8 — брикет

19. Гидравлические прессы для брикетирования чугунной и стальной дробленой стружки

Параметр	Модель		
	Б6234	Б6238	Б6241
	Нормы		
Номинальная сила пресса, кН	2500	6300	12500
Ход поршня главного цилиндра, мм	350	520	720
Диаметр готового брикета из стальной стружки при плотности не менее 5 кг/дм^3 , мм	120	170	230
Масса готового брикета, кг	2,5	13	31
Производительность пресса, т/ч	1,1...1,5	4...4,5	7...8
Установленная мощность электродвигателей, кВт	30,8	111,0	285,3
Габаритные размеры пресса, мм:			
слева направо	3600	5150	12500
спереди назад	2140	3050	3500
высота над уровнем пола	1840	2800	4000
Масса пресса, т	8,7	27,0	92,0

тирования, который является рабочим органом, непосредственно осуществляющим брикетирование стружки.

Для быстрой подачи предварительно уплотненной стружки в матрицу, дальнейшей подпрессовки и быстрого отвода пресс-штемпера в исходное положение используется ускорительный цилиндр поршневого типа, закрепленный на корпусе главного цилиндра.

Главный цилиндр предназначен для создания рабочего давления, необходимого для формообразования брикетов. Для извлечения брикета из матрицы и возврата контейнера в исходное положение служат гидроцилиндры перемещения контейнера.

Необходимые удельные давления прессования при брикетировании стружки различных металлов получают с помощью сменных пресс-штемпер различных диаметров.

Режимы работы прессов: наладочный и автоматический.

Управление прессами — кнопочное, осуществляется с пульта управления.

Гидравлические прессы для прессования изделий из металлических порошков и порошков твердых сплавов (табл. 20) предназначены для прессования из металлических порошков и порошков твердых сплавов различных изделий типа гладких втулок, втулок с буртом, фланцев и т.п.

Способ получения деталей из порошков является самым прогрессивным и современным, поскольку при его реализации коэффициент использования металла близок к единице. После прессования, спекания и калибровки деталей практически не требуется дополнительная обработка, так как обеспечивается высокая размерная точность и чистота поверхностей деталей.

Конструктивно прессы выполнены в трех исполнениях: прессы ДА1224, ДА1228, ДА1238Б, ДА1240 — колонного типа, прессы ДА1532Б, ДА1534Б — рамного типа, пресс ДА1536Б — составного типа.

Все прессы имеют конструкцию с верхним расположением прессующего

20. Гидравлические прессы для прессования изделий из металлических порошков и порошков твердых сплавов

Параметр	Модель						
	ДА12М	ДА1228	ДА1532Б	ДА1534Б	ДА1536Б	ДА1238Б	ДА1240
	Нормы						
Номинальная сила, кН	250	630	1600	2500	4000	6300	10000
Ход верхнего пуансона, мм	160	200	400	400	400	630	500
Наибольшая насыпная высота порошка, мм	75	100	200	250	300	350	350
Наибольший диаметр изделия, мм	70	100	125	160	250	250	250
Скорость верхнего пуансона, мм/с:							
при рабочем ходе	55	26	68	39	24	65	38
при обратном ходе	400	152	265	239	239	163	76
Установленная мощность электродвигателей, кВт	16,1	16,1	57,0	61,0	81,0	133,8	135,1
Габаритные размеры, мм:							
слева направо	3900	4130	4450	4450	5000	6000	6240
спереди назад	2100	2740	3580	4300	5170	3000	3500
высота над уровнем пола	2845	3500	3690	4850	5500	5000	6000
Масса, т	4,0	5,3	19,7	22,7	39,3	46,0	69,0

цилиндра, смонтированного в верхней траверсе. Шток цилиндра матрицы жестко связан с плитой матрицы и съемным прессующим блоком, выполненным по принципу стягивания матрицы с спрессованного изделия. Прессы реализуют режим прессования по плотности изделия, контролируемый реле давления при достижении технологического усилия. В технологическом процессе используется регулирование насыпной высоты порошка. В прессах ДА1224 и ДА1228 применен регулируемый жесткий упор верхнего пуансона в конце рабочего хода. В остальных прессах упор нерегулируемый, так как в конце рабочего хода шток упирается через поршень в дно цилиндра.

Прессы оснащены средствами механизации и автоматизации для загрузки порошка и выгрузки изделий, устрой-

ством для автоматического регулирования насыпной высоты порошка (прессы ДА1532Б, ДА1534Б, ДА1536Б), механизмом установки и съема прессующего блока (прессы ДА1534Б, ДА1536Б), централизованной системой смазки.

Режимы работы прессов: наладочный, ручной, автоматический.

В автоматическом режиме реализуются следующие технологические операции: дозированная засыпка исходного порошка в блок прессования, двухстороннее (за счет «плавления» матрицы) прессование, выталкивание готового изделия.

Работа прессов начинается с загрузки порошка в бункер с помощью транспортных средств цеха. Под действием дозирующей кассеты, связанной гибким шлангом с бункером и совершающей возвратно-поступательное дви-

жение, определенное количество материала подается в блок прессования. Точная высота засыпки порошка регулируется оригинальным устройством, обеспечивающим установку матрицы относительно нижнего пуансона. После заполнения матрицы дозирующая кассета выходит из рабочей зоны, позволяя верхнему пуансону, охватывающему центральный стержень, осуществить ход прессования. После окончания прессования верхний пуансон занимает верхнее положение, а матрица ходом вниз и упором в нижний пуансон стягивает изделие с центрального стержня. Дальнейшим движением дозирующей кассеты изделие выталкивается.

Гидравлические прессы для синтеза сверхтвердых материалов (табл. 21) предназначены для изготовления синтетических алмазов, эльбора и других сверхтвердых материалов.

Станина прессов представляет собой силовой пояс, состоящий из верхнего и нижнего ригелей, связанных

между собой двумя вертикальными стойками. По наружному периметру силового пояса выполнен паз, в котором уложена обмотка из стальной высокопрочной ленты. На нижнем ригеле закреплен главный цилиндр и два возвратных цилиндра. К плунжеру главного цилиндра прикреплен подвижная траверса, соединенная со штоками возвратных цилиндров.

Для транспортировки блоков матриц на рабочие позиции используется поворотный стол, опора которого закреплена на одной из стоек станины. На опоре установлен специальный подшипник скольжения, на котором с помощью цилиндра поворота вращается стол. Стол имеет 16 гнезд, восемь из которых являются основными, т.е. транспортирующими снаряженные блоки матриц в зону синтеза и на другие рабочие позиции. Другие восемь гнезд с открытыми пазами — вспомогательные, служат для транспортировки разобранных поддержек на все последующие после синтеза операции.

21. Гидравлические прессы для синтеза сверхтвердых материалов

Параметр	Модель		
	Д0138	ДА0040А	ДА0043
	Нормы		
Номинальная сила пресса, кН	6300	10000	20000
Наибольший ход плунжера главного цилиндра, мм	50	40	200
Открытая высота, мм	750	510	800
Скорость перемещения плунжера главного цилиндра, мм/с:			
при холостом ходе	7	7,6	12
при обратном ходе	30	30	25
Установленная мощность электродвигателей, кВт	8,0	15,2	28,8
Габаритные размеры пресса, мм:			
слева направо	2850	4600	3200
спереди назад	2750	2460	6680
высота над уровнем пола	2245	1965	3000
Масса пресса, т	9	14	20

Работа прессов осуществляется следующим образом. Плунжер главного цилиндра ускоренно (а при подходе к верхней плите замедленно) перемещается вверх и смыкает полуформы. После набора требуемого давления, контролируемого электроконтактным манометром, включаются система нагрева и реле времени выдержки процесса синтеза. Одновременно начинаются разборка и очистка блоков матриц, осуществляемые на других позициях соответствующими механизмами. После отработки заданного времени выдержки процесса синтеза работа средств механизации прекращается, штоки соответствующих гидроцилиндров возвращаются в исходное положение и происходит плавный сброс давления в главном гидроцилиндре. Затем возвратными гидроцилиндрами осуществляется опус-

кание плунжера в крайнее нижнее положение, после чего поступает команда на вывод фиксатора поворотного стола и его проворот. После проворота стол снова фиксируется и цикл повторяется. При нарушении процесса синтеза цикл прерывается, механизм адресации запоминает то гнездо стола, где произошел сбой процесса, и дает сигналы соответствующим механизмам на отбраковку, очистку, ввод запасного блока и сборку блока матриц. Гидроагрегат, управляющий всеми механизмами прессов, расположен отдельно. Режимы работы прессов: наладочный и автоматический.

Гидравлические presses для многополостной безоблойной штамповки (табл. 22) предназначены для безоблойной штамповки многополостных деталей сложной конфигурации из стали, титана, цветных металлов и сплавов.

22. Гидравлические presses для многополостной безоблойной штамповки (параметры)

Номинальная сила пресса, кН	20000	50000	100000	500000
Расстояние от поверхности стола до верхней плиты, мм	1340	2000	3050	4500
Ход ползуна, мм	500	800	1500	1800
Размеры рабочей поверхности стола, мм	800×2400	1150×3800	1900×4700	3500×10000
Ход стола, мм	1400	2200	2800	6000
Сила боковой прошивной системы, кН	3200	6120	15700	58800
Ход пуансона боковой прошивной системы, мм	500	800	1300	1500
Сила нижней прошивной системы, кН	3920	7720	19600	98000
Ход пуансона нижней прошивной системы, мм	120	250	300	600
Наибольший диаметр пуансона боковой прошивной системы, мм	85	120	200	400
Наибольший диаметр пуансона нижней прошивной системы, мм	200	250	300	600
Габаритные размеры пресса, мм:				
в плане	6500×7600	9300×12000	12800×15500	21000×37500
высота над уровнем пола	6000	7700	10300	22000
общая высота	8200	12350	16050	34100
Масса пресса, т	155	460	1650	12500

Привод прессов — гидравлический, от насосно-аккумуляторной станции. Расположение рабочих цилиндров — верхнее, вертикальное.

Силовая двухъярусная рама образована тремя неподвижными поперечинами, соединенными между собой колоннами. Колонны верхнего яруса воспринимают только центральную нагрузку. Для разгрузки колонн нижнего яруса от изгибающих моментов, которые возникают при эксцентрическом нагружении пресса, и увеличения жесткости рамы в зоне рабочего пространства на каждые две колонны установлены проставки, к которым крепятся боковые прошивные системы.

Расположение колонн позволило установить на них четыре боковые прошивные системы и обеспечить свободный доступ в рабочую зону, хороший ее обзор, а также возможность механизации подачи заготовок и удаления штамповок из рабочей зоны.

Ползун перемещается под действием рабочих цилиндров в регулируемых направляющих, установленных в промежуточной поперечине.

Прессы оборудованы выдвижным столом. Для удаления деталей из верхней и нижней половин штампа в столе и ползуне имеются выталкиватели.

Специальное устройство обеспечивает синхронную работу прошивных систем. Это улучшает качество отштампованных изделий и повышает производительность прессов.

Управление прессами осуществляется с пульта.

Система смазки — автоматическая, централизованная.

Управление прессами — кнопочное, осуществляется с пульта управления.

Смазка подшипника стола — индивидуальная, ручная.

3. МОЛОТЫ

Ковочные паровоздушные молоты двойного действия арочного типа (табл. 23) предназначены для выполнения разнообразных кузнечных работ ковкой на плоских бойках.

Молоты состоят из следующих основных узлов: станины, шабота, рабочего цилиндра, падающих частей, систем смазки и управления.

Станина — литая, стальная, арочного типа, состоит из двух стоек коробчатого сечения, соединенных сверху подцилиндровой плитой. В стойки вмонтированы регулируемые направляющие.

Шабот представляет собой массивную чугунную отливку. Соединение шабота с нижним бойком — клиновое. Рабочий цилиндр, отлитый как единое целое с золотниковой коробкой, установлен на подцилиндровой плите, которая фиксируется шпонками от горизонтального перемещения относительно стоек. Перемещение поршня осуществляется под действием пара или сжатого воздуха. Над рабочим цилиндром установлен предохранительный цилиндр с плунжером, предупреждающий жесткие удары поршня о крышку рабочего цилиндра. Падающие части молотов: кованая стальная баба, шток, поршень и верхний боек. В основании бабы имеется паз для крепления верхнего бойка. Соединение штока и бабы — конусное, с помощью разрезной втулки и латунной (или медной) прокладки. Управление молотами — ручное, с автоматической отсечкой энергоносителя. Режимы работы молотов: единичные удары, удержание бабы на весу, прижим поковки. Система смазки — комбинированная.

Ковочные паровоздушные молоты двойного действия мостового типа (табл. 24) предназначены для выполнения разнообразных кузнечных работ ковкой на

23. Ковочные паровоздушные молоты двойного действия арочного типа

Параметр	Модель		
	М1340	М1343Д	М1345
	Нормы		
Номинальная масса падающих частей, кг	1000	2000	3150
Энергия удара, кДж	25	50	80
Наибольшая частота ударов молота, мин ⁻¹	63	56	56
Расстояние между стойками в свету, мм	1800	2360	2800
Высота рабочей зоны в свету, мм	450	530	630
Расстояние от зеркала нижнего бойка до уровня пола, мм	750	750	750
Размеры зеркала бойков, мм	410×230	530×300	600×340
Давление пара, МПа	0,7...0,9	0,7...0,9	0,7...0,9
Давление сжатого воздуха, МПа	0,6...0,8	0,6...0,8	0,6...0,8
Габаритные размеры, молота, мм:			
в плане	3910×1400	4900×1930	5100×2490
высота над уровнем пола	5145	5000	5895
Масса молота без шабота, т	13,0	20,1	27,4
Масса шабота, т	15,0	30,0	47,2

24. Ковочные паровоздушные молоты двойного действия мостового типа

Параметр	Модель		
	М1545	М1547	М1549
	Нормы		
Номинальная масса падающих частей, кг	3150	5000	8000
Энергия удара, кДж	80	125	200
Наибольшая частота ударов молота, мин ⁻¹	50	40	31
Наибольший ход бабы, мм	1250	1300	1900
Расстояние между стойками в свету, мм	4000	4000	4600
Высота рабочей зоны в свету, мм	630	710	800
Расстояние от зеркала нижнего бойка до уровня пола, мм	750	750	750
Размеры зеркала бойков, мм	630×360	710×400	825×460
Давление пара, МПа	0,7...0,9	0,7...0,9	0,7...0,9
Давление сжатого воздуха, МПа	0,6...0,8	0,6...0,8	0,6...0,8
Габаритные размеры молота, мм:			
в плане	6850×2750	6850×2750	7200×2800
высота над уровнем пола	5900	6390	8595
Масса молота без шабота, т	36	47	82
Масса шабота, т	47	75	120

плоских бойках: осадки, вытяжки, прошивки, рубки и др.

Основные узлы молотов: станина, шабот, рабочий цилиндр, падающие части, системы смазки и управления.

Станина состоит из моста клепаной конструкции и двух литых стальных стоек коробчатого сечения. Стойки, соединенные в нижней части стяжками, а в верхней — мостом и подцилиндровой плитой, образуют жесткую раму, разгружающую мост и цилиндр молотов от больших сил, возникающих при жестких ударах. В стойках смонтированы регулируемые направляющие бабы.

Стойки опираются на фундаментные плиты, которые крепятся болтами к фундаменту.

Шабот молота М1545 — чугунная отливка, шабот молотов М1547, М1549 — стальная отливка.

Рабочий цилиндр — стальной, отлитый как единое целое с золотниковой коробкой и днищем, установлен на мосту станины. Внутри цилиндра под действием пара (воздуха) перемещается поршень со штоком. В верхней части рабочего цилиндра установлен предохранительный цилиндр с плунжером, который предупреждает жесткие удары поршня о крышку рабочего цилиндра.

Падающие части молотов: кованая стальная баба, шток, поршень и верхний боек. Соединение штока и бабы осуществляется через конусную разрезную втулку и латунную прокладку. К нижней части бабы крепится верхний боек.

Управление молотами — ручное, с автоматической отсечкой энергоносителя. Режимы работы молотов: единичные удары, держание бабы на весу, прижим поковки. Система смазки — комбинированная.

Ковочные пневматические молоты (табл. 25) предназначены для выполнения разнообразных кузнечных ра-

бот ковкой на плоских и фасонных бойках: протяжки, осадки, прошивки отверстий, горячей рубки металла, кузнечной сварки, гибки, кручения, штамповки в открытых подкладных штампах и других аналогичных работ.

Молоты находят широкое применение в кузнечных цехах машиностроительных заводов при изготовлении поковок в условиях мелкосерийного и среднесерийного производства. Кроме того, они могут быть использованы в крупносерийном производстве для выполнения операции штамповки в открытых подкладных штампах.

Молоты состоят из следующих основных узлов: станины, шабота, привода, падающих частей, электрооборудования, систем смазки и управления.

Станина молотов — цельнолитая, чугунная, коробчатой формы (у молота М4140А — разъемная). В основании станины имеется отверстие для установки шабота. Шабот — литой, чугунный (шабот молотов МВ4127, МА4129А отлит как единое целое со станией).

Привод молотов — пневматический. Сжатый воздух из цилиндра компрессора поступает в рабочий цилиндр. Привод компрессора в молотах МВ4127, МА4129А — одноступенчатый, в остальных молотах — двухступенчатый. Возвратно-поступательное движение поршню компрессора сообщается кривошипно-шатунным механизмом от индивидуального электродвигателя.

Управление молотами осуществляется рукояткой или ножной педалью.

Молоты работают в следующих режимах: холостой ход, держание бабы на весу, автоматические удары, единичные удары, прижим поковки. Система смазки — комбинированная.

Штамповочные паровоздушные молоты двойного действия (табл. 26) предназначены для изготовления различных поковок методом горячей штамповки в закрытых штампах.

25. Ковочные пневматические молоты

Параметр	Модель					
	МВ4127	МА4129А	МА4132	МА4134А	МБ4136	М4138
	Нормы					
Номинальная масса падающих частей, кг	50	75	150	250	400	630
Энергия удара, кДж	0,8	1,4	2,5	6,2	11	16
Наибольшая частота ударов молота в минуту	225	210	190	150	142	112
Расстояние от оси бабы до станины (вылет), мм	280	300	340	420	530	670
Высота рабочей зоны в свету, мм	300	260	360	450	530	560
Размеры зеркала бойков, мм	100×55	130×63	190×75	210×80	250×90	320×130
Расстояние от зеркала нижнего бойка до уровня пола, мм	800	800	800	750	750	750
Оптимальные размеры сечения проковываемой заготовки, мм:						
квадратной (сторона)	50	60	70	90	100	120
круглой (диаметр)	60	80	80	105	115	135
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	4,0	7,5	10	22	30	55
Габаритные размеры молота, мм:						
в плане	1475×735	1500×850	2275×930	2670×1240	3020×1310	3900×1450
высота над уровнем пола	1715	1900	2275	2330	2600	2800
Масса молота без шaboта, т	2,2	3,3	3,1	5,1	8,1	14,0
Масса шaboта, т	—	—	1,3	2,8	5,0	8,0

4400×1780

3570

23,0

14,0

Молоты состоят из следующих основных узлов: станины, шабота, рабочего цилиндра, падающих частей, системы смазки и управления.

Станина — литая, стальная, состоит из двух стоек двутаврового сечения, установленных на шаботе и соединенных сверху подцилиндровой плитой. В стойки вмонтированы направляющие, регулировка которых осуществляется с помощью клиньев. Рабочий цилиндр, отлитый как единое целое с золотниковой коробкой, установлен на подцилиндровой плите, которая фиксируется шпонками от горизонтального перемещения относительно стоек. Перемещение поршня осуществляется под действием пара или сжатого воздуха. Для предупреждения жестких ударов поршня о крышку рабочего цилиндра служит предохранительный цилиндр с плунжером. Соединение цилиндра и подцилиндровой плиты со стойками, а также стоек с шаботом осуществляется шпильками с пружинами.

К падающим частям молотов относятся: баба, шток, поршень, верхняя половина штампа и клин. Соединение бабы со штоком — конусное. Баба, шток и поршень изготовлены из высококачественной легированной стали.

В шаботе посредством клина крепится штамподержатель.

Управление молотами — педальное. Паро- и воздухораспределение производится с помощью саблеобразного рычага, системы тяг и педали.

Молоты могут работать в следующих режимах: качание бабы на весу, единичные и автоматические удары.

Смазка основных узлов — централизованная.

4. КОВОЧНЫЕ МАШИНЫ

Горизонтально-ковочные машины с вертикальным разъемом матриц (табл. 27) предназначены для горячей штампов-

ки поковок из прутка (высадки, прошивки, просечки и других аналогичных работ) в многоручьевых разъемных матрицах.

Машины состоят из следующих основных узлов: станины, высадочного ползуна, механизма зажима, привода, системы смазки и электрооборудования.

Станина — цельнолитая, представляет собой отливку из высококачественной стали, усиленную ребрами и стяжными шпильками. Станина машин В1143Б, В1145 — разъемная.

Высадочный ползун — литой, стальной, удлиненной конструкции, перемещается по направляющим станины в продольном направлении и приводится в движение от коленчатого вала с помощью кривошипно-шатунного механизма. Зажимной ползун перемещается перпендикулярно к оси высадки и приводится в движение от коленчатого вала через систему рычагов. В систему рычагов встроено рычажно-пружинное устройство, предотвращающее поломку деталей механизма зажима.

Привод машин осуществляется от электродвигателя через клиноременную и зубчатую передачи на коленчатый вал. Муфта включения и тормоз — фрикционные, дисковые, с электропневматическим управлением.

Для ограничения величины подачи заготовки перед высадкой в первом ручье служит откидной упор. При зажатии заготовки матрицами упор автоматически убирается.

Инструмент машин охлаждается в цеховой водопроводной сети. Управление машинами — электропневматическое от ножной педали.

Электросхема предусматривает работу машин в автоматическом и наладочном режимах, а также в режиме одиночных ходов. Система смазки — централизованная.

27. Горизонтально-ковочные машины с вертикальным разъемом матриц

Параметр	Модель						
	BA1132	BV1134	B1136	B1138	B1139A	BV1141	B1143Б
	Нормы						B1145
Номинальная сила, кН	1600	2500	4000	6300	8000	12500	20000
Ход подвижной матрицы, мм	68	100	125	160	180	220	280
Наибольший ход высадочного ползуна, мм	230	220	290	350	380	460	570
Рабочий ход высадочного ползуна, мм	90	140	190	230	250	310	390
Обратный ход высадочного ползуна при закрытых матрицах, мм	40	60	60	110	130	170	210
Расстояние между высадочным ползуном в его крайнем переднем положении и матрицами, мм	55	75	100	125	140	180	230
Частота ходов ползуна, мин ⁻¹	75	63	50	40	35	30	25
Размеры матриц, мм:							
длина	280	350	450	560	590	700	850
ширина	120	140	160	200	220	260	320
высота	310	380	480	590	660	820	1030
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	14	19	21	35	40	75	160
Габаритные размеры машины, мм:							
в плане	3140×2060	3875×3250	4330×3150	5000×3230	6300×3900	6400×4365	9000×6400
высота над уровнем пола	1680	1526	1860	2370	2850	3340	3600
Масса машины, т	11,4	22,3	36,0	55,5	80,8	135	268
							415

10305×7150

4960

28. Ковочные закрытые одноклетьевые вальцы

Параметр	Модель		
	C1235	C1237	CA1240
	Нормы		
Номинальная сила, кН	400	1000	2500
Номинальное расстояние между осями валков, мм	320	500	1000
Технологический момент вальцовки, кН·м	60	100	315
Размеры валков под инструмент, мм:			
диаметр	200	320	710
длина	400	630	960
Частота вращения валков, мин ⁻¹	60	20	16
Величина регулировки валков, мм:			
радиальной	12	20	25
осевой	—	4	5
Наибольшая сторона квадрата исходной заготовки, мм	40	65	125
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	40	100	110
Габаритные размеры вальцов, мм:			
в плане	3300×2300	5038×3373	6030×4150
высота над уровнем пола	2125	2588	3450
Масса вальцов, т	12,0	32,0	61,6

Ковочные закрытые одноклетьевые вальцы (табл. 28) предназначены для массового производства заготовок и поковок методом вальцовки металла в нагретом состоянии.

Вальцы состоят из следующих основных узлов: станины, привода, рабочей клетки, систем смазки и управления.

Станина — литая, стальная, разъемная, коробчатой формы, состоит из плиты, двух стоек и двух траверс. Траверсы крепятся к стойкам, образуя площадку для установки механизма регулировки валков.

Между стойками станины установлена рабочая клеть, состоящая из двух параллельно расположенных валков, смонтированных в специальных подушках. Взаимное положение валков регулируется в радиальном и осевом

направлениях. Привод валков осуществляется электродвигателем через клиноременную передачу, редуктор и универсальные шпиндели. Муфта включения и тормоз — фрикционные, пневматические, смонтированы на противоположных концах быстроходного вала редуктора.

Для совмещения инструмента верхнего и нижнего валков вальцы снабжены механизмом угловой регулировки. Управление вальцами — кнопочное и от ножной педали.

Электросхема предусматривает работу вальцов в автоматическом и наладочном режимах, а также в режиме одиночных ходов. Система смазки — комбинированная.

Ковочные консольные одноклетьевые вальцы (табл. 29) предназначены для массового производства заготовок

29. Ковочные консольные одноклетьевые вальцы

Параметр	Модель		
	CA1334	CA1335	CA1336
	Нормы		
Номинальная сила, кН	500	800	1000
Номинальное расстояние между осями валков, мм	250	320	400
Величина регулировки межосевого расстояния, мм	±2	±3	±3
Частота вращения валков, мин ⁻¹	65	65	30
Наибольший диаметр исходной заготовки, мм	75	95	110
Размеры валков под инструмент, мм:			
диаметр	140	180	225
длина	220	280	360
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	26	36	47
Габаритные размеры вальцов, мм:			
в плане	2350×1960	2590×1930	3035×2350
высота над уровнем пола	2015	2130	2785
Масса вальцов, т	6,5	8,2	14,8

круглого, квадратного и прямоугольного сечения методом вальцовки металла в нагретом состоянии. Кроме того, вальцы могут быть использованы для изготовления поковок с окончательными размерами.

Вальцы состоят из следующих основных узлов: станины, привода, механизма регулировки валков, электрооборудования, систем смазки и управления.

Станина — литая, чугунная, состоит из корпуса и крышки, соединенных между собой стяжными болтами. Стяжные болты воспринимают рабочую силу вальцовки и затягиваются с предварительным натягом. Плоскость разъема корпуса и крышки проходит через ось верхнего валка. К корпусу крепятся кронштейны.

Привод вальцов осуществляется от электродвигателя переменного тока через клиноременную передачу на маховик со встроенной муфтой, закрепленной на приводном валу, и далее че-

рез зубчатую передачу на нижний и верхний валки.

Муфта включения и тормоз — фрикционные, дисковые, с электропневматическим управлением.

Вальцы снабжены механизмом регулировки валков, служащим для изменения расстояния между валками. Регулировка осуществляется вручную вращением вала-шестерни. Поворот эксцентриковых втулок приводит к изменению расстояния между валками, которое контролируется по специальной шкале. После установки нужного расстояния эксцентриковые втулки надежно зажимаются стопорным устройством. Управление вальцами — кнопочное и от ножной педали.

Электросхема предусматривает работу вальцов в автоматическом и наладочном режимах, а также в режиме одиночных ходов. Система смазки — комбинированная.

Ковочные консольные двухклетьевые вальцы (табл. 30) предназначены

30. Ковочные консольные двухклетевые вальцы

Параметр	Модель		
	C1431	C1432	C1434
	Нормы		
Номинальная сила, кН	125	200	500
Номинальное расстояние между осями валков, мм	125	160	250
Размеры валков под инструмент, мм:			
диаметр	70	90	140
длина	55	75	95
Частота вращения валков, мин ⁻¹	85	85	60
Расстояние между клетями, мм	95...200	125...230	190...340
Размеры обрабатываемых заготовок, мм:			
диаметр	10...35	14...50	28...80
длина	65...250	65...250	100...350
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	17	17	40
Габаритные размеры вальцов, мм:			
в плане	2080×1640	2020×1685	2955×2470
высота над уровнем пола	1410	1320	1830
Масса вальцов, т	4,9	5,1	14,1

для производства заготовок переменного сечения (типа шатунов, гаечных ключей, рычагов и т.д.) путем обжатия нагретых исходных заготовок в профилированных валках-штампах.

Вальцы состоят из следующих основных узлов: станины, привода, двух клеток, содержащих две пары рабочих валков, систем управления и смазки. Станина вальцов — литая, чугунная. Корпус клеток — стальной, кованный. Привод вальцов осуществляется от электродвигателя через клиноременную передачу и фрикционную муфту на быстроходный вал и далее через косозубую передачу на распределительный вал, от которого через коническую передачу крутящий момент передается на валки первой клетки, а через паразитную шестерню — на валки второй клетки.

Первая клеть — неподвижная. Вторая клеть может перемещаться по станине с помощью специального меха-

низма для установки необходимого межклетевого расстояния. Механизм угловой регулировки позволяет вращать валки второй клетки при неподвижных валках первой клетки. Вальцы снабжены пневматической фрикционной муфтой включения и тормозом. Управление вальцами — кнопочное. Электросхема предусматривает работу вальцов в автоматическом и наладочном режимах, а также в режиме одиночных ходов.

Система смазки — циркуляционная, автоматическая, централизованная.

Ковочные консольные клиновые вальцы (табл. 31) предназначены для изготовления методом поперечно-клиновой вальцовки поковок деталей типа тел вращения (ступенчатых валов, осей, шаровых пальцев и т.д.) переменного сечения, которые используются под последующую механическую обработку или штамповку.

31. Ковочные консольные клиновые вальцы

Параметр	Модель		
	К500	К630	К800
	Нормы		
Номинальное межосевое расстояние, мм	500	630	800
Наибольший размер обрабатываемых заготовок, мм:			
диаметр	35	60	90
длина	300	400	400
Цикловая производительность, шт/ч	1280	900	600
Частота вращения валков, мин ⁻¹	20	15	10
Регулируемое межосевое расстояние (межвалкового зазора), мм	±15		
Посадочный диаметр вала под инструмент, мм	360	480	630
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	30	55	90
Габаритные размеры, мм:			
длина	1725	2450	2365
ширина	1130	1585	1900
высота	1720	2390	2520
Масса, т	5,0	13,5	

Процесс поперечно-клиновой вальцовки осуществляется двумя вращающимися в одном направлении рабочими валками. Вальцы могут работать как самостоятельное оборудование, так и в составе автоматической линии.

Вальцы состоят из следующих основных узлов: привода, рабочих валков, механизма подачи, систем смазки и управления. Привод представляет собой четырехступенчатый двухрядный цилиндрический редуктор, соединенный через втулочно-пальцевую муфту с электродвигателем. Рабочие валки установлены в двухрядных подшипниках, размещенных на эксцентриковых буксах. Синхронным поворотом букс изменяется межосевое расстояние валков. Один из валков снабжен механизмом угловой регулировки. На наружной поверхности валков крепится клиновой инструмент, выполненный в виде кольца.

При работе валки вращаются непрерывно, а загрузка заготовок в зону валь-

цовки осуществляется шиббером механизма подачи, кинематически связанным с главным приводом.

Управление вальцами — кнопочное и от педали.

Электросхема предусматривает работу вальцов в наладочном и автоматическом режимах.

Система смазки — автоматическая, централизованная.

На вальцах можно обрабатывать заготовки, нагретые как в пламенных, так и в индукционных нагревателях.

5. НОЖНИЦЫ

Сортовые ножницы (табл. 32) предназначены для резки сортового и фасонного проката. Станина ножниц — сварная, состоит из переднего и заднего листов, приваренных к основанию и сваренных между собой через проставки.

Привод ножниц осуществляется от отдельного электродвигателя через кли-

32. Сортовые ножницы

Параметр	Модель				
	НБ1425	НБ1427	НБ1428	НБ1429	НБ1431
	Нормы				
Наибольшие размеры разрезаемого проката при $\sigma_B = 450$ МПа:					
диаметр круга, мм	36	40	50	56	67
сторона квадрата, мм	32	36	45	50	58
размеры уголка при резке под углом 90 °, мм	80×8	100×12	125×14	160×12	160×20
размеры уголка при резке под углом 45 °, мм	70×7	90×9	100×10	100×12	125×14
номер профиля двутавра	10	18	18а	22	30а
номер профиля швеллера	10	18	18а	22	30
Частота ходов ползуна в минуту	66	56	53	50	45
Номинальная сила, кН	320	500	630	800	1000
Габаритные размеры ножниц, мм:					
слева направо	1090	1440	1590	1825	2050
спереди назад	900	1015	1000	1015	1210
высота над уровнем пола	1350	1585	1800	2080	2435
Масса ножниц, т	1,2	1,9	2,3	3,9	5,4

норемленную передачу на эксцентриковый вал.

Ползун сортовой секции, связанный через шатун с эксцентриковым валом, совершает качательное движение.

Механизм включения ползуна — электромагнитный. Наличие блокировочного устройства в механизме включения обеспечивает соединение шатуна с ползуном только при вращении эксцентрикового вала и движении шатуна от нижнего крайнего положения к верхнему.

Электросхема исключает возможность сдвигания ходов.

Инструмент для резки уголка, круга, квадрата состоит из подвижной и неподвижной плит и ножей. Подвижная плита устанавливается в гнезде ползуна сортовой секции. Неподвижная плита и нож крепятся в гнезде станины с помощью Г-образных прихватов. Подвижная плита инструмента для резки

швеллера и двутавра оснащена тремя вставными ножами, а подвижная плита инструмента для резки специального уголка — угловым ножом.

Режимы работы ножниц: непрерывные и одиночные ходы.

Управление — кнопочное и педальное. Смазка — комбинированная.

Кривошипные сортовые ножницы (табл. 33) предназначены для резки сортового проката на мерные заготовки, используемые для объемной штамповки и механической обработки в крупносерийном и массовом производстве. На ножницах можно проводить резку конструкционных пружинных, инструментальных и других специальных сталей.

Станина ножниц — сварная, разъемная, закрытая, состоит из двух стоек, соединенных между собой планками. В ножницах НА1540 станина — сварно-литая, состоит из двух стальных

33. Кривошипные сортовые ножницы

Параметр	Модель					
	H1534	H1538	H1540	HA1540	H1542	H1546
	Нормы					
Номинальная сила, кН	2500	6300	10000	10000	16000	40000
Наибольшие размеры поперечного сечения разрезаемого проката, мм:						
сторона квадрата	70	110	180	140	180	300
ширина и толщина полосы	160×32	250×50	450×70	320×63	400×80	250×125
диаметр круга	80	125	200	160	200	360
Ход ползуна, мм	80	110	160	120	160	270
Частота ходов ползуна в минуту в автоматическом режиме работы	27	25	15	28	20	5
Наибольшая длина отрезаемой заготовки в автоматическом режиме работы, мм	630	1500	1500	1000	1000	1500
Наибольшая скорость перемещения проката по рольгангу, м/мин	30	39	48	48	46,8	24
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	6,5	50,0	76,8	100	132	250
Габаритные размеры ножниц, мм:						
слева направо	7000	7360	8700	17480	17400	29000
спереди назад	3050	4020	4200	4500	5000	13400
высота над уровнем пола	3000	4600	3600	4500	5150	7900
Масса ножниц, т	12,7	39,4	60,0	85,5	120,0	536,0

ных плит, соединенных между собой стяжными болтами и гайками.

Привод ножниц H1534, H1538, H1540 осуществляется от индивидуального электродвигателя через клиноременную и двухступенчатую зубчатую передачи на эксцентриковый вал.

Привод ножниц HA1540, H1542, H1546 — закрытого типа, шестерне-эксцентриковый, с расположением осей и валов перпендикулярно к фронту ножниц. Движение от электродвигателя передается через клиноременную передачу на маховик со встроенной муфтой включения, а с вала муфты — на быстроходный вал, который через два промежуточных блока зубчатых колес приводит во вращение эксцентриковое колесо.

Муфта включения и тормоз — жестко заблокированные, фрикционные, с электропневматическим управлением.

Ползун ножниц — литой, приводит в возвратно-поступательное движение от эксцентрикового вала. В нижней части ползуна закреплен верхний нож.

Клиновые направляющие ползуна установлены внутри станины и закреплены эксцентриками, позволяющими регулировать зазор между направляющими и станиной. Для уменьшения угла скоса торца отрезаемой заготовки и улучшения качества среза предусмотрен нижний прижим, осуществляющий прижим прутка к подвижному ножу в момент реза.

Ножницы H1538, H1540 оснащены поддержкой, удерживающей отрезае-

мую заготовку в момент реза для улучшения качества среза.

Для предотвращения резких перемещений и ударов заготовки, выводящих из строя ролики рольганга и сокращающих срок службы ножей, ножницы НА1540, Н1542, Н1546 оснащены верхним прижимом. Для получения заготовок определенной длины без разметки используется задний упор, перемещение которого осуществляется индивидуальным электродвигателем через редуктор. В ножницах Н1546 задний упор размещен на каретке, перемещающейся по направляющим. Привод каретки — от индивидуального двухскоростного электродвигателя.

В ножницах предусмотрено устройство для автоматической отбраковки и сбора немерных заготовок в специаль-

ную тару. С этой целью лоток ножниц снабжен разделителем потока отрезанных заготовок. Для подачи проката в рабочую зону используется рольганг, установленный на сварной станине. Вращение роликов рольганга осуществляется от индивидуального электродвигателя через цепную передачу.

Рольганг, используемый в ножницах НА1540, Н1542, Н1546, состоит из двух секций. Ролики каждой секции приводятся во вращение индивидуальным электродвигателем. Ножницы Н1546 снабжены специальной тележкой с толкателем для быстрой смены инструмента. Управление ножницами — кнопочное.

Режимы работы ножниц: наладочный, одиночные ходы, автоматический.

Комбинированные ножницы (табл. 34) предназначены для резки листовой, сор-

34. Комбинированные ножницы

Параметр	Модель			
	НВ5121	НВ5122	НВ5123	НВ5124
	Нормы			
Наибольшие размеры разрезаемого материала при $\sigma_B = 450$ МПа, мм:				
толщина листа	13*	16	20	25
толщина и ширина полосы	16×150*	20×140	22×200	28×200
диаметр круга	40*	45	56	67
размеры разнобокого уголка при резке под углом 90 °	100×12*	125×12	160×12	160×20
размеры разнобокого уголка при резке под углом 45 °	90×9*	90×9	100×12	125×14
номер профиля двутавра	18*	18	22	30а
номер профиля швеллера	18*	18	22	30
Число непрерывных ходов ползуна в минуту	56	50	50	45
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	3,5	6,8	6,8	11,0
Габаритные размеры ножниц, мм:				
слева направо	1500	1885	2100	2380
спереди назад	700	1000	1015	1210
высота над уровнем пола	1400	1880	2080	2435
Масса ножниц, т	1,5	2,5	3,0	5,6

* Размеры указаны при $\sigma_B = 500$ МПа.

товой и фасонной прокатной стали (посредством воздействия на обрабатываемый материал подвижного ножа-ползуна, совершающего качательное движение относительно неподвижного ножа, закрепленного в станине), а также для выполнения зарубочных операций.

Станина ножниц — сварная, состоит из переднего и заднего листов, приваренных к основанию и сваренных между собой через проставки.

Привод ножниц осуществляется от отдельного электродвигателя через клиноременную передачу на маховик. Далее движение передается через двухступенчатую передачу на эксцентриковый вал. Муфта — с поворотной шпонкой, тормоз — ленточный. Ползун сортовых и листовых ножниц, связанный рычага-

ми с ползуном зарубочной секции, приводится в движение от эксцентрикового вала через шатун. В окне ползуна закреплена подвижная ножевая плита.

Для предотвращения сдвига разрезаемого материала ножницы оснащены прижимами.

Режимы работы ножниц: одиночные ходы, автоматический.

Управление — кнопочное и педальное. Смазка — комбинированная. Ножницы НВ5121 оснащены закрытой зубчатой передачей и упрощенной муфтой включения, что повышает их надежность.

Комбинированные пресс-ножницы (табл. 35) предназначены для резки листового, полосового, сортового и фасонного проката, пробивки отвер-

35. Комбинированные пресс-ножницы

Параметр	Модель			
	НВ5221	НВ5222	НВ5224	НВ5225
	Нормы			
Наибольшие размеры разрезаемого проката при $\sigma_B = 450$ МПа, мм:				
толщина листа	13	16	25	32
толщина и ширина полосы	16×150	18×190	28×200	40×200
диаметр круга	40	50	67	75
размеры равнобокого уголка:				
при резке под углом 90°	100×12	125×14	160×20	200×20
при резке под углом 45°	90×9	100×10	125×14	160×16
при резке под углом 90° специальными ножами	125×12	160×12	200×16	—
Наибольший номер профиля двутавра и швеллера при резке специальными ножами	18	20	30а	33
Наибольший диаметр пробиваемого отверстия, мм	28	32	40	42
Число ходов ползуна для пробивки отверстий в минуту	56	53	45	25
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	3,5	5,0	11,0	14,5
Габаритные размеры пресс-ножниц, мм:				
слева направо	1800	2000	2580	3245
спереди назад	750	800	1175	1235
высота над уровнем пола	1550	1750	2250	2845
Масса пресс-ножниц, т	2,0	2,5	6,8	9,7

ствий и выполнения зарубочных операций. Конструкция пресс-ножниц позволяет производить резку углового проката под углом 45°.

Станина состоит из двух листов, сваренных между собой с помощью проставок и приваренных к основанию.

Привод пресс-ножниц осуществляется от электродвигателя через клиноременную передачу на вал редуктора и далее через зубчатую передачу на эксцентриковый вал. Привод пресс-ножниц НВ5225 оснащен двумя зубчатыми передачами и двумя эксцентриковыми валами, один из которых связан с сортовыми и листовыми ножницами, а другой через шатун и качающийся балансир — с ползуном для пробивки отверстий. Исполнительные механизмы пресс-

ножниц включаются и выключаются через систему рычагов, связанных с одной стороны с шатунами, а с другой — с электромагнитами. Останов исполнительных механизмов в верхней мертвой точке осуществляется с помощью регулируемых упоров.

Для удержания исполнительных механизмов в верхней мертвой точке служат уравниватели пружинного типа.

Для предотвращения сдвига разрезаемого материала пресс-ножницы оснащены автоматическими прижимами. Для резки мерных заготовок предусмотрены упоры. Режимы работы пресс-ножниц: непрерывные ходы, одиночные ходы, ручной проворот.

Управление — кнопочное и педальное. Смазка — комбинированная.

Глава 9

МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ КОВКИ И ШТАМПОВКИ

1. МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ КОВКИ

Механизация и автоматизация процессовковки исключает применение тяжелого труда на всех этапах изготовления поковок, повышает производительность и точностьковки.

Для комплексного решения вопросов механизации и автоматизации процессаковки наряду с механизацией всех трудоемких работ необходимо автоматизировать управление ковочным оборудованием и манипулятором, синхронизировав их работу, управление нагревом, выдачу заготовок (слитков) из печи, подачу инструмента, смену бойков и т.д.

Выполнение всего комплекса задач механизации и автоматизации создает условия для перехода к программному управлению процессамиковки. Сравнительная эффективность уровня механизации приведена в табл. 1.

Выбор средств механизации процессовковки зависит в основном от объема производства, серийности, максимального и минимального развеса поковок.

Автоматизацию и механизацию процессаковки можно разделить на автоматизацию и механизацию нагрева за-

готовок,ковки на паровоздушных и пневматических молотах,ковки на гидравлических ковочных прессах

Нагрев заготовок. Загрузку и выгрузку печей и подачу нагретого металла к ковочному оборудованию осуществляют, как правило, манипуляторами, мостовыми и поворотными кранами, специальными посадочными машинами. В качестве приспособлений к ним используют посадочные вилки, патроны, клещи и цепи. Выбор средств механизации определяется типом нагревательной печи, массой и серийностью заготовок. Так, загрузку толкательных печей осуществляют поворотным электрическим краном с подвесными клещами. Нагретую заготовку выдают на приемное устройство толкателем, а затем к прессу манипулятором или ковочным поворотным краном.

Печи с выдвижным и выкатным подом обслуживают мостовым электрическим транспортным или ковочным мостовым краном с подвесными клещами или цепями.

Использование манипуляторов в качестве посадочных машин является малоэффективным, так как во

1. Эффективность уровня механизации

Оборудование и уровень механизации	Обслуживающий персонал, чел.	Уровень эффективности, %
Пресс без механизации	8	100
Один манипулятор	5	150
Два манипулятора	3	200
Программное управление	3	220

2. Количество средств механизации процессовковки на паровоздушных ковочных молотах

Средства механизации	Масса падающих частей ковочного молота, т		
	1,0...2,0	3,15	5,0...8,0
Манипулятор ковочный	1	1	1
Посадочная машина	1	1	1
Ковочный электрический поворотный кран	—	—	1
Подвесной кантователь	—	—	1
Вспомогательный мостовой кран	1	1	1
Поворотный стол	1	1	1

время транспортирования заготовок ковочный пресс простаивает. Рациональнее применять специальные посадочные машины (шаржир-машины).

Ковка на паровоздушных и пневматических ковочных молотах. При изготовлении поковок на ковочных молотах следует механизировать технологические и транспортные операции: подачу нагретой заготовки к ковочному молоту, ковку заготовки, удаление поковки и отходов от молота.

Рекомендуемое количество средств механизации на участке паровоздушного ковочного молота приведено в табл. 2.

Процесс изготовления поковок на пневматических молотах рекомендуется механизировать при массе падаю-

щих частей молота свыше 0,25 т. На участках молотов ковки с массой падающих частей до 1 т наиболее удобны безрельсовые манипуляторы и подвесные или безрельсовые посадочные машины.

Грузоподъемность основных средств механизации приведена в табл. 3.

Ковка на гидравлических ковочных прессах. При ковке на гидравлических прессах рекомендуется механизировать следующие технологические и транспортные операции: подачу нагретой заготовки (слитка) к прессу, ковку заготовки, удаление поковки от пресса и металлоотходов от пресса, подачу инструмента, смену ковочных бойков. Процессы билетировки слитков, ковки гладких и ступенчатых валов рекомендуется автоматизировать путем установ-

3. Грузоподъемность основных средств механизации при изготовлении поковок на ковочных молотах

Тип ковочного молота	Масса падающих частей, т	Грузоподъемность, т				
		транспортного (ремонтного) крана	ковочного поворотного крана	ковочного манипулятора	посадочной машины	поворотного стола
Пневматический	0,15...0,4	5,0	—	0,1	—	—
	0,75...1,0	5,0	1,0	0,25	0,25	—
Паровоздушный	1,0	5,0	1,0	0,5	0,5	0,5
	2,0...3,15	10,0	3,0	1...2	1...2	2
	5,0...8,0	10,0	5,0	3...5	3...5	5

4. Количество средств механизации процессовковки на гидравлических прессах

Средства механизации	Усилие ковочных прессов, МН				
	2,0...5,0	5,0...12,5	12,5...31,5	31,5...63,0	63,0...100,0
Посадочная машина	1	1	1	—	—
Манипулятор:					
ковочный	1	1	1	2	2
для подачи инструмента	—	1	1	1	1
Кран мостовой:					
ковочный	—	—	—	1	2
вспомогательный	1	1	1	1	1
Электрический кантователь	—	1	1	1	2
Поворотный стол	1	1	1	1	1

ки ковочных комплексов пресс-манипулятор.

Рекомендуемое количество средств механизации процессовковки на гидравлических прессах приведено в табл. 4.

Рекомендуемая грузоподъемность основных средств механизации приведена в табл. 5.

В соответствии с ГОСТ 7284—80*Е для прессов с номинальной силой 2...3,15 МН вместо выдвижного стола до-

пускается применять поворотный стол с параметрами по согласованию с потребителем.

Оборудование для механизации и автоматизации процессовковки

Ковочные мостовые краны предназначены для выполнения подъемно-транспортных операций в процессе ковочных работ, включая подачу нагретой заготовки на стол пресса и съем со стола, поддержание заготов-

5. Грузоподъемность основных средств механизации процессовковки на гидравлических ковочных прессах

Усилие пресса, МН	Грузоподъемность, т						
	транспортного крана	ковочного крана	ковочно-го манипулятора	посадочной машины	манипулятора для подачи инструмента	кантователя	поворотного стола
5,0	10,0	—	2	3	0,25	3	2
8,0	15/3	—	5	5	0,25	10	2
12,5	20/3	—	10	7,5	0,50	20	10
20,0	30/5	50/10	30	—	0,50	40	20
31,5	50/10	75/30	50	—	1,0	60	30
63,0	100/20	200/50	80	—	2,0	120	—
100,0	150/30	250/75	120	—	2,0	200	—

Примечание. В числителе дана грузоподъемность главной тележки крана, в знаменателе — вспомогательной.

6. Технические характеристики ковочных кранов

Параметр	Ковочный кран грузоподъемностью, т		Параметр	Ковочный кран грузоподъемностью, т	
	30/10	250/75		30/10	250/75
Грузоподъемность, т:			Скорость подъема крюка тележки, м/мин:		
главной тележки	30	250	главной	7	2,9
вспомогательной	10	75	вспомогательной	12	9,1
кантователя	20	200	Скорость передвижения тележки, м/мин:		
Пролет, м	25	28			
Высота подъема крюка тележки, м:					
главной	12	23	главной	35,5	44,8
вспомогательной	14	25	вспомогательной	73,5	65,0

ки за один конец, кантование слитка, регулирование его положения на столе прессы, а также для транспортирования и установки тяжелых приспособлений дляковки в кузнечно-прессовых цехах.

Кран состоит из моста, механизма передвижения крана, главной тележки, вспомогательной тележки, электрокантователя, кабины управления и электрооборудования. Главная тележка предназначена для подъема и перемещения вдоль моста тяжелых грузов (подача слитков под пресс, кантование в процессековки).

Вспомогательная тележка предназначена для подъема и перемещения вдоль моста небольших грузов (переброска и установка инструмен-

та, поддержка концов заготовки в процессековки, поддержка оправок, патронов).

Техническая характеристика кранов грузоподъемностью 30 и 250 т приведена в табл. 6.

Ковочные поворотные краны применяются главным образом в кузнечных цехах, оснащенных ковочными молотами с массой падающих частей 0,5 т и более. Их используют для загрузки нагревательных печей заготовками, подачи нагретых заготовок от печи к молоту, изменения положения заготовки в процессековки, удаления готовой поковки от молота.

Между массой падающих частей ковочных молотов и грузоподъемностью поворотных кранов существует определенная взаимосвязь (табл. 7).

7. Рекомендуемые значения массы падающих частей ковочных молотов и грузоподъемности ковочных поворотных кранов

Масса падающих частей молота, т	Грузоподъемность крана, т	Вылет стрелы крана, м
0,5	1,0	4,0...4,5
1,0	1,0	4,5...5,0
2,0	2,0	5,0...5,5
3,0	3,0	5,5...6,0
5,0	5,0	6,0...6,5

Склизы. Наклонные лотки (склизы) являются простейшим транспортным устройством для перемещения на малые расстояния относительно легких заготовок от нагревательных устройств к молоту и от молота в тару. Рекомендуют принимать угол наклона склиза равным $20...40^\circ$. Применяют также наклонные роликовые желоба, состоящие из двух боковых полос, соединенных рядом неприводных роликов.

Конвейеры. Для передачи поковок в горячем состоянии применяют пластинчатые конвейеры с движущейся лентой из штампованных звеньев типа траков гусеничного трактора. Рекомендуемая скорость ленты конвейеров, подающих заготовку от печи к молоту или от молота к молоту, $0,65$ м/с; оптимальная ширина ленты 360 мм; длина конвейера не более 3200 мм.

При больших углах наклона ленты применяют цепно-скребковые конвейеры, состоящие из двух рядов параллельно движущихся цепей с закрепленными на них скребками. Скребки передвигают перед собой поковку по желобу.

Роликовые конвейеры приводные и неприводные. Конвейеры приводные эф-

фективны при передаче заготовок на сравнительно большие расстояния. Расстояние между роликами не должно быть больше половины минимальной длины заготовки (слитка) плюс 100 мм. Ролики имеют обычно диаметр $150...450$ мм. Приводные конвейеры действуют от электромотора через цепные передачи.

Посадочные машины (шаржир-машины) предназначены для подачи заготовок к нагревательной печи, загрузки их в печь, выдачи заготовок из печи и подачи к манипулятору или к ковочно-му прессу. *Напольные рельсовые* машины применяют для обслуживания камерных печей на участке гидравлических прессов силой до $12,5$ МН (табл. 8).

При установке одного или двух ковочных прессов посадочная машина подает слиток из печи в зону действия ковочного манипулятора. При трех ковочных прессах посадочная машина подает слиток от нагревательной печи на поворотный стол, расположенный рядом с прессом.

Напольные безрельсовые машины применяют для загрузки нагревательных печей и подачи нагретых заготовок к молотам. Такая посадочная машина может

8. Технические характеристики основных напольных рельсовых посадочных машин

Параметр	Грузоподъемность машин, т			
	1	3	5	7,5
Максимальная высота подъема, мм	900	1200	1700	2200
Раствор клещей, мм:				
минимальный	100	170	200	400
максимальный	300	500	600	1200
Скорость движения, м/мин:				
моста	70	60	50	40
тележки	60	50	45	35
Частота вращения хобота вокруг вертикальной оси, мин^{-1}	10	6	3	3
Ширина рельсового пути моста, мм	20	60	80	110
Масса машины, т	15	25	50	70

обслуживать до шести нагревательных печей. Источником питания служат аккумуляторные батареи.

При массовом и крупносерийном производстве для загрузки нагревательных печей с вращающимся подом применяют *напольные стационарные* машины.

При ограниченных площадях в цехах применяют *подвесные посадочные* машины.

Кантователи. При недостаточной грузоподъемности напольного манипулятора, а также при его отсутствии применяют электрические кантователи, подвесные и напольные. Подвесные кантователи подвешиваются к крюку крана, и управление ими осуществляется из кабины. Кантователи работают также совместно с манипуляторами, поддерживая свободный конец длинной поковки.

Ковочный кантователь подвесной, предназначенный для обслуживания ковочных молотов с массой падающих частей 2,0...3,0 т, подвешивают на крюк крана за рым-болт с пружинной подвеской, служащей для амортизации динамической нагрузки от удара молота. Заготовка, подлежащая кантованию,

лежит одним концом на бойке молота, а вторым — поддерживается на весу цепью. Перемещение цепи обеспечивает звездочка, привод которой осуществляют от электродвигателя через пару зубчатых колес и червячный редуктор. Сила трения между цепью и поковкой обеспечивает кантование последней и исключает проскальзывание цепи. Мгновенную остановку и фиксацию заготовки в определенном положении на бойке осуществляют дисковым электромагнитным тормозом.

При ковке коротких заготовок или слитков, когда большая часть веса поковки приходится на боек, а не на поддерживающую цепь и кантовка затруднительна, применяют дополнительные устройства в виде противовесов.

Ковочный подвесной кантователь с патроном-манипулятором (рис. 1) применяют для захвата и кантовки поковок массой до 1,0 т. Патрон-манипулятор используют совместно с подвесным кантователем, подвешенным на крюке крана, и он выполняет все технологические перемещения в процессековки: подъем и опускание поковки с помощью крана, вращение ее вокруг гори-

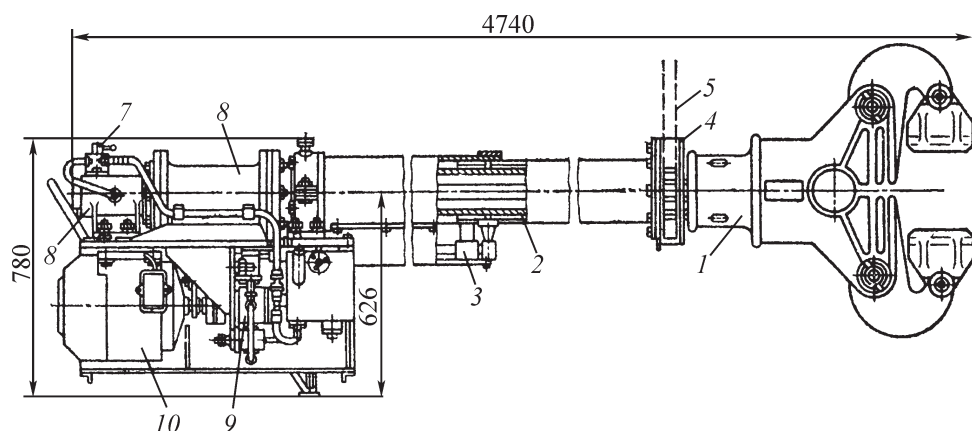


Рис. 1. Ковочный подвесной кантователь с патроном-манипулятором грузоподъемностью 10 кН:

1 — клещевая головка; 2 — рама хобота; 3 — механизм перемещения, обеспечивающий горизонтальное положение патрона; 4 — звездочка; 5 — цепь; 6 — масляный коллектор; 7 — регулятор гидравлической системы; 8 — гидроцилиндр со штоком клещевого механизма; 9 — масляный насос; 10 — электродвигатель масляного насоса и механизма перемещения

зонтальной оси, захват клещами. Привод механизма перемещения осуществляется от электродвигателя, который одновременно обеспечивает работу масляного насоса гидросистемы клещевой головки.

Технические характеристики кантователя

Грузоподъемность, т	1,0
Размер зажимаемых заготовок, мм:	
наибольший	370
наименьший	180
Максимальная длина поковки, мм	1500
Мощность электродвигателя, кВт	2,8
Частота вращения электродвигателя, мин ⁻¹	50
Основные размеры патрона, мм:	
длина	4740
высота	780

Напольный рельсовый кантователь (рис. 2) применяют с молотами свободной ковки для удержания заготовки в процессе ковки, кантования заготовки и для удаления ее из рабочей зоны после окончания ковки.

Привод механизма перемещения кантователя электромеханический. Вращение хобота с клещами осуществляет электродвигатель через планетарную передачу. Планетарная передача с электродвигателем и хоботом смонтирована на раме, подвешенной на подвесках с пружинными амортизаторами. Зажим и разжим клещей хобота осуществляется через систему рычагов пневматическим цилиндром. Цилиндр ра-

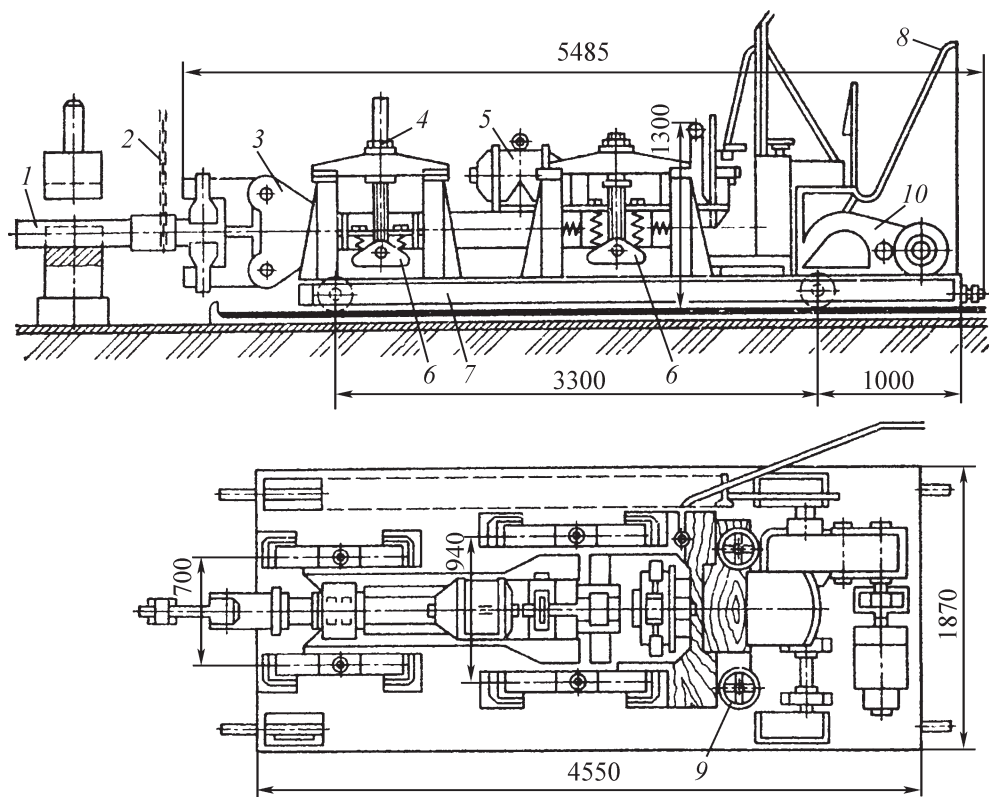


Рис. 2. Напольный рельсовый кантователь:

1 — поковка; 2 — кантовательная цепь; 3 — хобот; 4 — пневмоцилиндр механизма зажима и разжима клещей; 5 — электромеханический привод хобота; 6 — подвески с пружинными амортизаторами; 7 — рама кантователя; 8 — бронированный кабель электропитания; 9 — механизм регулировки вращения хобота и хода тележки

ботаает при давлении сжатого воздуха $5 \cdot 10^5$ Па. Кантователь имеет несколько

пар клещей и может зажимать заготовки различного размера.

Технические характеристики напольного рельсового кантователя

Частота вращения клещей, мин ⁻¹	9
Скорость перемещения тележки, м/мин	30
Угол поворота хобота, °	180
Ширина колеи, мм	1524
Диаметр ходовых колес тележки, мм	300
Высота подъема хобота, мм	550
Диаметр зажимной заготовки, мм:	
наибольший	205
наименьший	105

Столы. Подъемно-поворотные столы грузоподъемностью 0,5; 1; 2 т применяют для механизации работ на прессах и ковочных молотах с массой падающих частей 1...5 т.

Заготовку шаржир-машиной или другим механизмом извлекают из печи

и укладывают на подъемно-поворотный стол. В нерабочем положении поверхность стола находится на уровне пола. При верхнем (рабочем) положении стола нагретую заготовку манипулятором подают на ковочный пресс или молот.

Технические характеристики подъемно-поворотных столов

Грузоподъемность, т	0,5	1,0	2,0
Высота подъема, мм	800	800	800
Угол поворота, °	180	180	180
Частота вращения			
плиты, мин ⁻¹	4...6	4...6	4...6
Диаметр плиты, мм	750	750	750
Масса, т	1,0	1,3	1,5

Для оснащения ковочных молотов с массой падающих частей 1...5 т применяют поворотные неприводные столы. Поворот на 180° осуществляется под действием веса заготовки, за счет установки верхней (поворотной) части стола под небольшим углом и размещения шариков под-

шипника концентрично относительно центральной оси стола.

Поворотный приводной стол грузоподъемностью 7,0 т применяют для механизации работ на гидравлических ковочных прессах усилием 8,0...12,5 МН. Технические характеристики таких столов приведены ниже.

Грузоподъемность, т	7,0
Частота вращения плиты, мин ⁻¹	5
Поворот плиты, °	180
Габаритные размеры, мм:	
диаметр	2100
высота	1000
Время поворота заготовки, с	6
Мощность электродвигателя, кВт	1,7
Частота вращения электро-	
двигателя, мин ⁻¹	1420
Масса, т	1,8

Манипуляторы для подачи инструмента. Крупные прессы оборудуют спе-

циальными гидравлическими подъемниками для подъема тяжелого инстру-

мента. Для осуществления подъема и подачи инструмента в рабочую зону прессы применяют специальные рельсовые и стационарные манипуляторы,

Сила ковочного прессы, МН 8,0
Грузоподъемность манипулятора, т 2,5

Клинозабивные машины. Такие машины служат для забивки и выбивки клиньев паровоздушных молотов с массой падающих частей до 8,0 т. Клинозабивную машину подвешивают на крюке мостового крана с помощью цепной подвески; питание осуществляют сжатым воздухом. Клинозабивная машина имеет мультипликатор, позволяющий наносить удары, необходимые для выбивки клиньев.

Технические характеристики клинозабивной машины мод. МЗК-0,63

Давление воздуха избыточное, Па (4...7)10⁵
Масса подвижной бабы, т 0,54
Габаритные размеры, мм 2100×920×490
Масса, т 1,65

Ковочные манипуляторы предназначены для выполнения транспортных и технологических операций ковки. По конструктивному исполнению такие манипуляторы бывают рельсовые, безрельсовые и подвесные. Привод ковоч-

управление которыми осуществляет машинист ковочного прессы. Рекомендуемая грузоподъемность манипуляторов для подачи инструмента:

12,5 20,0 31,5 63,0 100,0 150,0
5,0 5,0 10,0 10,0 20,0 20,0

ных манипуляторов гидравлический или электромеханический.

Рекомендуемая зависимость грузоподъемности ковочных манипуляторов от номинальной силы ковочных прессы приведена в табл. 9, а от массы падающих частей ковочного молота — в табл. 10.

Подвесные ковочные манипуляторы применяют для обслуживания ковочных молотов с массой падающих частей до 2,0 т. Тележка таких манипуляторов перемещается по однорельсовому пути. Хобот манипулятора может осуществлять качение относительно горизонтальной оси, а также вращение вокруг нее на 360°.

Безрельсовые ковочные манипуляторы изготавливают грузоподъемностью до 5,0 т и применяют в основном для работы в режиме полуавтоматического и ручного управления с ковочными прессами и паровоздушными молотами. Основные технические характери-

9. Зависимость грузоподъемности манипулятора от номинальной силы ковочного прессы

Грузоподъемность манипулятора, т	Номинальная сила ковочного прессы, МН, для ковки стали	
	углеродистой	легированной
0,315	2,00	2,00
0,630	2,00	3,15
1,25	3,15	5,00
2,50	5,00	8,00
5	8,00	12,50
10	12,50	20,00
20	20,00	31,50
40	31,50	63,00
80	63,00	—

10. Зависимость грузоподъемности манипулятора от массы падающих частей ковочного молота

Грузоподъемность манипулятора, т	Масса падающих частей молота, т, дляковки стали	
	углеродистой	легированной
0,315	1,00	1,00
0,63	1,00	2,00
1,25	2,00	3,15
2,5	3,15	5,00
5,0	5,00...8,00	—

стики безрельсовых манипуляторов приведены в табл. 11.

Конструкция безрельсовых манипуляторов обеспечивает захват заготовок с уровня пола.

Рельсовые манипуляторы, изготовляемые грузоподъемностью до 80 т, а в отдельных случаях до 120 т, подразделяют на несколько типов: мостовые и тележечные, поворотные и неповоротные.

Манипулятор ковочный грузоподъемностью 2,0 т служит для механизации

работ в цехахковки на молотах с массой падающих частей 3...5 т. Он осуществляет технологические перемещения поковки: зажимает заготовки клещами, вращает поковку в горизонтальной плоскости, поднимает ее в вертикальной плоскости.

Электрогидравлические приводы осуществляют параллельный и наклонный подъем хобота, перемещающегося во времяковки при помощи шарнирных подвесок в любом направлении. Удары, передающиеся на хобот, вос-

11. Основные технические характеристики ковочных безрельсовых манипуляторов

Параметр	Грузоподъемность, т				
	0,315	0,63	1,25	2,5	5,0
Максимальный грузовой момент, кН·м	6,3	12,5	25,0	50,0	100,0
Наибольший диаметр заготовки, мм, не менее	300	350	500	600	700
Высота горизонтальной оси хобота над уровнем пола, мм, не более	500	600	600	650	750
Высота подъема хобота параллельно его оси, мм, не менее	400	400	500	550	600
Частота вращения хобота, мин ⁻¹ :					
наименьшая	6	6	5	4	4
наибольшая	30	30	25	20	20
Скорость перемещения, мин ⁻¹ :					
хобота в вертикальной плоскости	9,0	8,0	7,1	6,3	5,6
манипулятора:					
наименьшая	8	8	8	8	8
наибольшая	60	60	60	60	60

принимаются пружинными амортизаторами, расположенными в вертикаль-

ной плоскости вдоль оси ковки и в поперечном направлении.

Технические характеристики рельсового манипулятора

Грузоподъемность, т	2,0
Грузовой момент в клещах, кН·м	45
Частота вращения клещей, мин ⁻¹	7,2
Угол поворота клещей, °	360
Время закрытия клещей, с	1...2
Величина раскрытия клещей, мм:	
наименьшая	260
наибольшая	500
Величина выравнивания хобота, мм	450
Скорость, м/мин:	
бокового поворота хобота	8
передвижения манипулятора	40
Габаритные размеры манипулятора, мм:	
длина	6000
ширина	3235
высота	2385
Масса манипулятора с электрооборудованием, т	24,2

Ковочный манипулятор (рис. 3) грузоподъемностью 5,0 т предназначен для механизации работ на молотах с массой падающих частей 5,0...8,0 т и на гидравлических прессах силой 8,0...12,5 МН. Манипулятор осуществляет различные технологические переме-

щения поковок и обслуживает нагревательные печи. Привод продольного перемещения манипулятора и механизма поворота рамы электро-механический, механизмов зажима и вращения клещей — гидромеханический.

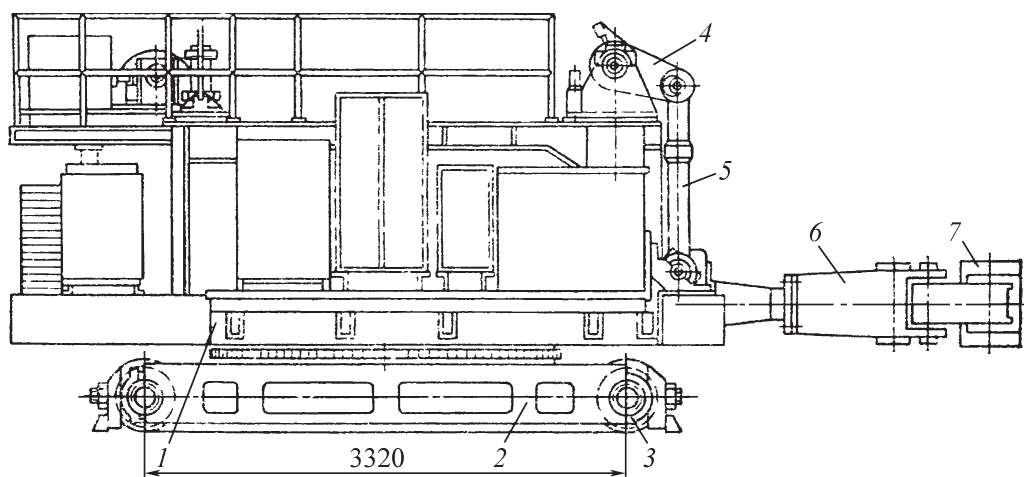


Рис. 3. Манипулятор ковочный грузоподъемностью 5 т:

1 — поворотная рама; 2 — тележка; 3 — ходовые колеса; 4 — механизм подъема и выравнивания хобота; 5 — гидроцилиндры механизма подъема; 6 — хобот; 7 — клещи

Технические характеристики ковочного манипулятора

Грузоподъемность, т	5,0
Грузовой момент, кН·м	120,0
Скорость передвижения тележки, м/мин	40
Частота вращения манипулятора, мин ⁻¹	3, 7, 8
Размер зажимаемой заготовки, мм:	
наименьший	400
наибольший	720
Длина захватных губок клещей, мм	440
Величина качания клещей, мм:	
при подъеме	1880
при опускании	520
Частота вращения клещей, мин ⁻¹	14,6
Скорость зажима клещей на штоке, м/мин	1,1
Высота горизонтальной оси хобота над уровнем пола, мм	950
Наибольшая высота параллельного подъема хобота, мм	500
Угол бокового поворота хобота, °	360
Ширина колеи, мм	2700
Габаритные размеры, мм:	
длина	7800
ширина	4220
высота	3125
Масса манипулятора с электрооборудованием, т	53

Основные технические характеристики рельсовых манипуляторов приведены в табл. 12.

Основные параметры и размеры ковочных напольных неповоротных манипуляторов (рельсовые и безрельсо-

12. Основные технические характеристики манипуляторов ковочных рельсовых

Параметр	Грузоподъемность, т							
	0,63	1,25	2,50	5,0	10	20	40	80
Максимальный грузовой момент, кН·м, не менее	12,5	25,0	50,0	100,0	250,0	500,0	1000,0	2000,0
Наибольший диаметр заготовки, мм, не менее	350	500	600	750	800	950	1250	1800
Высота горизонтальной оси хобота от головки рельса, мм, не более	600	700	750	800	900	1000	1300	1800
Значение подъема хобота параллельно его оси, мм, не менее	400	500	550	600	700	800	900	1250
Боковое смещение клещей, мм, не менее	100	125	150	180	200	220	250	300
Частота вращения хобота, мин ⁻¹ :								
наименьшая	6	5	4	4	3	3	2	2
наибольшая	30	25	20	18	15	14	12	10
Скорость перемещения, м/мин:								
хобота в вертикальной плоскости	8,0	7,1	6,3	5,6	5,0	4,5	4,5	4,5
манипулятора:								
наименьшая	8	8	8	8	8	6	6	5
наибольшая	60	60	60	60	40	40	35	35

вые), предназначенных для работы в составе автоматизированных ковочных комплексов с ковочными гидравлическими прессами (ГОСТ 7284–80*Е), а также для работы в режимах полуавтоматического и ручного управления с ковочными прессами и паровоздушными молотами (ГОСТ 9752–75*), определены ГОСТ 17808–82.

Ковочные комплексы с программным управлением. В состав комплекса входят: гидравлический пресс; один или два рельсовых неповоротных манипулятора; тележки с поворотным столом (для разворота и перехвата поковки в процессековки); инструментальный манипулятор; передвижной стол для бойков; устройство числового программного управления с дистанционным пультом управления. Схема типового ковочного комплекса пресс-манипулятор показана на рис. 4.

Ковочные комплексы с программным управлением предназначены для

изготовления осесимметричных поковок с вытянутой осью в режиме автоматического и программного управления и поковок всех типов (колец, шайб, фланцев и т.п.) в режиме ручного и полуавтоматического управления.

Основные параметры и размеры ковочных комплексов с номинальной силой 5,0; 8,0; 12,5; 20,0; 31,5 МН определены ГОСТ 25354–82.

Количество управляемых координат составляет пять для комплексов с одним манипулятором и девять — для комплексов с двумя манипуляторами.

Дискретность задания перемещения по осям X_1, X_2, Y, Z не более 1 мм, а по оси U — не более $0,25^\circ$ (см. рис. 4).

Точность остановки деформирующего инструмента под нагрузкой составляет $\pm 1,0... \pm 2,0$ мм в зависимости от номинального усилия комплекса.

Входящий в комплекс гидравлический пресс имеет нижнее расположе-

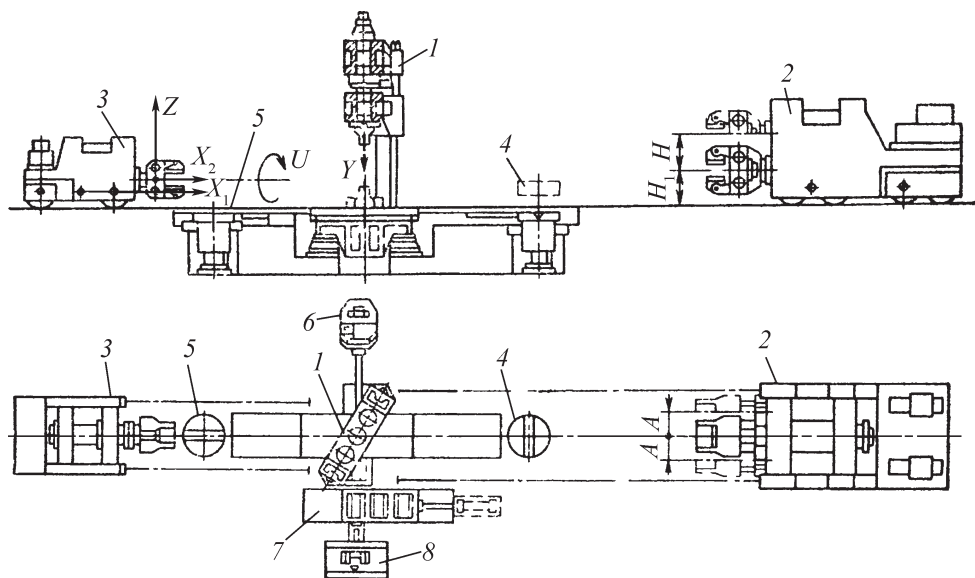


Рис. 4. Схема расположения оборудования ковочного комплекса:

1 — ковочный пресс силой 63 МН; 2 — ковочный манипулятор грузоподъемностью 100 т; 3 — ковочный манипулятор грузоподъемностью 40 т; 4 — поворотный стол грузоподъемностью 100 т; 5 — поворотный стол грузоподъемностью 40 т; 6 — инструментальный манипулятор грузоподъемностью 20 кН; 7 — передвижной стол для бойков; 8 — пульт управления

13. Значения усилий гидравлических ковочных прессов и грузоподъемности напольных ковочных рельсовых манипуляторов

Номинальная сила пресса, МН	Грузоподъемность манипулятора, т				
5,0	2,5	—	—	—	—
8,0		5,0	—	—	
12,5			10,0	—	
20,0	—	—	—	20,0	40,0
31,5	—				

ние цилиндровой группы и поперечный инструментальный стол (наряду с продольным выдвижным).

Рельсовый манипулятор имеет регулируемые скорости перемещения и вращения поковки, обеспечиваемые тиристорным электроприводом постоянного тока; жесткую связь передвижения тележки с рельсовым путем посредством цевочного зацепления; гидравлический механизм быстрой остановки осевого перемещения поковки. Манипуляторы, предназначенные для работы в составе автоматизированных ковочных комплексов, в соответствии с ГОСТ 17808—82 должны обеспечивать поворот заготовки на фиксированные углы 11° 15'; 22° 30'; 30°; 45°; 60°; 90°; 180°. Предельные отклонения угла поворота загото-

вок $\pm 1^\circ 30' \dots \pm 3^\circ$, предельные отклонения линейного перемещения $\pm 8 \dots \pm 20$ мм в зависимости от грузоподъемности манипулятора.

Рекомендуемые значения сил прессов и грузоподъемности манипуляторов, используемых в ковочных программируемых комплексах, приведены в табл. 13.

Применение автоматизированных ковочных комплексов позволяет увеличить производительностьковки по сравнению с установками на базе ковочных прессов с ручным управлением и крановыми кантователями в 1,6—2,2 раза; сократить численность бригады с 6—8 до 3 человек; повысить точностьковки; улучшить условия труда и культуру производства в кузнечно-прессовых цехах.

Основные технические характеристики ковочных комплексов АКП 500/2,5 и АКП 1250/5

	АКП 500/2,5	АКП 1250/5
Номинальная сила пресса, МН	5,0	12,5
Наибольший ход подвижной траверсы, мм	710	1250
Расстояние между столом и подвижной траверсой, мм	1800	2650
Наибольший допускаемый эксцентриситет при ковке, мм	150	200
Число сменных инструментальных блоков	4	4
Грузоподъемность манипулятора, т	2,5	5,0
Грузовой момент, кН·м	50	140
Наибольшее раскрытие клещей, мм	500	710*
Высота горизонтальной оси хобота от головки рельса H_1 , мм.	750	800*
Высота подъема хобота H , мм.	455	500*
Боковое смещение клещей A , мм	100*	125*
Достижимая точность задания размера поковки с пульта при автоматической и программной ковке, мм:		
по высоте.	$\pm 1,0$	$\pm 1,5^*$
по длине	$\pm 5,0$	$\pm 8^*$

* Данные ориентировочные.

2. АВТОМАТИЗАЦИЯ И МЕХАНИЗАЦИЯ ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

Автоматизация и механизация технологических процессов горячей объемной штамповки осуществляется как путем оснащения средствами механизации и автоматизации универсального оборудования, которое совместно с другим оборудованием может образовывать механизированные и автоматизированные линии и комплексы, так и за счет применения специализированных горячештамповочных машин-автоматов.

Промышленный опыт показывает, что механизация и автоматизация процессов горячей штамповки позволяет эффективно решать важнейшие задачи кузнечного производства: существенно повышать производительность и качество поковок, исключать тяжелый и монотонный труд штамповщиков. Главными функциями штамповщика становятся контроль за осуществлением процесса и устранение причин возможных отклонений от его нормального хода. При этом исключается контакт с горячим металлом и обеспечиваются более безопасные условия работы. Задаваемый средствами автоматизации постоянный темп работы способствует стабилизации температурного режима заготовок и инструмента, вследствие чего точность поковок может повышаться на

10...12 % и возможно соответствующее ужесточение допусков на их размеры.

Выбор метода автоматизации определяется масштабом производства поковок, номенклатурой деталей, закрепленных за линией (машиной), индивидуальными особенностями деталей и технологических процессов штамповки. Признаки типов производства приведены в табл. 14.

Одной из основных технических предпосылок автоматизации является возможность типизации технологических процессов штамповки, заключающаяся в группировании поковок по конфигурации, размерам и массе, технологии штамповки, объему выпуска. Необходимость группирования определяется высокой производительностью кузнечно-штамповочного оборудования и стремлением получить максимальный коэффициент его использования. Автоматизации и механизации подлежат элементы технологического процесса, выполняемые как в рабочем пространстве штамповочного агрегата, так и вне его (рис. 5). На основе общих принципов поточности, типизации и интенсификации технологических процессов определились основные типы автоматизированных линий и комплексов, принцип формирования которых основан на выборе технологически необходимого оборудования и последовательном его объединении межоперационным транспортом. Комплексные ав-

14. Признаки типов производства

Тип производства	Ориентировочный годовой выпуск поковок, шт./год			Число типов деталей, закрепленных за оборудованием (линией)
	мелких (массой до 1 кг)	средних (массой 2...10 кг)	тяжелых (массой 10...150 кг)	
Единичное и мелкосерийное	<50 000	<10 000	<2000	20
Серийное	50 000...500 000	10 000...100 000	2000...10 000	6...12
Крупносерийное и массовое	>500 000	>100 000	>10 000	1...5

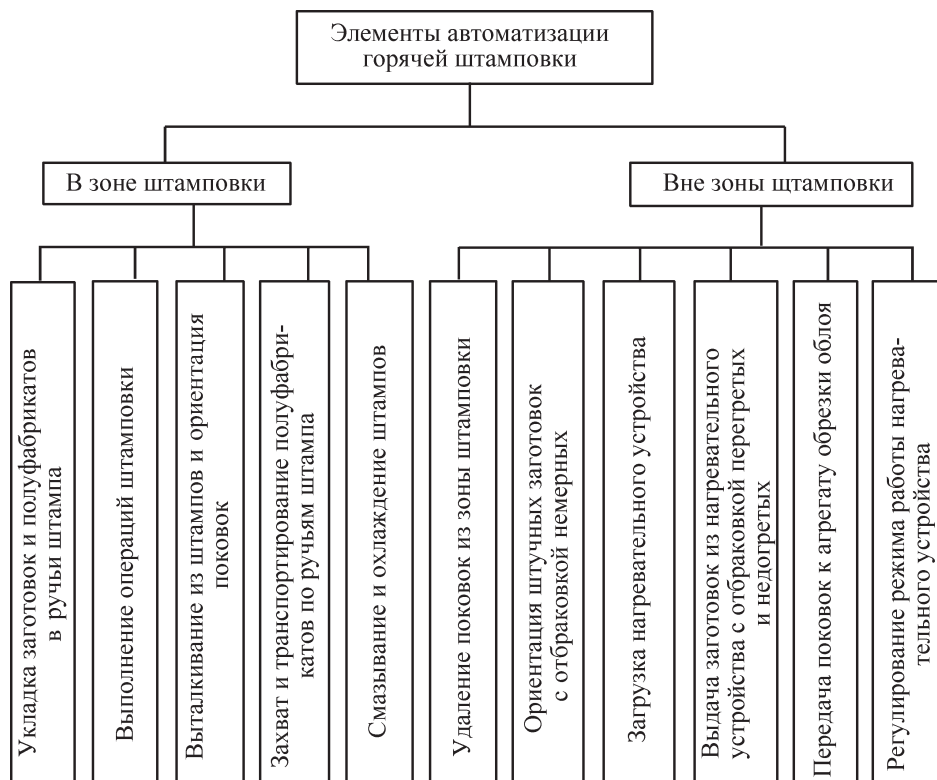


Рис. 5. Элементы технологического процесса горячей объемной штамповки поковок, подлежащие автоматизации

томатические линии, обычно включающие все или большинство элементов технологического процесса, являются одним из главных направлений развития кузнечно-штамповочного производства, так как они обеспечивают коренное улучшение условий и организации труда, значительно повышают его производительность. Характерными для такого подхода к автоматизации являются линии изготовления деталей типа коленчатых валов и балок передней оси автомобиля, поковок шестерен, клапанов, крестовин карданных валов, колец подшипников и т.п. Большинство существующих линий предназначено для изготовления узкой номенклатуры массовых однотипных деталей.

Они могут эффективно использоваться только при изготовлении круп-

ных серий поковок, поставляемых большими партиями. Современным достижениям в кузнечно-штамповочном производстве отвечают автоматические линии и комплексы завода КамАЗ, основные показатели которых представлены в табл. 15.

В последние годы в промышленности наметилась тенденция к расширению и систематическому обновлению номенклатуры выпускаемой продукции за счет снижения серийности производства. В кузнечном производстве это приводит к необходимости существенного расширения спектра изготавливаемых поковок при сокращении серийности их производства и значительном уменьшении партий поковок, поставляемых поэтапно в обусловленные заказчиком сроки. В связи с этим

15. Автоматизированные линии и комплексы завода КамАЗ

Деталь	Масса, кг	КИМ	Производительность, шт./ч	Операция
Стремянка	1,2...2,1	0,92	500	Нарезание резьбы, гибка, термообработка, правка
Обод маховика	7,2	0,94	300	Гибка, сварка, нагрев, калибровка, термообработка, очистка
Шатун	4,6	0,68	360	Нагрев, штамповка, термообработка, очистка, чеканка, контроль
Разжимной кулак	3,1...3,9	0,72	470	Нагрев, штамповка, термообработка, очистка, правка, контроль
Поворотный кулак	21,2...22,8	0,76	123	Нагрев, штамповка, термообработка, очистка, чеканка, контроль
Цапфа поворотного кулака	19,1	0,87	190	Нагрев, штамповка, термообработка, очистка, чеканка, контроль
Кольцо	2,6	0,84	600	Нагрев, штамповка, раскатка, калибровка
Обод	25...26	0,84...0,86	150	Нагрев, штамповка, раскатка, термообработка, очистка, контроль
Полуось	18,9...23	0,95...0,96	250	Нагрев и штамповка с двух сторон, раскатка, термообработка, очистка, правка, контроль
Балка передней оси	90	0,80	50	Нагрев, вальцовка, штамповка, обрезка, термообработка, очистка, правка, контроль
Коленчатый вал	99	0,81	50	Нагрев, штамповка, обрезка, а также выкрутка и балансировка

дальнейшее развитие автоматизации горячештамповочного производства должно ориентироваться на применение гибких многоцелевых установок, сочетающих быструю переналаживаемость с необходимой степенью технологической универсальности для охвата определенного спектра поковок.

Автоматизация и механизация заготовительных операций. Наиболее распространенным и производительным способом разделки исходного проката сечением до 250×250 мм является отрезка его на пресс-ножницах. При автоматизированной штамповке пресс-ножницы часто встраиваются в основной штамповочный агрегат, где производят отрезку мерных заготовок от предварительно нагретой до ковочной темпера-

туры штанги (прутка). В остальных случаях отрезку заготовок производят на заготовительных участках. Объемная точность заготовок, получаемых на обычных пресс-ножницах, находится в пределах 3 %. При оснащении ножниц устройствами, обеспечивающими контроль сечения разрезаемого проката, автоматическое регулирование заднего упора, прижим штанги и отрезаемой заготовки для перпендикулярного реза, объемная точность заготовок достигает 0,5 %. Применение заготовок точного объема способствует устойчивой работе средств автоматизации горячей штамповки.

На рис. 6 показана типовая схема автоматизированного комплекса отрезки во втулочных штампах легированных

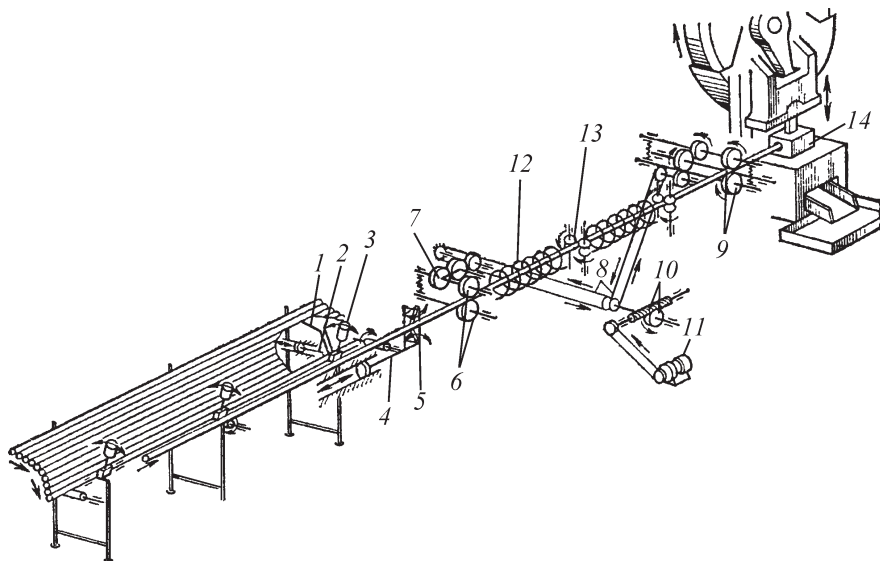


Рис. 6. Схема автоматизированного комплекса для отрезки сортового проката с подогревом

сталей с подогревом до $450\text{ }^{\circ}\text{C}$. Штанги укладывают на автоматизированный стеллаж 1 с отсекателем 3. Когда конец предшествующей штанги проходит ролики 6 подающего устройства, включается клапан подачи сжатого воздуха в пневмоцилиндр 2 и очередная штанга перемещается на линию подачи. Клещевой захват 5 подводится к штанге от штока пневмоцилиндра 4 и при обратном ходе вводит ее в зону действия роликов 6. Ролики 6 и 9 двухклетевой валковой подачи непрерывно вращаются от электродвигателя 11 через червячный редуктор 10, цепные передачи 8 и зубчатые переборы 7. Верхние ролики подпружинены и при достижении штангой упора втулочного штампа 14 проскальзывают относительно штанги, что упрощает конструкцию подачи и исключает отскок штанги от упора.

На пути движения штанги она нагревается в индукционном нагревателе 12 с направляющими роликами 13.

На ВАЗе применяют автоматическую линию на базе пресс-ножниц «Фисеп» (Италия), оборудованных автоматическим стеллажом, роликовым

конвейером и проходной газовой печью для нагрева заготовок перед резкой. На линии возможна отрезка одной и двух заготовок одновременно производительностью $700\ldots 2500$ шт./ч. Пневматический задний упор ножниц смягчает удар прутка и гасит его отскок, что увеличивает стабильность длины отрезаемых заготовок.

Технические характеристики оборудования для разрезки проката с применением средств механизации и автоматизации представлены в гл. 4.

Автоматизация и механизация нагрева заготовок и их транспортирования к штамповочным агрегатам. Высокая производительность основного технологического оборудования возможна только при соответствующем нагреве исходных заготовок. Нагрев штучных заготовок под штамповку осуществляют в механизированных и автоматизированных печах карусельного типа с вращающимся подом, методических и полуметодических с различного рода толкателями и загрузчиками, а также в индукционных нагревателях и установках для нагрева методом сопротивления.

Основными операциями, подлежащими механизации и автоматизации, являются подача и укладка заготовок в ориентированном положении на порог загрузочного окна или стол нагревательного устройства, загрузка заготовок и перемещение их в нагревательном устройстве, выдача заготовок из нагревательного устройства с контролем их температуры и отбраковкой недогретых или перегретых заготовок. Вопросы автоматизации работы нагревательных устройств проще решаются при электронагреве заготовок.

При штамповке поковок на универсальных автоматизированных машинах, на автоматах и комплексных линиях обычно применяют различные способы индукционного нагрева токами повышенной (1...10 кГц) и промышленной частоты. Современные индукционные нагревательные установки обеспечивают высокую точность и стабильность температуры с помощью датчиков активного контроля и систем автоматической подналадки. Они снабжены системами сигнализации и автоматического отключения при аварийных ситуациях.

Для подачи штучных заготовок из тары в индукционный нагреватель применяют загрузчик с магнитной шайбой. Схема механизма захвата и переноса заготовок из тары представлена на рис. 7. При вращении вала 1 ролик рычага 4 перемещается по копиру кулака 3 и воздействует на трос 5, закрепленный в шарнире 6. Трос 5 через блоки 7 и 8 на поворотной стойке 9 связан с магнитной шайбой 10. Привод стойки 9 осуществляется системой рычагов 11 от кулисного механизма 12, ролики которого взаимодействуют с кулаком 2. Электромеханический привод поворачивает вал 1, а кулаки 2 и 3 обеспечивают последовательно поворот и опускание — подъем магнитной шайбы 10 сначала в направлении тары с

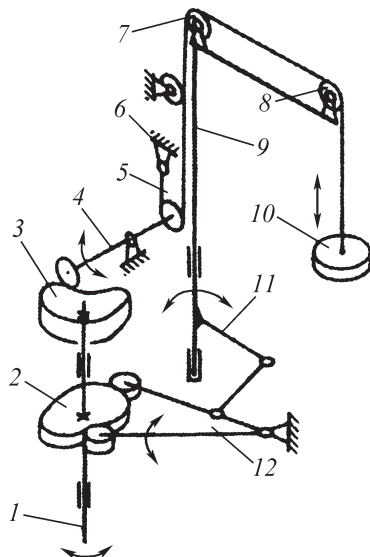


Рис. 7. Механизм захвата и переноса заготовок из тары к индукционному нагревателю

заготовками, а затем в направлении роторного ориентирующего устройства индукционного нагревателя. Сила магнитов регулируется для захвата и удерживания только одной заготовки. Система конечных выключателей включает питание магнитной шайбы 10 при ее опускании в тару с заготовками и отключает его над ориентирующим устройством, из которого заготовки передаются на позицию загрузки в индуктор. Такие системы успешно используют для подачи заготовок диаметром 40...100 мм и длиной 1,5...3,5 диаметра. Для подачи к индукторам более крупных заготовок применяют вибротолки.

В рабочем пространстве индукторов заготовки перемещаются устройствами четырех типов:

пневматическими цилиндрами двойного действия, штоки которых воздействуют на заготовки;

шестизвенным механизмом привода толкателя заготовок, управляемого пневматическим цилиндром с широким диапазоном изменения хода;

балками, совершающими «шагающие» движения посредством рычагов и эксцентриковых механизмов от электродвигателей;

приводными водоохлаждаемыми роликами между секциями индуктора при нагреве прутков для штамповки на автоматах.

Для транспортирования нагретых мелких и средних заготовок к штамповочному агрегату применяют наклонные лотки и конвейеры. Лотки изготавливают из стальных листов или чугунных плит толщиной 4...6 мм в форме желоба с бортами. Угол наклона лотка для заготовок, перемещающихся за счет скольжения, 14...40°, за счет качения 7...10°. Из различных конструкций конвейеров наибольшее распространение для заготовок массой до 30 кг получили цепные, траковые и скребковые конвейеры с линейной скоростью перемещения заготовок до 1 м/с. Крупные заготовки перемещают с помощью кантовых клещей и манипуляторов.

Средства автоматизации и механизации, применяемые при штамповке. Основными операциями, подлежащими автоматизации непосредственно в рабочем пространстве штамповочного агрегата, являются укладка (подача) заготовок на первую позицию инструмента, передача полуфабриката по штамповочным позициям, удаление поковок и облоя, а также смазывание и охлаждение штампов. Для автоматизации и механизации горячей штамповки применяют толкающие подачи, шиберы, подъемники, кантователи, грейферные и револьверные подачи, роботы и манипуляторы. Подачи и манипуляторы могут иметь индивидуальный привод, быть кинематически связанными со штамповочным агрегатом или иметь смешанный привод.

Характерное автоматизированное оборудование приведено в табл. 16 с указанием его основных параметров и производительности. Наиболее широкое применение нашли автоматизированные ковочные вальцы, кривошипные горячештамповочные прессы (КГШП), горизонтально-ковочные машины (ГКМ) и электровысадочные машины.

Автоматизация ковочных вальцов.

Использование автоматизированных ковочных вальцов для получения полуфабрикатов под штамповку позволяет снизить отход металла, уменьшить напуски и сократить до минимума число штамповочных операций. На рис. 8 показана схема одноклетьевых вальцов, оснащенных манипулятором с пневмомеханическим приводом. Нагретую заготовку на тележке 15 подают к первому ручью ковочных вальцов и пневматическим заталкивателем 14 направляют в рабочую зону. При срабатывании вальцов секторы захвата 12 деформируют и переносят полуфабрикат к губкам клещевого захвата 12, после чего совершают их обратное, поперечное и поворотное движение.

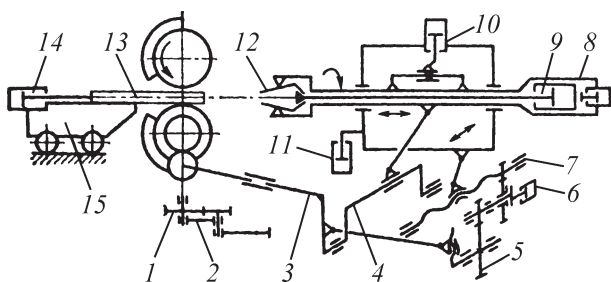


Рис. 8. Ковочные вальцы с манипулятором:

1 — шестерня главного привода; 2 — водило; 3 — тяга; 4 — кривошипный вал продольной подачи; 5 — шестерня привода поперечной подачи; 6 — пневмоцилиндр управления поперечной подачей; 7 — ходовой винт; 8 — корпус клещевого захвата; 9 — пневмоцилиндр привода губок захвата; 10 — пневмоцилиндр привода поворота; 11 — пневмоцилиндр возврата поперечной подачи; 12 — губки клещевого захвата; 13 — исходная заготовка; 14 — заталкиватель заготовок; 15 — тележка подачи заготовок

16. Автоматизированное штамповочное и формообразующее оборудование

Наименование	Определяющий параметр	Тип и масса m , кг, поковок	Производительность, шт./ч	Габаритные размеры, м; масса m , т
Машины радиально-обжимные: горизонтальные и вертикальные	Наибольший диаметр прутка 4...120 мм	Оси, валы длиной 0,160...2,0 м	1800...630 обжатый	0,8×2,7×1,5...2,2×6,6×2,5
Импактор	Энергия удара 4...6 МДж	С удлиненной осью, $m = 0,6...15$	500...150	6,3×30,5×1,5...30×71×3
Автомат горячештамповочный с вертикальным расположением рабочих позиций	Сила 1...20 МН	Круглые поковки типа колец, фланцев, шестерен, $m = 0,02...8$	3000...800	2×4×1,2...10×20×2,85 $m = 20...280$
Автомат горячештамповочный с горизонтальным расположением рабочих позиций	Сила 0,4...25 МН	Круглые поковки типа колец, фланцев, шестерен, $m = 0,02...10$	8000...1000	1,6×3,0×1,8...9,5×15M6 $m = 30...250$
Автомат специальный	Сила 16 МН	Покówki плоских двухсторонних гаечных ключей	1000...1500	3,4×7,5×3,3 $m = 99$
Машина электровысадочная автоматическая горизонтальная	Сила 40...630 кН	Полуфабрикаты под штамповку поковки	40...475 кг/ч	1,25×3,3×1,8...3,4×6,0×2,3 $m = 4...20$
Машина электровысадочная автоматическая вертикальная	Сила 20...160 кН	Полуфабрикаты под штамповку	10...100 кг/ч	Роторного типа, наружный диаметр 3...10,5 $m = 1...5$
Валы закрытые двухклетевые автоматические	Сила 0,12...1 МН. Диаметр валков 200...600 мм	Полуфабрикаты под штамповку	700...180	1,7×2×1,25...3,4×3,8×2,1 $m = 4,9...39$

Вальцы многоклетевые автоматические	Сила 0,63 МН. Диаметр валков 180 мм	Поковки и полуфабрикаты под штамповку	500	2,6×15,7×3,8 $m = 83$
Вальцы поперечно-клиновые валковые автоматические	Сила 0,45...0,80 МН	Полуфабрикаты под штамповку	900...600	2,7×6,7×2,2...3,2×12,1×4,0 $m = 16,3...46,5$
Вальцы поперечно-клиновые валково-сегментные автоматические	Сила 0,1...0,63 МН. Диаметр валков 400...800 мм	Поковки, полуфабрикаты под штамповку	1500...600	2,4×1,3×2,3...2,6×3,0×2,8 $m = 45...185$
Вальцы поперечно-клиновые с плоским инструментом автоматические	Сила 1...5 МН	Оси, пальцы шаровые, валы, $m = 0,5...2,5$	200...100	2,5×2,8×2,5...4,0×4,6×4,0 $m = 10...60$
Пресс кривошипный горячештамповочный для штамповки выдавливанием автоматизированный	Сила 7...10 МН	Поковки типа клапанов автомобилей двигателей, ко- лец подшипников, $m = 0,02...0,6$	700...1500	На базе универсальных КГШП
Пресс кривошипный горячештамповочный с перекадчиком автоматизированный	Сила 16...63 МН	Поковки типа цапф, шестерен, колес, фланцев, $m \leq 20$	600...200	На базе универсальных КГШП
Машина горизонтально-ковочная с перекадчиком автоматизированная	Сила 2,5...13,5 МН	Типа стержня с утолщением	600...100	4,6×6...6×9
Пресс гидравлический двойного действия	Сила 0,63/0,63 МН	Кольца подшипников, $m = 0,3...4$	240...160	На базе универсальных прессов
Раскаточная машина автоматическая	Сила 0,1...5 МН	Кольца	150...300	На базе универсальных машин

ния для укладки полуфабриката с поворотом в следующие пары рабочих секторов. Деформация во втором и последующих секторах вальцов происходит при непрерывном удержании полуфабриката в клещах манипулятора. При последнем ходе вперед после окончания вальцовки клещи раскрываются и освобождают заготовку. Продольная и шаговая поперечная рабочая подача клещей осуществляется с помощью жесткой связи от привода

вальцов. Обратное движение поперечной подачи и зажим-разжим клещей осуществляют от пневмопривода. Такие манипуляторы, помимо исключения тяжелого физического труда, повышают производительность вальцовки в 1,5–2 раза до 180...200 шт./ч.

Для обслуживания ковочных вальцов с межосевым расстоянием 250...320 и 400...500 мм применяют специализированные манипуляторы моделей МКВ 16 и МКВ 50.

Краткая техническая характеристика манипуляторов

	МКВ 16	МКВ 50
Грузоподъемность, кг	16	50
Число степеней подвижности	3	3
Максимальное число рабочих продольных ходов, мин	90	60
Максимальное число переходов вальцовки	4	4
Наибольшая длина прокатанной заготовки, мм	540	820
Размер поперечного сечения исходной заготовки, мм	40 или 65	75 или 105
Продольный ход руки, мм	500±1	750±1
Поперечный ход руки, мм	100±0,1	175,5±0,1
Поворот руки в вертикальной плоскости, °	90±2	90±2
Высота продольной оси руки над уровнем пола, мм	1000	1050
Габаритные размеры в плане, мм	3000×1500	3500×2000
Высота над уровнем пола, мм	1420	1520
Масса, кг	1600	2500

Механизм продольного перемещения руки манипулятора с помощью синхронизирующей тяги кинематически связан с приводом вальцов, чем достигается полная синхронизация перемещения руки с заготовкой с вращением секторов штампов. Все остальные движения руки осуществляются от гидроцилиндров, срабатывание которых осуществляется от гидростанции, смонтированной на станине манипулятора. Система управления обеспечивает работу манипулятора в наладочном и автоматических режимах в соответствии с выбранным числом вальцовочных ручьев.

На ряде заводов для автоматизации процесса вальцовки применяют специализированные манипуляторы фирмы «Эймуко» (ФРГ). Они в автоматическом режиме выполняют захват заготовки клещами, удержание ее в про-

цессе вальцовки, перемещение между ручьями с кантовкой на 90°, удаление готовой заготовки из вальцов и возврат клещей в исходное положение.

Для получения полуфабрикатов под последующую штамповку и готовых поковок применяют автоматизированные станы поперечно-клиновой вальцовки, которые по сравнению с традиционными вальцами продольной вальцовки обеспечивают более высокую степень точности и воспроизводимости размеров.

Автоматизация кривошипных горячештамповочных прессов. При автоматизации штамповки на КГШП необходимо обеспечить в штамповом пространстве пресса синхронное взаимодействие поковок, инструмента, выталкивателей, захватов средств автоматизации, устройств для очистки и смазывания инст-

румента. Стабильность автоматизированного процесса штамповки зависит не только от факторов, связанных с бездефектным формообразованием поковки, но и от строгой определенности положения поковки при ее перемещении в штамповом пространстве прессы. Транспортирование поковки в штамповом пространстве начинают с подачи исходной заготовки на первую позицию штампа. Получаемые на первой позиции полуфабрикаты должны быть стабильной внешней конфигурации для достаточно точного позиционирования на следующей позиции штампа. При автоматизированном процессе штамповки круглых в плане или близких к ним по форме поковок отклонение от перпендикулярности торцов заготовок не должно превышать $3...3,5^\circ$ для обеспечения устойчивости и исключения искажений формы осаженных на первой позиции заготовок. При автоматизации процесса, исключающей возможность вмешательства штамповщика, необходимо обеспечить строго ориентированное положение поковки не только при позиционировании, но и при выталкивании из полости и при переносе с позиции на позицию. Это может быть достигнуто надежным взаимодействием захватов средств автоматизации с соответствующими базами на поковке и на промежуточных полуфабрикатах, получаемых на каждой из позиций инструмента. В качестве таких баз выбирают поверхности поковок, которые достаточно развиты для гарантированного захвата, либо их искусственно формируют, например сдвигом плоскости разреза вверх. Для грейферных подач их обычно выбирают под облоем, а для роботов в ряде случаев над облоем. Для исключения потери ориентации и перекоса поковки при раскрытии захватов грейферных подач или выброса поковки из захватов при их смыкании необходимо обеспечивать изгиб облоя вверх

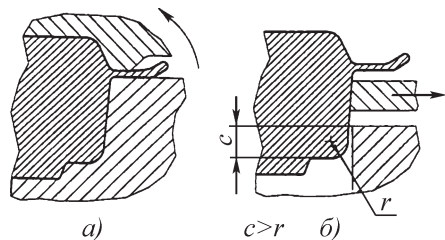


Рис. 9. Ориентация направления облоя (а) и позиционирование поковки в обрезной матрице (б)

за счет соответствующего исполнения облойного мостика (рис. 9, а). Позиционирование поковки в полости штампа после ее освобождения из захватов происходит под воздействием ее собственной силы тяжести. С учетом точности позиционирования средств автоматизации примерно $\pm 0,5$ мм нужно обеспечить надлежащее согласование формы поковки и гравюры. Поверхности последней должны ориентировать поковку, исключая возможность смещения поковки также за счет сил трения при раскрытии захватов. К моменту раскрытия захватов поковка должна быть введена в полость штампа на соответствующую глубину, необходимую для ее надежной фиксации в требуемой позиции ($c > r$ при позиционировании поковки в обрезной матрице, как показано на рис. 9, б). При отходе ползуна от его нижнего положения верхний выталкиватель, воздействуя на поковку, должен гарантированно оставлять ее в нижней гравюре. Конструктивное исполнение нижних выталкивателей должно обеспечивать ориентированное положение поковок в процессе выталкивания и сохранять его до захвата поковки средствами автоматизации. Для устойчивого положения поковки при одном выталкивателе необходима его значительная опорная площадь (рис. 10, а), а при нескольких выталкивателях центр тяжести поковки должен находиться внутри многоугольника, образуемого стержнями выталкивателей

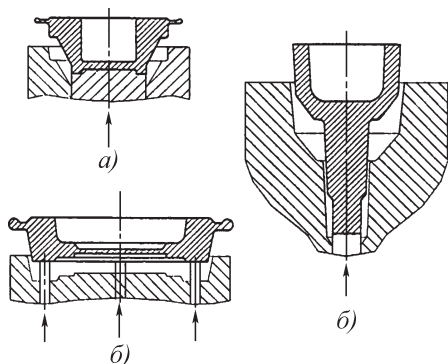


Рис. 10. Схемы выталкивания поковок

(рис. 10, б). При автоматизации штамповки выдавливанием необходимо обеспечить повышенную надежность работы системы нижнего выталкивания поковок (рис. 10, в). Выталкиватели могут воздействовать как на тело поковки, так и на облой. Для круглых в плане поковок предпочтительно воздействие на тело поковки, так как совершенствование технологии приводит к уменьшению облоя, и он становится ненадежной базой для выталкивателей. Воздействие на облой рационально при изготовлении поковок удлиненной формы, например коленчатых валов или балок передней оси автомобиля при стабильном образовании облоя достаточных размеров в определенных зонах периферии поковки. В ряде случаев целесообразно комбинированное воздействие выталкивателей на тело поковки и на облой, как, например, при штамповке поковок шагнунов.

Устойчивость автоматизированных технологических процессов в наибольшей степени зависит от надежности средств автоматизации, которая тем выше, чем короче и проще траектории транспортирования поковки по позициям инструмента в штамповом пространстве прессы. В связи с этим при автоматизации необходим пересмотр конструкции инструмента и технологического процесса ручной штампов-

ки, чтобы обеспечить следующие условия:

поточность изготовления поковок путем расположения позиций инструмента в одном направлении в последовательности выполнения технологических операций;

единый уровень загрузки и выгрузки поковок средствами автоматизации за счет соответствующего расположения поверхностей разьема у нижних вставок и у поковок после выталкивания;

единый шаг подачи, т.е. одинаковое расстояние между центрами всех позиций инструмента;

отсутствие помех размещению, наладке, функционированию или смене элементов средств автоматизации и штамповой оснастки.

Для автоматизации КГШП применяют грейферные и клещевые подачи, а также роботы.

Грейферные подачи — наиболее распространенное средство автоматизации межоперационной передачи поковок в штамповом пространстве КГШП. Смыканием грейферных линеек осуществляется захват поковки, приподнятой выталкивателем, но еще сохраняющей ориентацию в полости штампа. При подъеме линеек поковка полностью выводится из полости и в ориентированном положении переносится к следующей позиции штампа. При опускании линеек поковка частично вводится в полость следующей позиции штампа, поверхности которой обеспечивают ее центрированное положение. При размыкании линеек поковка освобождается от захватов и окончательно укладывается в полость, а линейки с захватами возвращаются в исходное положение (рис. 11, а). Поскольку движения грейферной подачи осуществляются одновременно на всех позициях, производительность автоматизированных КГШП не зависит от числа позиций штампа. Это позволяет

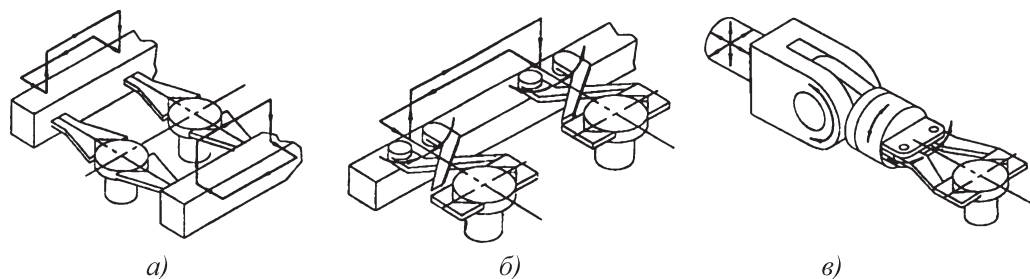


Рис. 11. Схемы движений автоматических подач:

а — грейферной; *б* — клешевой; *в* — робота

выполнять на одном КГШП наряду с формообразующими также и разделительные операции удаления облоя и внутренних перемычек и исключить из технологической линии обрезной пресс и соответствующие средства автоматизации. Заготовки обычно загружают в захваты через цикл ее работы, и при каждом ходе ползуна операции выполняются либо на четных, либо на нечетных позициях штампа. Это позволяет обеспечить поочередную очистку и смазывание свободных полостей штампа, а также исключить одновременное выполнение следующих друг за другом операций предварительной и окончательной штамповки, требующих наибольшей силы деформирования и соответственно применения более мощных прессов.

Применяют грейферные подачи с жесткой кинематической связью от привода КГШП и с независимым от пресса приводом. На рис. 12 показана кинематическая схема грейферной подачи с жесткой связью от привода универсального КГШП, осуществляемой через шестерню отбора мощности 37, закрепленную на торце коленчатого вала. Через зубчатые передачи и карданный вал 32 осуществляется передача вращения на кулачково-рычажную систему, с помощью которой осуществляется поперечный, продольный и вертикальный ход грейфера 2 с захватами 1. На рисунке показан только привод ле-

вой части передней балки. Привод левой части задней балки аналогичен. Для привода правых частей балок предусмотрены соответствующие карданные валы. Пресс и подача работают синхронно в режиме непрерывных ходов с максимально возможной производительностью до 40 циклов/мин, которая лимитируется величиной инерционных сил, стойкостью штампов и энергетическими возможностями пресса. Необходимое в этих условиях уменьшение числа непрерывных ходов ползуна КГШП приводит к увеличению времени силового контакта поковки с инструментом и снижению его стойкости. Поэтому грейферные подачи с жесткой связью практически используют лишь в специализированных автоматах для изготовления поковок. Воронежским ЗАО «Тяжмехпресс» разработана грейферная подача мод. ПГА315, входящая в состав многопозиционного пресса-автомата мод. КА0042 с силой 16 МН для горячей и полугорячей штамповки выдавливанием. Шаг подачи 315 мм, высота подъема балок 160 мм, максимальная частота ходов 24 мин⁻¹.

При независимом приводе подача работает в режиме непрерывных ходов, а КГШП — в режиме одиночных ходов по команде от подачи при возвратном ходе грейферных линеек. С учетом времени срабатывания муфты и тормоза КГШП быстроходность подач с независимым приводом не пре-

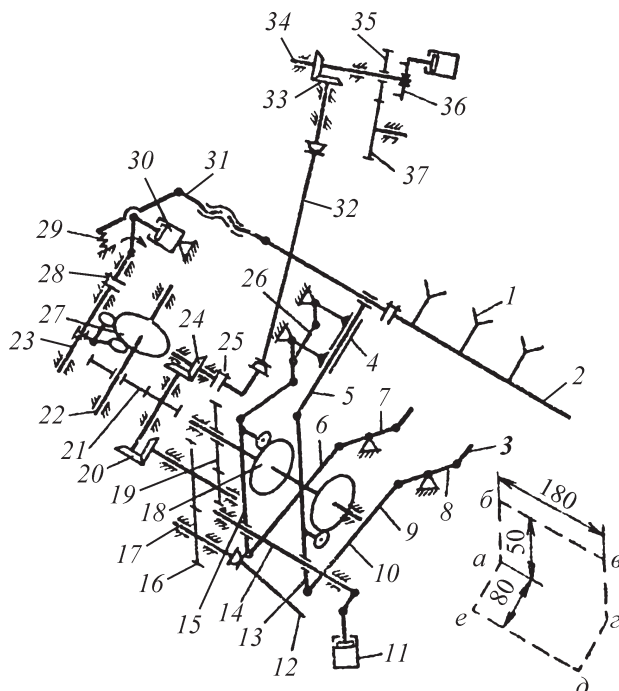


Рис. 12. Кинематическая схема грейферной подачи с приводом от КГШП:

1 — захват; 2 — балка; 3 — тяга; 4 — направляющая; 5 — тяга поперечной подачи балок; 6 и 7 — тяги привода и опускания балки; 8 и 9 — коромысло и тяга привода поперечной подачи балок; 10 — кулак привода поперечной подачи балок; 11 — пневмоцилиндр; 12 — карданный вал привода механизмов подачи на правой стойке пресса; 13, 15, 26 — тяги; 14 — ось; 16 — шестерня; 17 — вал; 18 — кулак привода подъема и опускания балок; 19–21 — шестерни привода кулаков; 22 и 23 — валы привода продольной подачи балок; 24 — шестерня; 25 — ведомый вал привода подачи; 27 — кулак привода продольной подачи; 28 — предохранительная муфта; 29 — пружинный предохранитель; 30 — демпфер; 31 — регулировочное устройство; 32 — карданный вал; 33 — шестеренная передача; 34 — вал привода подачи; 35 — ведомая шестерня; 36 — муфта выключения; 37 — ведущая шестерня

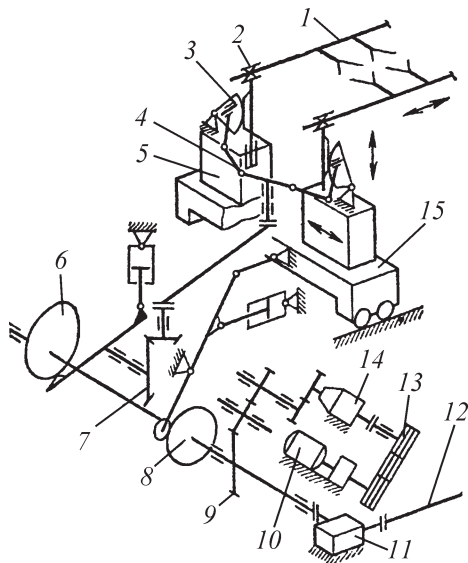
вышает 30 циклов/мин. В большинстве конструкций движения грейферных линеек осуществляются от отдельных кулачковых механизмов единого привода. Переналадка подач сводится к замене и (или) настройке захватов. Грейферные подачи с индивидуальным механическим приводом, с консольными или двухопорными грейферами (рис. 13) могут применяться для автоматизации КГШП с силой 16... 50 МН при штамповке поковок массой до 30 кг с производительностью 8–12 шт./мин. Они более надежны, чем грейферные подачи с гидроприводом, но нужны специальные предо-

хранители от перегрузок. Такие подачи работают в последовательном цикле с прессом.

В табл. 17 приведены данные о современных горячештамповочных установках на базе КГШП, автоматизированных посредством грейферных подач. Каждая установка предназначена для производства определенного типа поковок, на основании которых выбраны параметры соответствующих грейферных подач. Достаточно высокая технологическая универсальность грейферных подач позволяет автоматизировать процессы штамповки основных типов поковок: круглых в плане (фланец), в

Рис. 13. Кинематическая схема грейферной подачи с индивидуальным механическим приводом:

1 — балка; 2 — рейка-опора; 3 — зубчатый сектор; 4 — поворотный рычаг; 5 — ползушка; 6 — кулак привода; 7 — шестеренная передача; 8 — кулак привода продольной подачи; 9 — система шестеренных передач; 10 — электродвигатель; 11 — редуктор угловой; 12 — промежуточный вал; 13 — клиноременная передача; 14 — вариатор; 15 — каретка продольной подачи



том числе штампуемых выдавливанием (корпус шарнира), удлиненной формы (шатун) и сложной асимметричной формы (звено гусеницы).

На основании накопленного опыта эксплуатации автоматизированных КГШП можно считать грейферные подачи с независимым приводом в качестве универсального средства автоматизации многопозиционной (4–5 позиций) штамповки поковок на КГШП номинальной силой 10...63 МН при массе изготавливаемых поковок до 50 кг.

Клещевые подачи, как и грейферные, применяют для межоперационной передачи поковок в штамповом пространстве прессы. Они располагаются с фронта или тыла прессы, имеют автономный привод и систему управ-

17. Поковки, штампуемые на КГШП с грейферными подачами

Поковка		ГКШП			Грейферная подача			Производи- тельность по- ковок, ч
Тип	Масса заготовки, кг	Номиналь- ная сила, МН	Число по- зиций ин- струмента	Шаг, мм	Ход смы- кания, мм	Ход подь- ема, мм		
	Корпус шарнира	2,3	16	4	270	80	120	600
	Шатун	4,8	25	5	230	80	60	720
	Фланец	32	40	4	380	90	85	300
	Звено гусеницы	20,6	63	5	400	110	80	330

ления. Особенностью их конструкции являются управляемые захваты в виде клещей, удерживающих поковку в ориентированном положении при ее передаче по позициям инструмента. Клещи размещены на общем основании и перемещаются вместе с ним по траектории, идентичной траектории линейки рейферной подачи (см. рис. 11, б). Смыкание и размыкание клещей осуществляется от отдельного привода в соответствии с циклом перемещения. Время осуществления цикла работы клещевой подачи больше, чем у сопоставимой рейферной подачи за счет дополнительных движений клещей для захвата поковки, а также из-за необходимости увеличения шага подачи вследствие раскрытия клещей в направлении переноса поковки. Клещевые подачи уступают рейферным подачам по производительности и технологической универсальности, но их преимуществом является открытый доступ к штамповому пространству с фронта или тыла пресса, обеспечивающий беспрепятственную смену и наладку инструмента. Независимость клещевых подач от конструктивного исполнения КГШП позволяет автоматизировать находящиеся в эксплуатации прессы без значительных затрат на их модернизацию, включая и те КГШП, которые не могут быть оснащены рейферными подачами.

Роботы обычно имеют пять-шесть осей перемещений (см. рис. 11, в) и управляются свободно программируемой системой ЧПУ. Они способны выполнять оптимальные движения захватов применительно к характеристикам каждой изготавливаемой поковки, изменять ориентацию поковки в процессе ее передачи по позициям инструмента, например разворот поковки после предварительной гибки. Сменные захватные органы с различными способами захвата поковок по-

зволяют манипулировать поковками любой формы и обеспечивают высокую технологическую универсальность роботизированных КГШП. В отличие от рейферных и клещевых подач роботы применяют и для автоматизации передачи заготовок из нагревательных устройств на первую позицию штампа, а также для укладки поковок в тару в ориентированном положении и в заданном количестве. Поскольку форма заготовки меняется на каждой позиции, для перемещения поковок требуется установка отдельного робота с соответствующими захватами для каждой позиции инструмента. Поэтому роботы используют при ограниченном числе операций (обычно две-три), выполняемых на КГШП. Преимущественной областью их применения являются тяжелые КГШП, на которых осуществляются основные формообразующие операции, а подготовительные и разделительные выносятся на отдельное оборудование — ковочные валцы, обрезающие прессы и т.п. Поскольку в штамповом пространстве пресса обычно находится одна поковка, производительность таких роботизированных установок сравнительно невелика. Например, при изготовлении поковок коленчатых валов массой 20...35 кг производительность роботизированных КГШП составляет 220–280 поковок/ч, что выше, чем при штамповке вручную (180–200 поковок/ч), но ниже, чем при полной автоматизации посредством рейферной подачи (400–450 поковок/ч).

Типовые средства автоматизации КГШП проверены в промышленной эксплуатации, и в ближайшей перспективе возможно дальнейшее расширение их области применения.

Уровень автоматизации КГШП варьируется от простейших устройств для подачи заготовок на первую позицию

штамповки до полностью автоматизированных линий для производства поковок определенного типа.

Штамповочная автоматизированная линия включает загрузчик с магнитной шайбой для подачи заготовок из тары в индукционный нагреватель (см. рис. 7), нагреватель заготовок с системой контроля температуры, манипулятор для передачи нагретых заготовок от индуктора на первую позицию штампа и грейферную подачу для перемещения полуфабрикатов и поковки в пределах рабочего пространства КГШП.

Нагретая заготовка 6 (рис. 14) поступает от индуктора по конвейеру 3 к наклонному лотку 5 в захват 7 манипулятора. Фотодатчик 4 фиксирует захват заготовки и дает команду на срабатывание гидравлического цилиндра 1, который поворачивает рычаг 2 и через тяги 9, 10 и 11 перемещает захва-

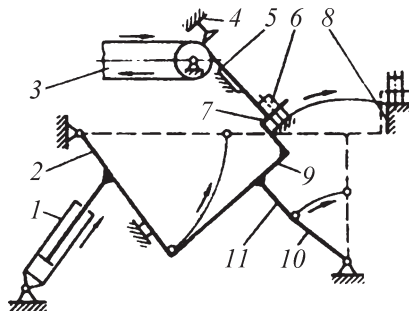


Рис. 14. Манипулятор для подачи заготовок от индуктора на первую позицию штампа

ченную заготовку на первую позицию штампа 8.

Грейферную подачу (рис. 15) крепят к стойкам КГШП. Балки 1 с захватами 2 приводятся в действие гидравлическими и пневматическими цилиндрами через системы тяг, реек, зубчатых секторов по траектории $e-a-b-c-d$. На участке $e-a$ происхо-

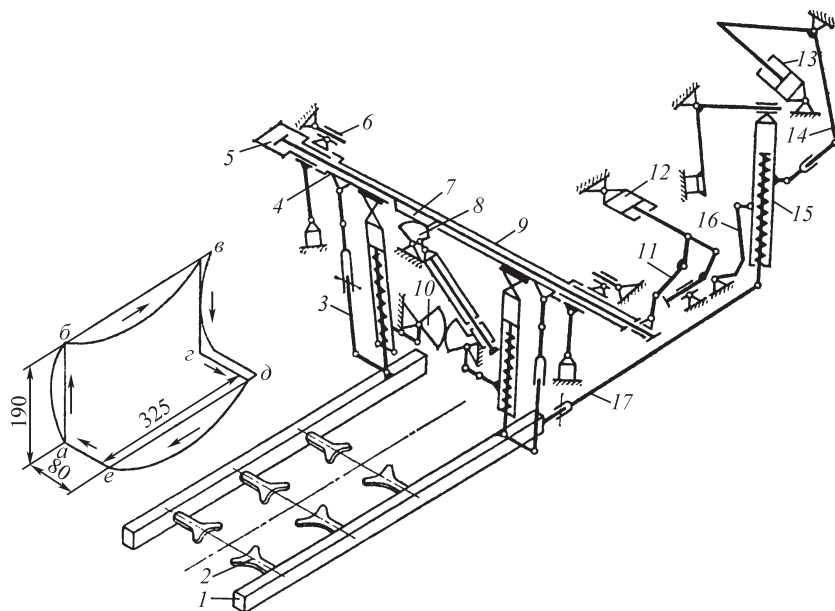


Рис. 15. Кинематическая схема грейферной подачи с гидравлическим приводом:

1 — балка; 2 — захват; 3 — тяга привода подъема и опускания балок; 4 — корпус; 5 — гидроцилиндр привода сближения и разведения балок; 6 — шарнир механизма подъема и опускания; 7 — рейка; 8 — зубчатый сектор; 9 — поперечная тяга; 10 — секторы привода сближения и разведения балок; 11 — коромысло; 12 — гидроцилиндр привода подъема балок; 13 — гидроцилиндр продольной подачи балок; 14 — шарнир; 15 — демпфер; 16 — ограничитель хода; 17 — продольная тяга

дит сведение балок и захват поковки, на участке $a-b$ — подъем поковки из штампа, на участке $b-v$ — перенос в следующий ручей, на участке $v-z$ — опускание поковки в штамп, на участке $z-d$ — разведение балок и освобождение поковки, на участке $d-e$ — возврат балок в исходное положение. Цикл срабатывания составляет 9,1 с. Система управления всеми элементами подачи синхронизирована с системой управления прессом и устройством для смазки штампов. Предусмотрен наладочный режим работы подачи независимо от прессы.

Такую линию на базе КГШП с номинальной силой 16 МН используют для штамповки мелких поволоков массой до 0,5 кг по две штуки в открытых ручьях за три-четыре перехода, включая обрезку облоя, с производительностью до 300 шт/ч.

На автоматизированном КГШП с номинальной силой 40 МН освоено изготовление горячим выдавливанием поволоков массой до 25 кг (цапфы, поворотного кулака автомобиля) с производительностью до 200 шт/ч. При этом были решены технические вопросы увеличения высоты подъема балок грейферной подачи (см. рис. 15), переноса поволоков и полуфабрикатов большой массы, повышения надежности работы системы выталкивания поволоков, а также обеспечения высокой стойкости штампов при интенсивном темпе автоматической штамповки.

Наиболее сложную структуру имеют горячештамповочные линии для производства крупных поволоков удлиненной формы.

Автоматическая линия с КГШП номинальной силой 125 МН, предназначенная для изготовления поволоков коленчатых валов массой до 150 кг и балок передней оси длиной до 2 м, содержит четыре формообразующих аг-

регата, которые связаны между собой рельсовыми тележками.

Мерную заготовку, нагретую в индукционной установке до 1260 °С, захватывает манипулятор ковочных вальцов, в которых за два прохода производят перераспределение металла вдоль оси заготовки. После вальцовки заготовку этим же манипулятором укладывают в фиксированном положении на рельсовую тележку, транспортирующую ее к КГШП.

Робот, размещенный с тыльной стороны КГШП, укладывает заготовку на первую позицию инструмента КГШП, на которой осуществляют гибку (для балки) или пережим (для вала).

У стоек КГШП установлены два робота, захваты которых располагают в боковых окнах станины прессы. Один из них переносит заготовку на вторую позицию предварительной штамповки с разворотом на 90 ° относительно продольной оси заготовки. После предварительной штамповки другой робот переносит поковку на третью позицию для окончательного формообразования, откуда затем передает ее на тележку для транспортировки к КГШП с номинальной силой 16 МН. Пресс оснащен двухпозиционным инструментом для обрезки облоя и калибровки и обслуживается двумя роботами, установленными с передней и тыльной сторон прессы.

Первый робот переносит поковку с тележки на позицию обрезки. При штамповке балки второй робот перекладывает обрезанную поковку в гравюру калибровочной позиции и удаляет ее оттуда на следующую транспортную тележку, выносящую готовую поковку за пределы линии. При штамповке коленчатого вала этот робот переносит обрезанную поковку на тележку для транспортирования поковки к выкрутному прессу силой 2 МН, на котором производят выкрутку ша-

тунных шеек коленчатого вала. Выкрутной пресс обслуживают одним роботом, размещенным с его тыльной стороны. После выкрутки поковку той же тележкой возвращают к прессу силой 16 МН для калибровки.

Все процессы в линии осуществляют последовательно: по окончании одного процесса дают команду на проведение следующего. Система управления — электронная, свободно программируемая; она содержит два канала — управляющий и контролирующий. Оба канала работают параллельно так, что при помехах вследствие разницы в сигналах в этих каналах линия принудительно останавливается и выдается информация о причинах помех.

Производительность линии — 100 поковок/ч при массе исходной заготовки 170...180 кг.

Автоматизация горизонтально-ковочных машин. Автоматизированные ГKM обычно работают в составе технологических штамповочных линий и комплексов. Кинематическая схема переключника для автоматизации горизонтально-ковочной машины с вертикальным разъемом матриц показана на рис. 16. Переключник жестко связан с кинематикой ГKM, чем обеспечивают высокую надежность и производительность работы. Нагретые заготовки подают в ГKM пружинным толкателем 9, расположенным на каретке 7, приводимой в движение кинематической цепью деталей 3—6. Разжим-зажим и вертикальный ход клещей 15 осуществляют от кулаков 14 и 16.

Подачу нагретой заготовки на позицию захвата осуществляют при обратном ходе ползуна ГKM. Клещи также начинают зажиматься при обратном ходе ползуна, но при сомкнутых полуматрицах, удерживающих поковку. Вертикальный рабочий ход закрытых клещей с заготовкой начинается после размыкания полуматриц и

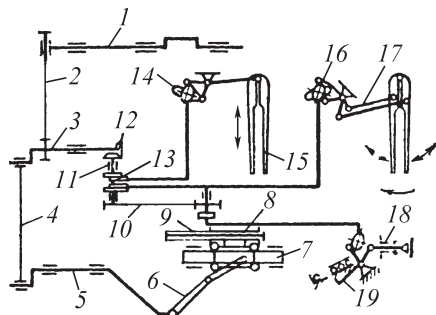


Рис. 16. Кинематическая схема переключника для ГKM с вертикальным разъемом матриц: 1 — главный вал; 2 — цепная передача; 3 — распределительный вал; 4 — кривошипно-шатунный механизм; 5 — промежуточный вал; 6 — двуплечий рычаг; 7 — каретка; 8 — труба; 9 — пружина; 10 — цепная передача; 11 — кулачковый вал; 12 — шестеренная передача; 13 — система кулаков; 14 — кулак привода подъема и опускания клещей; 15 — клещи; 16 — кулак привода сжатия клещей; 17 — рычаги сжатия клещей; 18 — возвратная пружина; 19 — рычаг

завершается к моменту их смыкания и началу рабочего хода главного ползуна. Далее клещи разжимаются и делают обратный ход. Цикл срабатывания клещей около 2,4 с. Производительность автоматизированной штамповки в среднем равна 15 шт/мин.

Кинематическая схема переключника для ГKM с горизонтальным разъемом матриц показана на рис. 17. Переключник типа «шагающая балка» имеет индивидуальный привод; опускание и возврат в исходное положение подающей балки 3 осуществляют от двух синхронно работающих планетарных редукторов 2. Верхний прижим 6 имеет пневмопривод. Из нагревателя заготовку 4 подают на приемную позицию; при подъеме балка захватывается расположенными на ней призмами и при смещении балки вправо и опускании ее заготовку перемещают в первый ручей ГKM. После штамповки балка поднимается и захватывает призмами заготовку, верхний прижим опускается и зажимает заготовку. Совместным дви-

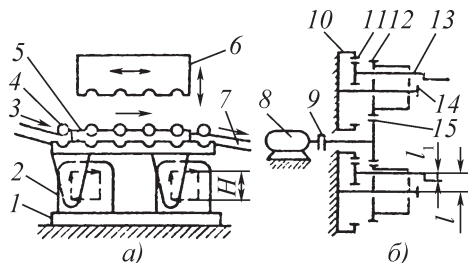


Рис. 17. Схема переключателя для ГКМ с горизонтальным разъемом матриц:

а — положение ручьев; *б* — кинематическая схема привода; 1 — основание; 2 — планетарный редуктор; 3 — подающая балка; 4 — исходная заготовка; 5 — матрица; 6 — верхний прижим; 7 — позиция удаления поковки; 8 — электродвигатель; 9 — предохранительная муфта; 10 — солнечная шестерня планетарного механизма; 11 — сателлит; 12 — ведомая шестерня; 13 — вал с кривошипом; 14 — ось; 15 — ведущая шестерня

жением балки и прижима заготовку перемещают во второй ручей и т.д. Время цикла срабатывания шагающей балки регулируют в пределах 2...8 с. Требуемую последовательность срабатывания ГКМ и механизмов переключателя обеспечивают командоаппаратом.

Смазывание и охлаждение штампов для автоматизированной штамповки. Одно из основных требований к смазочному материалу — хорошая экранящая способность, т.е. способность надежно разделять поверхности деформируемой заготовки и инструмента для уменьшения теплообмена и трения между ними. Правильно подобранные составы смазок и способы их нанесения облегчают заполнение штампов, снижают их износ, способствуют повышению качества продукции и снижению отхода металла.

При горячей штамповке поковок осаждением как в открытых, так и в закрытых штампах применяют водную суспензию графита, соляной раствор с машинным маслом или без масла. В кузнечном производстве ВАЗа применяют бездымную суспензию колло-

идного графита в воде типа «Аквадаг». Бездымные смазочные материалы ОГВ-75, Графитол В2, Градис ОФ используют на кузнечном заводе КамАЗа. Их основным компонентом является графит со средним размером частиц 2...4 мкм. При штамповке выдавливанием применяют графитомасляные смеси, растворы сульфито-щелочной барды, при штамповке поковок клапанов — смазки типа Укринол-7.

Смазочные материалы на масляной основе применяют при температурах штампа более 250 °С. При низких скоростях деформирования, малой массе поковок и относительно холодных штампах (до 250 °С) предпочтительнее водные суспензии графита тонкого помола с размером частиц 5...10 мкм. Соотношение воды и графита в суспензии от 1 : 10 до 1 : 40.

Установки для смазывания штампов состоят из емкости для смазочного материала, где он постоянно перемешивается для равномерного распределения графита по всему объему, системы сопел с трубопроводами и системы управления. Сопла могут крепиться на штамповых вставках либо на подвижных органах средств автоматизации. Перед нанесением смазочного материала осуществляется сдув окалины сжатым воздухом. На рис. 18 представлена схема установки фирмы «Ачесон» (США), используемой совместно с автоматизированным КГШП. Такие установки обеспечивают подачу смазочных аэрозолей высокой степени дисперсности, вплоть до тумана. Предварительно подготовленную смазочную смесь заливают в бак высокого давления 1 через горловину 8 и постоянно перемешивают ее пневмомешалкой 7. Сжатый воздух по магистрали 6 поступает в бак 1 через клапан 5 и в нужный момент подается через электромагнитные клапаны 4 к штампам для их обдува от окалины. Смазочную смесь из бака 1 подают по трубопроводу 2 через клапан

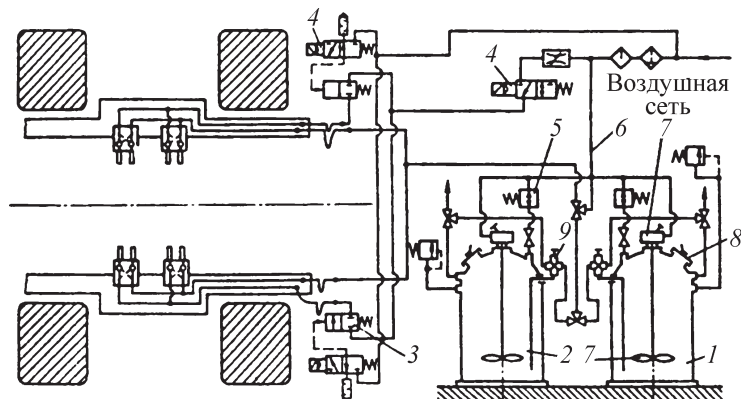


Рис. 18. Схема установки для смазывания штампов

9 и электромагнитный клапан управления 3 к распылительным головкам. Возможна подача воды для промывки системы после каждого цикла срабатывания.

Автоматизация и механизация обрезки облоя. При комплексной автоматизации и механизации процессов горячей штамповки обрезку облоя проводят на обрезной позиции штампа автоматизированного КГШП или на отдельном обрезном прессе, который встраивают в поточную линию. Обрезку облоя и пробивку отверстий в поковках целесообразно проводить в комбинированных штампах за один ход пресса, что упрощает конструкцию средств автоматизации и повышает надежность их работы. Основными операциями, подлежащими автоматизации и механизации, являются транспортирование поковки от штамповочной машины к обрезному прессу, захват поковки и укладка ее в ориентированном положении (в ряде случаев с поворотом на 180°) на обрезную матрицу и затем удаление облоя и поковки в отдельную тару.

Передачу поковок к обрезному прессу производят посредством конвейеров, роботов или рельсовых тележек.

Если требуется калибровка (объемная правка) поковок, то обрезку облоя и калибровку производят в двухпозиционном штампе на отдельном прес-

се, оснащенном роботами для укладки поковки на позицию обрезки, передачи ее на калибровочную позицию и для последующего удаления.

Простейшими устройствами для удаления поковок и облоя из зоны обрезного штампа являются механические рычажные сбрасыватели лоткового типа. При их применении обрезные матрицы располагают сверху, и поковки после обрезки облоя и пробивки перемычки выдают из верхней части штампа. На рис. 19 показан лотковый сбрасыватель с приводом от ползуна 5 пресса через систему рычагов 6. При подъеме ползуна после обрезки облоя пуансоном 1 лоток 2 подходит под матрицу 3, из ко-

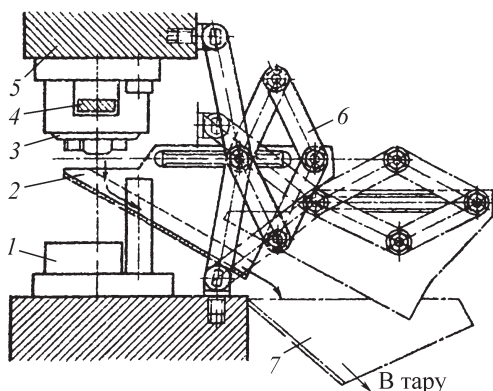


Рис. 19. Лотковое выносящее устройство

торой выталкиватель, упираясь в планку 4, удаляет поковку, и она падает на дно подвижного лотка 2. При последующем опускании ползуна лоток отводится назад и сбрасывает поковку на не подвижный лоток 7, по которому она попадает в тару или на транспортер.

В ряде случаев для удаления поковок и облоя массой до 2 кг из штампа в тару возможно применение пневмосдува. При этом поковка проваливается при обрезке облоя сквозь матрицу на стол пресса и через окно в нижней плите штампа сдувается на склиз, с которого поступает в тару для поковок. Облой остается на поверхности обрезной матрицы и также сдувается на другой склиз и с него в тару для отходов.

Давление сжатого воздуха в сети пневмосдува 4 МПа, время действия воздушной струи 2...3 с.

3. АВТОМАТИЗАЦИЯ И МЕХАНИЗАЦИЯ ХОЛОДНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

Классификация автоматических линий кузнечно-прессовых цехов

В зависимости от вида оборудования кузнечно-прессовые цехи комплектуют автоматическими линиями, созданными на базе:

- универсальных кузнечных прессов, автоматов и специальных агрегатов;

- однопозиционных высадочных автоматов и специальных агрегатов;

- многопозиционных и однопозиционных высадочных автоматов и специальных агрегатов;

- многопозиционных высадочных автоматов и специальных агрегатов;

- автоматов-комбайнов и специальных агрегатов;

- роторных автоматических комплексов (одно- и многономенклатурного профиля);

прессов-автоматов и промышленных роботов.

Целевое назначение автоматических линий различно: они предназначены для производства штуцеров, колпачков и крепежных изделий.

Автоматические линии и комплексы могут быть спроектированы с учетом создания отделения производства изделий с законченным циклом обработки, включающим оборудование:

- заготовительное, формообразующее, для разделительных операций, накатывающее (т.е. оборудование для изготовления изделий);

- термическое и оборудование для создания покрытий (т.е. оборудование для придания изделиям определенных свойств в соответствии с техническими требованиями заказчика);

- для сборки изделий (например, болт — гайка, винт — шайба), а также для консервации, взвешивания, упаковки изделий (т.е. оборудование для придания изделиям товарного вида и возможности транспортирования).

Однако технические требования заказчика не исключают возможности создания автоматических линий и комплексов с незаконченным циклом обработки, т.е. из линий, состоящих из оборудования заготовительного, формообразующего, для разделительных операций, накатывающего и специальных агрегатов для консервации и упаковки.

Расположение оборудования в автоматических линиях и комплексах должно отвечать следующим условиям: удобству обслуживания и ремонта; возможности многостаночного обслуживания; простоте вспомогательных транспортных устройств; соблюдению безопасности труда и санитарно-гигиенических требований, сокращению производственных площадей. С этих позиций проанализируем основные типы планировки автоматических линий. Наиболее распространена последовательная пла-

нировка. Для нее характерно последовательное размещение (друг за другом) автоматического оборудования, что обеспечивает наименьшее использование производственной площади, удобство наладки и переналадки, обслуживания и ремонта, максимальное соблюдение норм безопасности труда. Однако данная линия очень растянута и не позволяет осуществлять многостаночное обслуживание. Линия с Г-образным размещением оборудования менее растянута, однако она не отвечает требованиям удобства обслуживания транспортными средствами цеха. Линия с L-образным размещением оборудования позволяет осуществлять многостаночное обслуживание, но затрудняет доступ к отдельным агрегатам, П-образное размещение практически имеет те же недостатки, что и Т-образное. При данной планировке также возникают затруднения с соблюдением норм безопасности труда из-за близкого расположения оборудования друг к другу.

По виду транспортировки заготовки от одного автомата к другому автоматические линии разбиваются на последовательные и параллельные. Последовательные автоматические линии, в свою очередь, разделяются на линии с жесткой связью между оборудованием с межоперационным запасом заготовок и без него и линии с гибкой связью между оборудованием с межоперационным запасом заготовок. Параллельные автоматические линии обязательно имеют гибкую связь и обладают межоперационным запасом заготовок. В настоящее время последовательность передачи заготовок на линиях с жесткой связью при отсутствии межоперационного запаса заготовок свойственна только собственно высадочным автоматам, механизм переноса которых передает заготовку с позиции на позицию. При передаче заготовок с одного автомата на другой, выполняющий технологиче-

ские функции, последовательная связь с помощью конвейера дополняется наличием межоперационного запаса заготовок. Если межоперационный запас обеспечивается только конвейером, не обладающим возможностью накапливать заготовки, то между автоматами устанавливается жесткая связь. В тех случаях, когда запас заготовок обеспечивается их накоплением в бункерах, связь становится гибкой. При объединении группы автоматов для объемной холодной штамповки, выполняющих одинаковые технологические функции (обрезанные, резьбонакатные, гайконарезные), общий конвейер питает бункер каждого из автоматов, выдающих отштампованные заготовки на общий конвейер выдачи заготовок к следующему оборудованию. В самом общем виде современные автоматические линии представляют последовательное поточное производство с включением расположенного параллельно оборудования.

На рис. 20 представлена автоматическая линия для производства болтов. Линия состоит из многопозиционного автомата 13, накатного устройства 8, функциональных элементов — бункера 9, правильных роликов 14, конвейера 12, установленного на тумбе 19, склиза 10, ковшей 11 и 17, закрепленных на цепи 18 и звездочке 20, приемного лотка 16; вспомогательного оборудования — размоточного устройства 15, конвейера, передающего заготовки на следующую линию. Конвейер состоит из движущихся по направляющим 1 и 3 тележек 6 на ходовых колесах 2, 5. На рабочей ветви 4 на платформу устанавливается тара 7, в которую сыпаются готовые изделия. Принцип работы линии следующий: с помощью крана на размоточное устройство устанавливается бунтовой материал. Конец проволоки направляется в правильное устройство автомата и

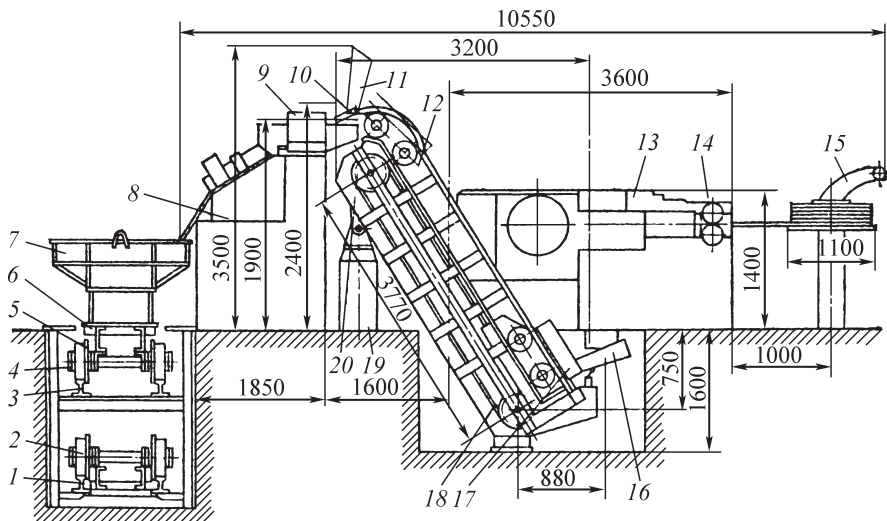


Рис. 20. Автоматическая линия для производства болтов

после правки идет на линию отрезки и далее к высадочным позициям автомата. Отштампованная заготовка через лоток попадает на конвейер и из него в бункер резьбонакатного автомата. После накатки резьбы изделие по склuzu попадает в тару.

По общему построению данная линия относится к автоматическим линиям из многопозиционных автоматов и специальных агрегатов. По целевому назначению линия — болтовая: планировка линии — последовательная с незаконченным циклом. Наличие бункера и лоткового конвейера-накопителя превращает данную линию в линию с гибкой связью.

Функциональные элементы автоматических линий и комплексов

Автоматическая линия и комплекс состоят из оборудования для объемной холодной штамповки, функциональных элементов, объединяющих оборудование в линию, и вспомогательного оборудования. В зависимости от вида заготовки функциональные элементы имеют определенную структуру. При штучных заготовках функциональные

элементы состоят из следующих устройств: транспортирующих бункерно-ориентирующих, магазинных и встроенных в оборудование.

При прутковых и бункерных заготовках функциональные элементы включают устройства: транспортирующие, накопительно-ориентирующие, калибрующие, правильно-задающие и встроенные в оборудование.

Транспортирующие устройства состоят из конвейеров, роликовых конвейеров, раздаточных устройств, которые могут работать совместно с линией, а также по автономному режиму.

Бункерно-ориентирующие устройства состоят из бункера и ориентатора. Аналогичные им по функции накопительно-ориентирующие устройства бунтовых и прутковых заготовок включают стеллажи-накопители, ориентаторы, и направляющие.

Магазинные устройства состоят из магазинов, механизмов автоматического включения-выключения, отсекателей, питателей.

Калибрующие устройства служат для калибровки металла перед подачей в автомат.

Правильно-задающее устройство позволяет отрезать передний дефектный конец материала и править его перед подачей в автомат.

Встроенные в оборудование устройства имеют многоцелевое назначение: для отключения подачи металла, захвата полуфабрикатов и их переноса, заталкивания (выталкивания) заготовок в технологический инструмент и т.д.

Бункерно-ориентирующее устройство (рис. 21) состоит из бункера 1, захватного органа 5, ориентирующего механизма 2, механизма сброса (отвода) 3 избыточных заготовок лотка 4 и привода 6 захватного органа.

Захватные органы конструктивно оформляются в виде: вырезов определенной формы на доске, перемещающейся в бункере, крючков, штырей, труб и т.д.

Форма захвата зависит от конфигурации заготовки. Для захвата болтов, винтов, шурупов, т.е. заготовок с головками, применяют щелевые захваты. На рис. 22 показан дисковый щелевой механизм, состоящий из бункера 1 и вращающегося диска 2, опирающегося на три ролика 6. Щелевой захват состоит из кольца 3 и диска 2, захватывающего заготовку прижимами (собачками) 4, перемещающими заготовку в приемник 5. Ширина щели выполняется несколько большей диаметра стержня заготовки, но меньше диаметра головки. Захват,

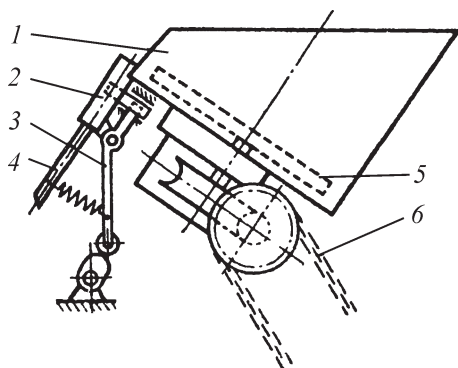


Рис. 21. Бункерно-ориентирующее устройство

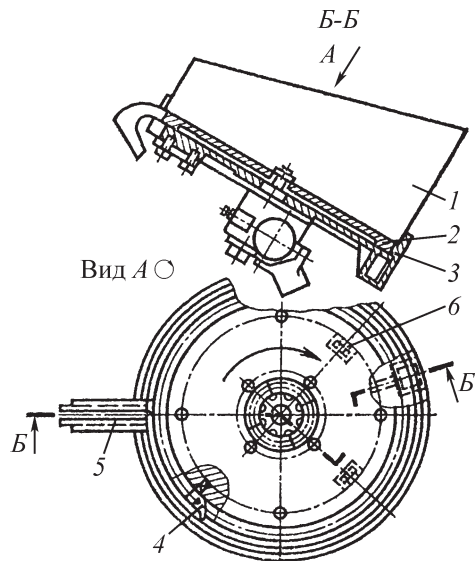


Рис. 22. Дисково-щелевой механизм

выполненный в виде полого сектора, при качательном движении в нижнем положении захватывает между двумя станками заготовку, которая в верхнем положении под действием силы тяжести соскальзывает в лоток. Чаще применяют конструкцию захватного органа в виде доски (шибера), совершающего возвратно-поступательное движение (рис. 23). На торцовую поверхность доски 1 при ее нижнем положении падают заготовки из бункера 2; при под-

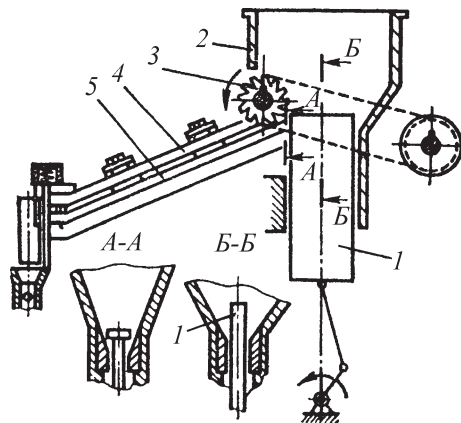


Рис. 23. Шибера́ный захват

нятии доски вверх заготовки, лежащие на ее торце, сталкиваются в направляющие 5 лотка. Неправильно сориентированные заготовки звездочкой 3 сбиваются обратно в бункер. Положение заготовок по высоте ограничивается в лотке планкой 4.

Цилиндрические заготовки, имеющие отверстия (гайки, шайбы), захватываются крючками и штырями. В нижнем положении заготовка надевается на крючок (штырь), а в верхнем положении соскальзывает в приемный лоток.

Захватный орган и ориентирующий механизм могут компоноваться в одной конструкции. Например, крючковым захватом гайка или шайба захватывается за отверстие и центрируется по отверстию. При автономной компоновке этих механизмов ориентирующим механизмом используются особенности формы или положения центра тяжести заготовки. Для ориентирования заготовок гаек в бункере резбонакатного автомата используется следующая конструкция. Захватывающий крючок располагается по периферии вращающегося бункера, что позволяет гайкам нанизываться на острый конец крючка и передвигаться вдоль оси крючка под действием давления от последующих нанизанных гаек. Движение гаек по крючку достигается принудительным перемещением их вращающимися пластмассовыми роликами. Производительность такого механизма не более 60 шт./мин.

Большую производительность обеспечивает механизм ориентирования с щелевым качающимся сектором, расположенным на дне бункера. Касательное движение сектора способствует ворошению заготовок и сбрасыванию их в направляющие лотка при верхнем положении сектора. Секторное грузозахватное устройство состоит из бункера, качающегося сектора, привода, сбрасывателя, лотка и заслонки.

Расстояние между щеками сектора принимается равным $1,05 \dots 1,15$ диаметра стержней крепежных изделий и обеспечивает стабильное попадание стержней изделий в сектор с опорой по их торцу. В зоне перед захватом изделий сектором бункер перегороден заслонкой, чтобы уменьшить их поток над сектором и обеспечить спокойную работу привода. Из сектора по лотку сориентированные изделия перемещаются к питателю. Для предотвращения перегрузки питателя предусмотрен сбрасыватель. Как правило, сбрасыватели конструктивно выполняются в виде щитков, закрепленных над сектором. Технические характеристики бункерно-ориентирующих устройств приведены в табл. 18.

Для автоматов с повышенным числом ходов (>200 ход/мин) более предпочтительны роторные бункера (рис. 24). Бункер состоит из корпуса 3, в котором размещены захваты 5, закрепленные на круглом диске с зубчатым венцом 4, посредством которого осуществляется вращение захватов. Вращающийся диск установлен на валу 8 в подшипниках 10. Бункер закрыт крышкой 9. При вращении диска заготовки попадают в захваты и перемещаются вверх, затем они попадают в ориентирующие направляющие, состоящие из планок 6 и 7 со скошенными поверхностями (для облегчения попадания

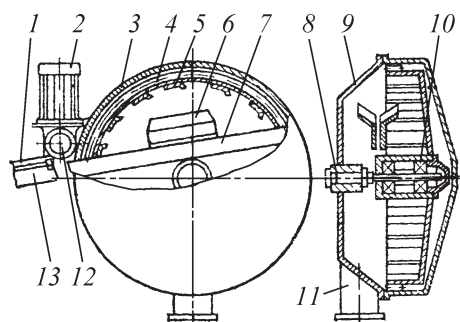


Рис. 24. Роторный бункер

18. Технические характеристики бункерно-ориентирующих устройств

Бункерно-ориентирующее устройство	Область применения	Число захватных органов или ориентирующих механизмов	Средняя производительность захватного органа шт./мин	Коэффициент вероятности захвата
Крючковое с радиальным наружным расположением крючков по окружности вращающегося диска	Для стаканов, колпачков, трубок при толщине стенок более 0,3 мм и длине заготовок большей, чем их диаметр	9...12	60...70	0,5...0,6
Штыревое с возвратно-поступательным движением захватного органа	Для стаканов, трубок, стержневых изделий с головками	1	50...70	0,3
Карманное	Для цилиндрических заготовок с центром тяжести, смещенным с оси	20...32	180...250	0,6...0,8
Зубчатое	Для цилиндрических заготовок с центром тяжести, смещенным к доньшку	30...70	180...200	0,6...0,8
Секторное	Для болтов, заклепок, винтов	—	120...130	0,5...0,6
Бункерно-щелевое	То же	20...50	200...250	0,5...0,6
Лопастное	Для гаек, заготовок с гранями	4...12	150...200	0,4...0,6

на них заготовок). Под действием силы тяжести заготовки ориентируются на направляющих планках. Лишние заготовки звездочкой 12 с приводом 2 сбиваются с направляющих обратно в бункер. Заготовки, попавшие в лоток 13, с помощью планки 1 получают строго ориентированное по высоте положение. Бункер крепится на кронштейне 11.

Широко применяют также вибрационные лотки. На вибропривод монтируется чаша, к которой присоединяется ориентирующее устройство. Технические характеристики вибропривода и чаши приведены в табл. 19 и 20.

Промежуточным звеном между бункерно-ориентирующим устройством и питателем являются лотки 1 (рис. 25), которые выполняют не только функцию транспортирования, но и синхронизируют производительность обо-

дования с бункерно-ориентирующим устройством. Как правило, применяют щелевые и винтовые лотки. Щелевой лоток имеет два участка: прямолинейный и криволинейный. Чтобы заготовки не выпадали, сверху лоток огорожен предохранительным щитком 2. При прохождении под щитком головка заготовки центрируется между ним и направляющими и постепенно занимает горизонтальное положение, необходимое для ее последующей обработки.

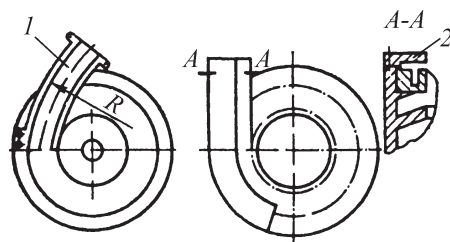
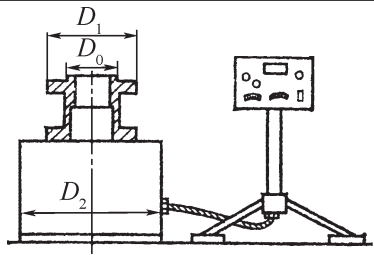


Рис. 25. Чаша с лотками

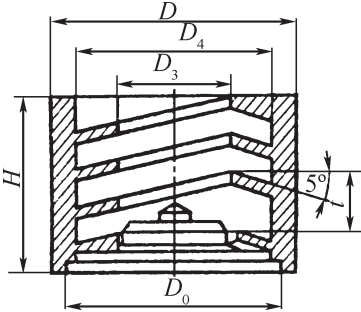
19. Технические характеристики вибропривода



Типоразмер	Наибольшая масса загрузки чаши, кг	D_0	D_1	D_2	Амплитуда колебаний, мм		Угол сдвига колебаний, °	Наибольшая скорость эталона, м/с	Масса, кг	Мощность привода, кВт	Номинальный диаметр чаши, мм
		мм			вертикальные	горизонтальные					
ВПУ-160	1,5...3	54	72	163	1,6	0,7	0...360	350	10	0,03	160
ВПУ-250	5...10	75	120	253	2,5	0,7		550	34	0,09	250
ВПУ-400	15...25	130	200	410	4,0	1,0		800	100	0,48	400
ВПУ-630	45	200	300	633	6,3	1,0		1000	320	1,5	630

20. Технические характеристики чаши

Размеры чаши, мм

	Номинальный диаметр чаши, D	D_4	D_3	H	t
	160	168	130	60	18
	250	260	250	100	32
	400	410	320	160	48
	630	645	500	250	64
Примечание. D_0 — посадочный размер (см. табл. 19).					

Магазинные загрузочные устройства являются переходной ступенью от бункерно-ориентирующего устройства к рабочим органам высадочного прессы-автомата. Они состоят из магазинов, отсекающих с приводом и питателей. Движение заготовок осуществляется под действием их силы тяжести, пружин, цепей, дисков и т.п. Трущиеся направляющие магазинов должны после

термической обработки иметь высокое качество поверхности. Для удобства обслуживания направляющие стенки в зависимости от размера заготовок могут регулироваться по ширине зазора. При работе автомата с магазинным загрузочным устройством общий цикл их работы состоит из следующих этапов: подачи заготовок из магазина на рабочую позицию; передачи заготовки в за-

жимы автомата; закрепления заготовки; обратного хода заталкивателя; обратного хода питателя; рабочих операций (как правило, они совмещены с выдачей следующей заготовки из магазина в питатель); разжатия обработанной заготовки; выталкивания заготовки из рабочей позиции.

Отсекатели, питатели, захватные механизмы являются необходимыми элементами автоматических линий. Для четкой работы автомата число подаваемых заготовок регулируется отсекателем, который отделяет от общего потока необходимое число заготовок и передает их в питатель.

Классификация отсекателей производится по характеру движения. При поступательном движении отсекатель своей поверхностью перекрывает доступ заготовки из магазина к рабочим органам автомата. Наличие обратного хода у таких отсекателей снижает их производительность до 80–100 шт./мин. При колебательном движении отсекателя его производительность несколько повышается. При качательном движении отсекатель выполняется в виде скобы, ось которой шарнирно закреплена по линии потока заготовок.

На концах скобы поперечно движению заготовок установлены разделители (планки и штифты), причем разделитель одного плеча скобы отодвинут от второго разделителя, закрепленного на другом плече, на размер заготовки. При качании скобы вначале весь поток перегораживается дальним отделителем, а затем при переброске скобы в другое положение от потока вторым штифтом отделяется одна заготовка, а остальные перекрываются, после чего цикл повторяется. При вращательном движении отсекателя достигается наибольшая производительность автомата из-за отсутствия при подаче заготовок холостых ходов. Как правило, отсекатель блокируется с пи-

тателем, который служит для непосредственной подачи заготовок из лотка к рабочим позициям автомата.

Питатель имеет захват для удержания заготовки при переносе ее на рабочую позицию или с одной позиции на другую. Аналогично приводу отсекателя конструкции питателей определяются характером их движения. При поступательном движении питатель выполняется в виде ползушки, в захватах которой закрепляется заготовка. На рис. 26 показан поворотный и поступательный питатели автомата А2322А. Заготовки поступают с наклонного направляющего аппарата 1 в питатель 2 поступательного типа, перемещающийся от кулачка 8 с помощью рычагов 4, 5, 7 и пружины 6. Заготовка из поворотного питателя захватами 12 с пружиной 13 поворотного питателя перемещается к матрице 14. Перемещение питателя обеспечивает кулачок через рычаги 9, 10 и пружину 11. Поступательный фиксатор 3 ограничивает положение питателя 2. Иногда функции питателя выполняет магазин, и тогда ему придается движение к рабочим позициям и он снабжается захватом.

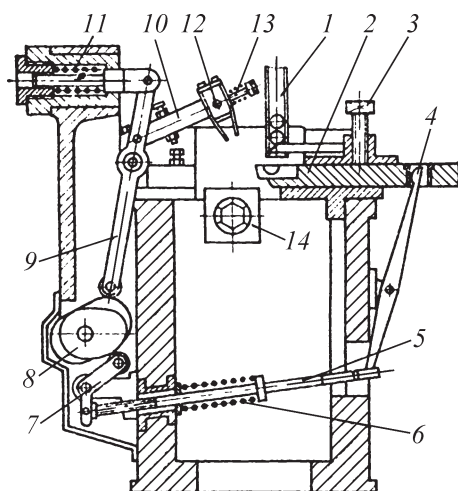


Рис. 26. Конструкция поворотного и поступательного питателей

Наиболее производительны питатели вращательного движения, выполненные в виде дисков с вырезами для заготовок, цепей с захватами и устройствами в виде револьверных подач. При этом большое внимание уделяется необходимости точного удержания или фиксирования заготовок.

Захватные механизмы классифицируются по способу выборки заготовок из лотков и крепления их в захвате при транспортировке на рабочую позицию. Они делятся на три группы:

пазовые в виде призмы, полукруга, круглой выточки; в них заготовки попадают под действием силы тяжести или задающего устройства;

клещевые, с захватом по наружной поверхности заготовок;

стержневые, с захватом заготовок по внутренней поверхности.

Эти механизмы широко применяют в высадочных автоматах для холодной объемной штамповки.

Транспортирующие устройства — это различного рода конвейеры; цепные, скребковые, шнековые, вибрационные.

Обычно для заготовок размером менее 12 мм используют цепно-скребковые конвейеры, свыше — другие типы. Технические характеристики стандартных цепно-скребковых конвейеров приведены в табл. 21.

На рис. 27 изображены цепной бункер и направляющие линейки к оборудованию. От электродвигателя через червячный редуктор приводятся в дви-

21. Технические характеристики цепно-скребковых конвейеров

Модификация	Скорость, м/с	Высота выдачи полуфабриката, мм	Производительность, шт./мин	Габаритные размеры (длина×ширина×высота), мм
I	0,15	1285...1710	400...2000	(1465...1905)×708×(1190...2330)
II		1480...1990	400...2000	1540×(2110...2190)×2520

Масса, кг	Диаметр полуфабрикатов, мм			Длина полуфабриката, мм
	Болт	Винт	Гайка	
317	6...12	4...6	8...12	10...145
326	6...12	4...6	8...12	10...145

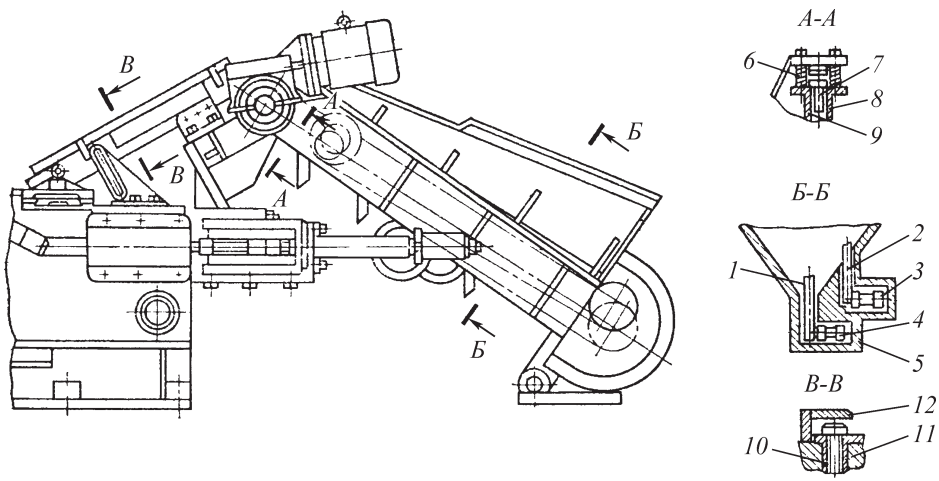


Рис. 27. Цепной бункер и направляющие линейки

жение две цепи 3 и 4 для перемещения пальцев ворошителей 2 и питателей 1, которые к ним жестко прикреплены. Скорость цепи ворошителя несколько превышает скорость цепи питателя, а их положение задают направляющие 5. Ворошитель располагается над питателем и заставляет заготовку принять строго ориентированное положение, когда головка заготовки 7 располагается на торце направляющих 8 и 9, а стержень заготовки между ними. При неправильном положении болтов пружины 6 сбрасывают их. После подъема на заданную высоту одиночные заготовки поступают по линейкам 10, 11 в оборудование под действием силы тяжести. Положение заготовки по высоте регулируется планкой 12.

Для связи бункеров в автоматических линиях и комплексах применяют шнековый конвейер (рис. 28). Основу конвейера составляют шнек 6 и труба 2, вращающаяся на бандажах 3 по опорным роликам 4, закрепленным на кронштейнах 5. Вращение трубе придает электродвигатель 8 через открытую коническую передачу 7. Система крепится на опорах 9, 10, 11 и закрывается ограждением 1.

При большей высоте выдачи может быть применен ковшовый элеватор или

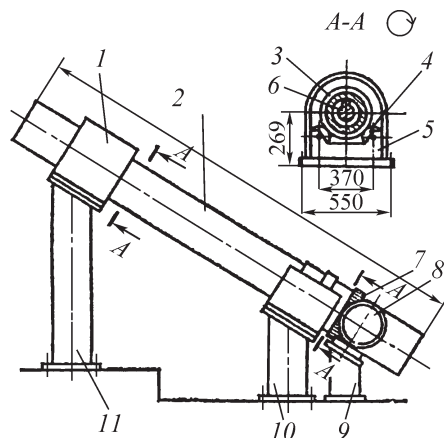


Рис. 28. Шнековый конвейер

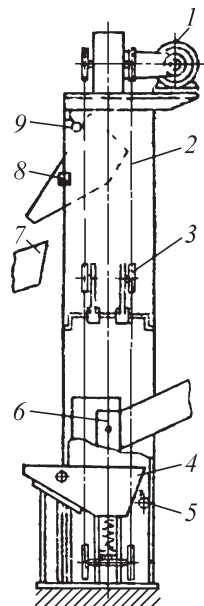


Рис. 29. Ковшовый подъемник

подъемник. На рис. 29 показан ковшовый подъемник. Он состоит из привода 1, перемещающего на цепях 2 шарнирно закрепленные ковши 4. Для натяжения цепей применяются регулировочные звездочки 3. Нижнее положение ковша обеспечивают пружинные опоры. При определенном сжатии пружин, характеризующем заданную массу заготовки в ковше, срабатывает конечный выключатель 5, и ковши, заполненные через лоток 6, поднимаются в верхнее положение до контакта 9. В этом положении ковш 4 контактирует вокруг опоры 8 и заготовки ссыпаются в направляющие 7 следующего автомата.

Технические характеристики конвейера

Диаметр заготовок, мм	6...12
Длина заготовок, мм	До 145
Наибольшая высота выдачи заготовок, мм	2670
Наибольшая длина транспортера, мм	6000
Производительность, шт./мин	400...2000
Габаритные размеры, мм:	
длина	5500
ширина	600
Масса, кг	420

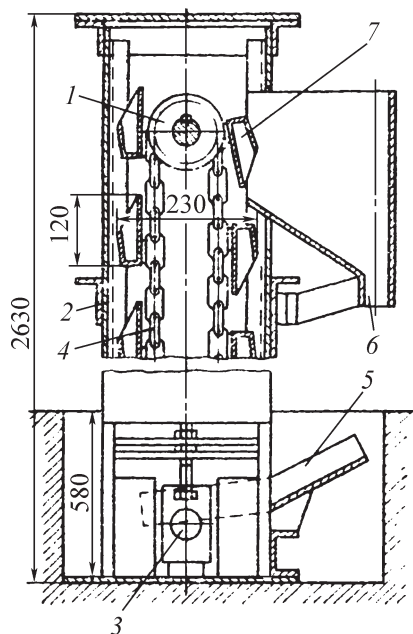


Рис. 30. Ковшовый элеватор

При большей производительности используется ковшовый элеватор (рис. 30). На цепях 4 закрепляются ковши 7. Цепь висит на звездочках 1, и ее натяжение регулируется станцией 3. Вся система смонтирована в корпусе 2. При этом загрузка заготовок производится через желоб 5, выгрузка — через бункер 6.

На рис. 31 показан элемент горизонтального виброконвейера, состоящего из путепровода 1, прикрепленного к фун-

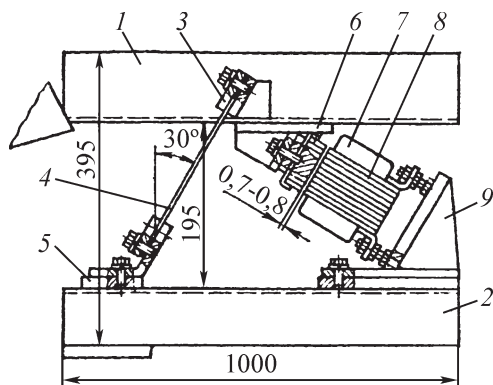


Рис. 31. Элемент горизонтального виброконвейера

даментной балке 2 на пружинных лапках 4 с помощью амортизирующих резиновых накладок 5. Закрепление пружин к путепроводу обеспечивается накладками 3. Привод вибратора осуществляют якорь 6 и катушка электромагнита 7 с сердечником 8, которые крепятся к кронштейну 9. Общая длина виброконвейера может достигать 5 м при работе с двумя электромагнитами с питанием от сети переменного тока напряжением 220 В и частотой колебаний 60 Гц.

Вспомогательное оборудование

Используемый для автоматов холодной объемной штамповки материал при диаметре до 20 мм применяется в виде бунтовой проволоки; при диаметре свыше 20 мм — в виде прутков. Это предъявляет определенные требования к выбору вспомогательного оборудования. При бунтовом материале применяют фигурки и правильно-задающие устройства; при прутковом — в автоматическую линию включаются стеллажи. Для калибровки металла применяют калибрующие машины.

На рис. 32 показана фигурка для бунтового материала, применяемого в кузнечно-прессовых цехах для холодной

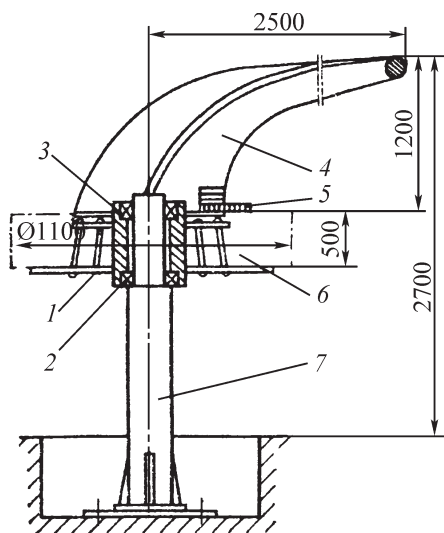


Рис. 32. Фигурка для бунтового материала

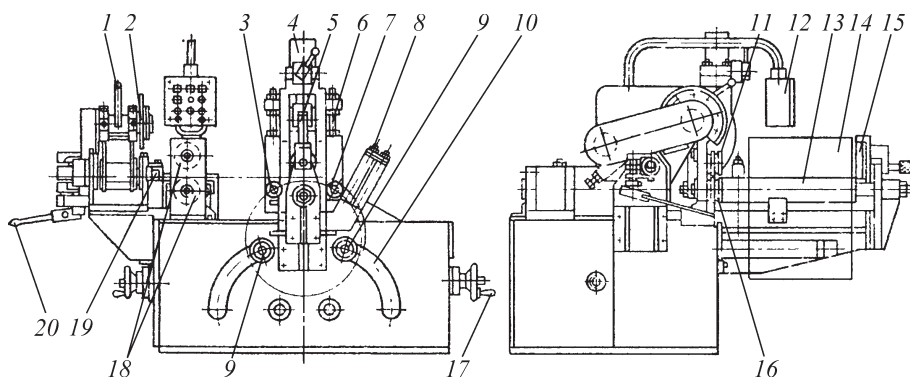


Рис. 33. Правильно-задающие устройства

объемной штамповки. На стойке 7 расположена вращающаяся катушка 1, сидящая на подшипниках 2 и 3. Бунт 6 с помощью крана подается через рог 4 на катушку и фиксируется упором 5. Для высадки изделий менее 10 мм фигурка состоит из двух частей. Верхняя часть может занимать горизонтальное

положение для удобства заправки бунта, а затем поворачиваться в вертикальное положение и фиксироваться.

Правильно-задающее устройство (ПЗУ), показанное на рис. 33, служит для правки бунтового материала, отрезки переднего дефектного конца и подачи бунтового материала в автомат.

Технические характеристики двух модификаций ПЗУ

	ПЗУ-1	ПЗУ-2
Наибольший диаметр бунта, мм, при прочности материала, МПа:		
800	16	32
до 500	20	—
Диаметр бунта, мм:		
наружный	1000...1400	1000...1400
внутренний	200...500	600...120
Масса бунта, кг	100...500	100...500
Скорость подачи, м/мин	9	6,6
Мощность двигателя, кВт	5,2	—
Габаритные размеры, мм:		
длина	2250	2590
ширина	2100	2415
высота	1570	1836
Масса, кг	2800	4028

Бунт 14 (см. рис. 33) с помощью крана надевается на основную опору 13. Центровка бунта осуществляется с помощью роликов 9, передвигающихся в пазах 10 маховиком регулировки 17. Горизонтальное положение бунта ограничивается вертикальными роликами 15. Заправочный конец проволоки подается роликами 8, отгибавшими проволоку для подачи в правильное устройство 5.

Оно состоит из приводных обжимных роликов 11, 16; для распрямления концов используются ролики 3 и 7, которые можно настраивать по вертикали с помощью винтов 6, что обеспечивает необходимый радиус кривизны правки. Привод правильного устройства осуществляется электродвигателем постоянного тока через червячный редактор, цепную передачу и открытую зубчатую пару.

Для осуществления поджима прутков верхняя часть корпуса с верхним роликом шарнирно соединена с нижней частью корпуса, в котором размещен нижний ролик. Поджим производится гидроцилиндром 4. После правильного устройства прутки проходят в направляющие холостые валки 18 и через них в механизм зажима 19, состоящий из двух ползушек с зажимными призмами. В зависимости от типа ПЗУ зажим дефектного конца осуществляется вручную (ПЗУ-1) или пневматическим цилиндром (ПЗУ-2). При этом зажимающие призмы центрируются в общих направляющих и через систему качающихся рычагов получают перемещение от своего привода. Отрезку дефектного прутка и снятие фаски осуществляют головкой, имеющей качательное движение и осевое перемещение. Привод головки получает от электродвигателя через клиноременную передачу. На валу головки размещен абразивный диск 2. Наклоном всей головки с помощью рычага поперечной подачи 1 происходит отрезка дефектного конца. Подрезка фаски осуществляется двумя резцами, расположенными у оси абразивного диска и получающими вращательное движение от общего привода. Осевое перемещение головки обеспечивает каретка от рычага продольной подачи 20. Подготовленная таким образом проволока подается в автомат. Пульт управления 12 правильно-задающим устройством вынесен на его фронтальную поверхность.

Для подачи прутковых материалов используются автоматизированные стеллажи мод. СА-13 и СА-5. Стеллаж СА-13 для подачи прутков изображен на рис. 34.

Стеллаж состоит из сварной рамы 1, горизонтального цепного транспортера 2, состоящего из трех тяговых цепей и соответственно трех толкателей. Вертикальный подъем прутков обеспечива-

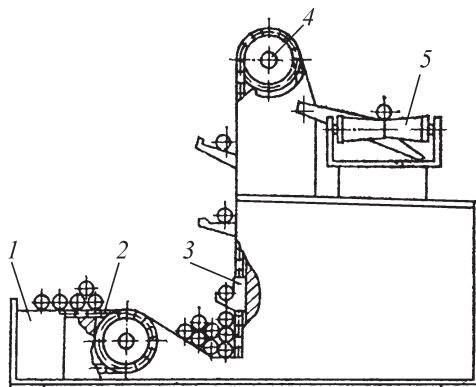


Рис. 34. Автоматизированный стеллаж СА-13

ет механизм захвата и механизм подъема 3, смонтированный в трех стойках, которые могут перемещаться по раме в зависимости от длины прутков. Привод подъема создает электродвигатель через редуктор и общий распределительный вал 4. Крючковое устройство механизма захвата поднимает прутки сначала с одной стороны, при этом отсекающий препятствует подъему других прутков. Поднятый прутки сбрасываются на упор и захватываются с него подъемными крючками, выравнивающими положение прутка, после чего прутки падают на рольганг 5, приводимый от двигателя через червячный редуктор и цепную передачу. Крючки выполняются сменными (в зависимости от диаметра подаваемых прутков).

С роликового конвейера прутки могут подаваться в калибрующую машину типа КУ (рис. 35).

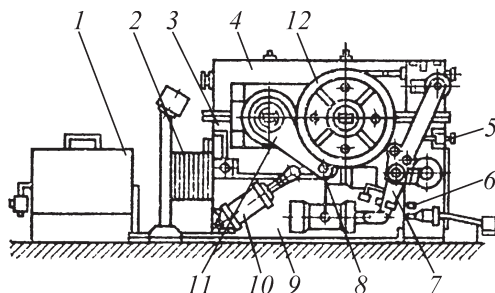


Рис. 35. Калибрующая машина типа КУ

Технические характеристики стеллажей

	СА-13	СА-5
Размер прутков, мм:		
диаметр	20...40	—
длина	4000...6000	До 6000
Производительность, шт./мин	6	До 5
Вместимость стеллажа, т	5	4
Мощность двигателей, кВт.	2,9	3
Габаритные размеры, мм	5500×2800×1470	—
Масса, т	5,170	3,9

Технические характеристики машины типа КУ

Диаметр калиброванной проволоки, мм:	
наибольший	16
наименьший	10
Степень деформации, %	14
Сила калибровки, кН	63,00
Временное сопротивление исходной заготовки (наибольший), МПа	7,0
Скорость калибровки, м/мин	3...15
Диаметр намоточного барабана, мм	650
Марка двигателя	П72
Мощность двигателя, кВт	2,5
Частота вращения двигателя, мин ⁻¹	400
Габаритные размеры, мм	2300×3300×1500
Общая масса с тиристорным преобразователем, кг	6250

Машина предназначена для калибровки металла перед холодной высадкой на автоматах. Используется металл отожженный, протравленный после известкования или фосфатирования. Общая степень деформации не должна превышать 14 %. Машина состоит из сварной, коробчатой закрытого типа станины 9, в которой смонтированы зубчатая передача привода намоточного барабана, шкаф с электроаппаратурой и фильерные матрицы. Станина состоит из основания 3 и верхней части 4, соединенных болтами. С передней стороны машины расположены намоточный барабан, прижимное и балансирующее устройства. Привод намоточного барабана 12 калибрующего устройства осуществляется через клиноременную передачу, открытую зубчатую пару, червячный редуктор электродвигателем постоянного тока. Для плотного прилегания откалиброванной проволоки в бунте, размещенном на намоточном барабане, применяется прижимной меха-

низм, передающий усилие с пневмоцилиндра 10 на прижимной рычаг 11 и далее через ролик 8 на металл. Пневматическое балансирующее устройство состоит из двухплечевого рычага 7, отжимающего проволоку и контролирующего скорость намотки и размер петли. Крайнее положение двухплечевого рычага фиксируется двумя конечными выключателями 5 и 6. Металл подается на приемный барабан 2 и через подающие ролики переходит в фильерные калибры, балансирующее устройство и намоточный барабан. Тиристорный преобразователь 1 позволяет регулировать скорость в широких пределах.

4. АВТОМАТИЗАЦИЯ И МЕХАНИЗАЦИЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

На показатели роста производительности труда рабочих и оборудования оказывает влияние использование различных средств автоматизации и механизации.

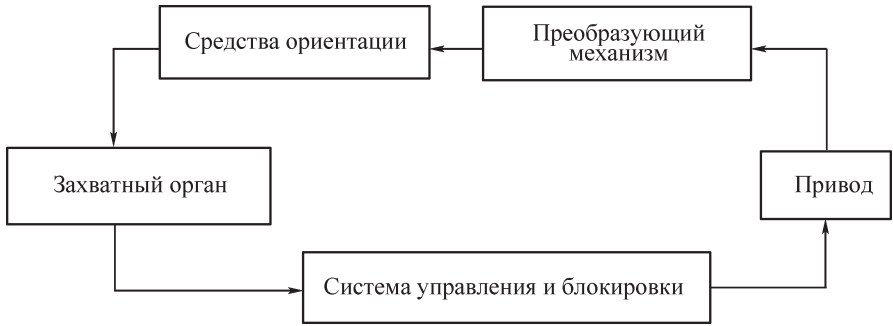


Рис. 36. Замкнутая структурная схема средств автоматизации листоштамповочного производства

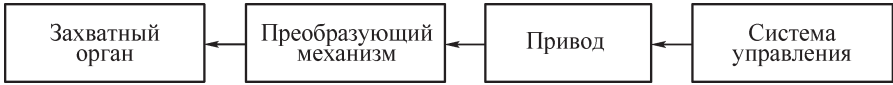


Рис. 37. Разомкнутая структурная схема средств автоматизации листоштамповочного производства

Все средства механизации и автоматизации состоят из ряда узлов и механизмов, функционально связанных между собой. На рис. 36 показана обобщенная структурная схема средств автоматизации листоштамповочного производства, характерной особенностью которой является ее замкнутое строение,

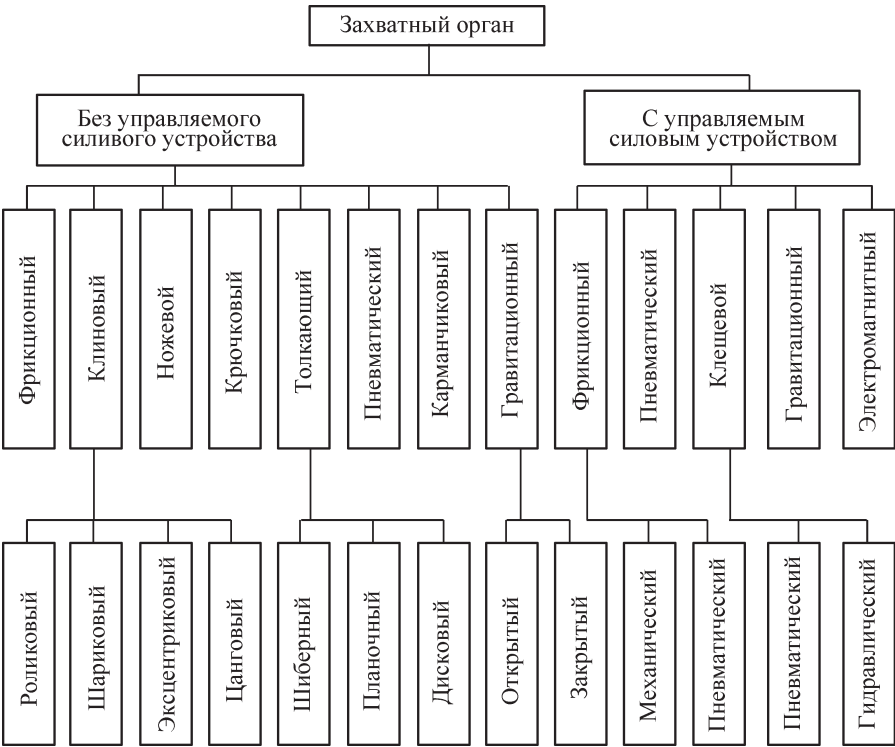


Рис. 38. Классификация захватных органов, применяемых в средствах автоматизации и механизации листоштамповочного производства

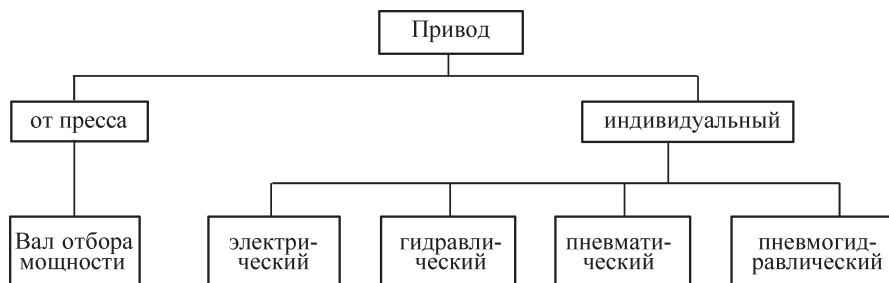


Рис. 39. Классификация приводов средств автоматизации и механизации листоштамповочного производства

т.е. наличие взаимосвязи между всеми механизмами, осуществляемой через систему управления и блокировки. Характерной особенностью структурной схемы средств механизации (рис. 37) является отсутствие обратной связи между приводом и захватным органом.

Классификация захватных органов, применяемых в средствах автоматизации и механизации листоштамповочного производства, представлена на рис. 38. В табл. 22 приведены характерные особенности различных типов захватных органов.

В ряде случаев для расширения возможностей средств автоматизации при-

меняют комбинированные захватные органы, состоящие из нескольких механизмов, дополняющих друг друга.

Привод средств автоматизации должен обеспечивать требуемое движение захватного органа с заготовкой или без нее. В средствах автоматизации используются разнообразные приводы, классификация которых представлена на рис. 39.

При эксплуатации приводов в условиях кузнечно-штамповочного производства решающее значение имеют их специфические особенности: составные элементы, тип привода, допускаемое число включений, точность остановки и т.д.

22. Особенности захватных органов

Тип захватного органа	Методы удержания и перемещения заготовки	Характеристика заготовки	Захватывание	Освобождение заготовки в период рабочего хода
Фрикционный	Трением	Непрерывный материал*	Зависит от состояния поверхности заготовки и от плавности изменения скорости перемещения	Возможно только с управляемым силовым устройством
Пневматический	Разрежением на внутренней полости захвата	Плоская, штучная с непрерывной поверхностью контакта	Ухудшается у захватов без управляемого силового устройства по мере увеличения длительности удержания заготовки. Зависит от качества резины, применяемой для захвата	Возможно
Электромагнитный	Магнитным притяжением	Штучная любой формы из намагничиваемого материала	Происходит со стукотом: необходимо осуществлять разделение заготовок из стопы или применять захваты со специальной формой полюсов	

Окончание табл. 22

Тип захватного органа	Методы удержания и перемещения заготовки	Характеристика заготовки	Захватывание	Освобождение заготовки в период рабочего хода
Клиновой	Упругим заклиниванием	Непрерывный материал	Устойчивое	Невозможно
Ножевой	Внедрением в заготовку	Непрерывный материал	Зависит от состояния ножей, неустойчивое для твердых материалов	
Клещевой	Трением и частичным внедрением в заготовку	Непрерывный материал и штучная	Устойчивое	Возможно
Толкающий	Усилием в направлении движения	Объемная, штучная	Неустойчивое для заготовок толщиной менее 0,5 мм	
Карманчиковый	Транспортированием специальной полостью	Объемная, штучная	Неустойчивое при больших скоростях перемещения захватного органа	Невозможно
Крючковый	Транспортированием за отверстие в заготовке	Штучная и непрерывный материал	Устойчивое	Возможно
Гравитационный	Силой тяжести	Штучная	Неустойчивое для плоских легких деталей	Невозможно

* Непрерывный материал — лист, полоса или лента.

Схемы, назначение, структура, кинематические и динамические свойства преобразующих или передающих механизмов средств автоматизации и механизации чрезвычайно разнообразны. Их классификация представлена на рис. 40.

Введение средств ориентации и переориентации в автоматизирующие устройства вызвано необходимостью четкой фиксации заготовки в заданном положении при подаче ее в рабочую зону. Применяются они в основном в средствах автоматизации, предназначенных для автоматической ориентации заготовок и транспортировки их между переходами.

Средства ориентации и переориентации подразделяют на средства первичной ориентации, когда заготовка из произвольного положения переводится в устойчивое, и средства вторич-

ной ориентации, когда заготовка переводится из одного устойчивого положения в другое до тех пор, пока не будет установлена в заранее заданное положение. К средствам первичной ориентации относятся лотки, крючки, карманы и т.п. Вторичная ориентация производится под действием сил тяжести, встряхивания, вибрации или за счет механического воздействия.

Системы управления и блокировки средств автоматизации и механизации обеспечивают включение привода, связывают работу захватного органа с работой привода, предотвращают поломки элементов средств автоматизации, штампов и оборудования при нечеткой или неправильной работе захватного органа в опасной зоне пресса.

Классификация систем управления и блокировки представлена на рис. 41.

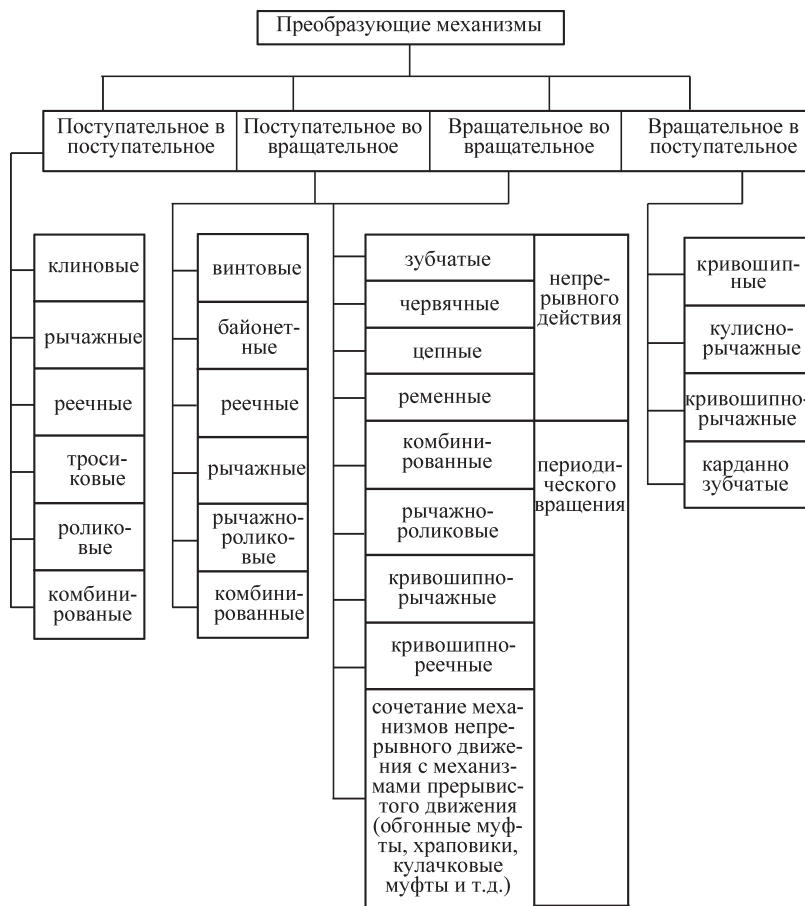


Рис. 40. Классификация преобразующих механизмов средств автоматизации листоштамповочного производства



Рис. 41. Классификация систем управления и блокировки средств автоматизации и механизации листоштамповочного производства

23. Данные, необходимые для выбора типа подачи

Тип подачи	Тип захватного органа	Привод	Максимальный шаг, мм	Толщина ленты, мм	Максимальное ускорение, м/с ²	Возможность использования фиксаторов или шаговых ножей
Валковая	Фрикционный без управляющего силового устройства	Ползун	120	0,8...2	10	Нет
	Фрикционный с управляющим силовым устройством	Вал	300	0,5...2,5	15	Есть
		Индивидуальный	Любой			
Ролико(шари-ко)-клиновья	Клиновой	Ползун	100	0,5...2	15	Нет
		Вал прессы	200			
Эксцентриково-клиновья		Ползун	50	0,5...2	15	Нет
Клещевья	Ножевой по торцу	Ползун	100	2...5	20	Нет
		Вал прессы	200	2...5	20	Нет
	Ножевой по рабочим поверхностям ленты	Ползун	100	0,5...2	20	Нет
	Клещевой с пневматическим приводом	Индивидуальный	200	0,1...1,2	10	Есть
Крючковья	Крючковый	Ползун	100	1...2,5	5	Нет

Одно из главных требований, предъявляемых к подающим устройствам для непрерывного материала и штучных заготовок, — обеспечение заданной точности подачи заготовок на рабочую позицию штамповки, которая зависит от ускорения, развиваемого захватным органом. Выбор типа подачи можно осуществить, пользуясь данными табл. 23.

Если величина ускорения не превышает значений, указанных в табл. 23, то все подающие устройства имеют точность в пределах не менее $\pm 0,1...0,2$ мм. Для повышения точности работы подающих устройств для непрерывного материала применяются шаговые ножи или ловители, однако они могут быть использованы не во всех таких подачах.

Валковые подачи для полосового и ленточного материала наиболее уни-

версальны, удобны в обслуживании и надежны в эксплуатации. Ими могут оснащаться кривошипные прессы всех конструкций, в том числе с нижним приводом и многопозиционные. По принципу работы валковые подачи подразделяются на односторонние (толкающие или тянущие) и двусторонние.

В табл. 24 приведены технические характеристики двусторонних валковых подач различных моделей, предназначенных для автоматического перемещения ленточного материала в рабочую зону штампа при выполнении вырубки, пробивки, формовки, неглубокой вытяжки и других холодноштамповочных операций на одно-кривошипных прессах простого действия силой 100...1600 кН. Привод подачи осуществляется от кривошипного вала прессы. Подача обеспечивает

24. Технические характеристики валковых подач моделей ВП

Параметр	ВП 29	ВП 30	ВП 31	ВП 32	ВП 35	ВП 37
Ширина ленты, мм	20...63	50...100	50...160	10...40	50...250	200...315
Толщина материала, мм	0,3...1,0	0,5...1,5	0,5...2,0	0,3...1,0	0,5...2,5	0,5...3,0
Наибольший шаг подачи, мм	63	100	160	40	250	315
Точность подачи, мм	±0,2	±0,3	±0,5	±0,125	±0,625	±0,75
Наибольшее число ходов в минуту	170	120	100	500	80	70
Наибольшая скорость подачи материала, м/мин	11	12	16	16	20	22
Уровень подачи ленты над подштамповой плитой пресса, мм	60...90	70...100	80...110	45...85	120...140	120...140
Габаритные размеры, мм:						
длина	1120	1290	1575	743	1930	2120
ширина	410	470	553	240	750	825
высота	470	500	690	290	740	575
Масса, кг	270	320	575	90	850	1200

перемещение материала справа налево и слева направо по фронту пресса; подача может переналаживаться на одностороннюю и эксплуатироваться в тянущем и толкающем режимах.

Клещевые подачи применяют при штамповке из ленты толщиной св. 0,1 мм и при шаге преимущественно до 200 мм, а с индивидуальным приво-

дом — до 1000 мм. Перемещение материала в клещевых подачах осуществляется захватом подвижной кареткой, совершающей возвратно-поступательное перемещение. Торможение ленты при обратном ходе каретки производится неподвижными захватами. Допустимое число ходов клещевой подачи, зависящее от шага подачи, приведено ниже.

Шаг подачи, мм	20	50	75	100
Допустимое число ходов ползуна пресса в 1 мин . . .	300...500	175...500	125...225	105...150
Шаг подачи, мм	125	150	200	275...300
Допустимое число ходов ползуна пресса в 1 мин . . .	95...140	85...130	75...120	80...70

Для подачи ленты шириной более 400 мм используют клещевой механизм с двумя боковыми каретками, смонтированными на общей нижней плите с самостоятельными приводами.

Различают клещевые подачи с захватом подаваемого материала роликами, шариками (их называют ролико-клиновые), иглами, ножами или губками. Ролико-клиновые подачи находят широкое применение при подаче ленточного материала толщиной 0,4... 3 мм. Ножевые захваты применяют для

подачи ленточного материала толщиной 0,3...5 мм.

В табл. 25 приведены технические характеристики серийно выпускаемых ролико-клиновых подач для прессов простого действия силой 40...630 кН. Привод каретки осуществляется от кривошипного вала пресса. Подача — односторонняя, может работать как в тянущем, так и в толкающем режиме.

В табл. 26 приведены технические характеристики клещевых подач с рабочим органом, выполненным в виде плоских губок, предназначенных для

25. Технические характеристики роliko-клиновых подач моделей РКП

Параметр	РКП 10	РКП 9	РКП 8	РКП 11
Размеры подаваемого материала, мм:				
ширина	20...40	15...63	20...100	50...160
толщина	0,3...1,5	0,3...2,5	0,3...2,5	0,3...2,5
Наибольший шаг подачи, мм	40	63	100	160
Точность шага подачи, мм	±0,05	±0,075	±0,1	±0,12
Наибольшее число ходов в 1 мин	400	170	120	100
Наибольшая скорость подачи материала, м/мин	16	11	12	16
Уровень подачи материала над подштамповой плитой, мм	40...70	60...90	70...100	80...110
Габаритные размеры мм:				
длина	865	1040	1230	1535
ширина	420	455	515	645
высота	290	400	420	440
Масса, кг	64	144	172	200

26. Технические характеристики клещевых подач моделей КП

Параметр	КП 6	КП 7	КП 8
Размеры подаваемого материала, мм:			
ширина	10...100	10...160	10...200
толщина	0,1...2	0,1...2	0,1...2
Наибольший шаг подачи, мм	100	160	200
Точность шага подачи, мм	±0,1	±0,15	±0,2
Наибольшее число ходов в минуту	120	100	90
Наибольшая скорость подачи, м/мин	12	16	18
Уровень подачи материала над столом прессы, мм	100...135	130...135	160...250
Габаритные размеры, мм:			
длина	500	620	700
ширина	200	240	275
высота	215...250	220...255	265...355
Масса, кг	64,4	70,1	78,0

подачи ленточного материала на прессах силой 100...1000 кН. Привод подачи индивидуальный от пневмосети. Управление подачей осуществляется кулачком вала прессы, взаимодействующим с пневмоклапаном подачи. Подача может работать как в тянущем, так и в толкающем режиме.

Крючковые подачи применяют при штамповке из ленты и полосы на кривошипных прессах с числом ходов в 1 мин до 250. Поскольку крючковые подачи могут быть только тянущими, их применение возможно при штамповке с перемычками. Практика использования таких подач показала, что наимень-

шая длина подаваемых полос должна быть не менее 500 мм, наибольшая ширина ленты или полосы — 150 мм, а толщина 0,3...5 мм; шаг подачи до 50 мм. Точность перемещения материала крючковыми подачами зависит от

шага, числа ходов пресса, наличия фиксаторов в штампе, размеров полосы и других факторов. Зависимость точности перемещения материала крючковыми подачами от шага подачи может быть оценена следующим образом.

Шаг подачи, мм	До 10	Св. 19 до 20	Св. 20 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 75
Точность перемещения полосы (ленты), мм	±0,15	±0,20	±0,25	±0,30	±0,50

Шиберные подачи применяют для перемещения штучных заготовок из магазина в рабочую зону штампа, а также для передачи отрезанной на штампе заготовки на следующую операцию. Они рекомендуются для подачи плоских заготовок шириной (диаметром) до 150 мм и толщиной св. 0,5 мм, а также объемных заготовок высотой до 100 мм.

В табл. 27 приведены технические характеристики серийно изготавливаемых шиберных подач, предназначенных для транспортировки штучных заготовок из магазина в рабочую зону штампа прессов силой 40...1600 кН. Привод подающего устройства питателя — от пневмоцилиндра.

Револьверные подачи обеспечивают транспортировку заготовок из зоны загрузки в рабочую зону штампа и удале-

ние отштампованных заготовок или деталей. Их рекомендуют применять для подачи плоских заготовок различной конфигурации толщиной св. 0,5 мм и объемных заготовок диаметром до 60 мм. Револьверная подача состоит из следующих основных конструктивных элементов: револьверного диска с гнездами, механизма периодического вращения, привода, тормозного устройства, узла фиксации диска и блокирующего устройства.

В табл. 28 приведены технические характеристики револьверных серийно выпускаемых подач для прессов силой 250...630 кН. Привод подачи — рычажный от планшайбы, установленной на валу пресса.

Грейферные подачи применяют для перемещения в ориентированном положении плоских и полых мелко- и сред-

27. Технические характеристики шиберных подач моделей ПШ

Параметр	ПШ 1	ПШ 2	Параметр	ПШ 1	ПШ 2
Ход шибера, мм:			Наименьшая толщина подаваемых заготовок, мм	0,5	1,0
наименьший	0	0	Число подаваемых заготовок в 1 мин	100	70
наибольший	100	250	Наибольшая высота стопы заготовок, мм	200	300
Размеры подаваемых заготовок, мм:			Расстояние от уровня пола до плоскости подачи, мм	790...1040	790...1040
круглых	Ø35...90	Ø90...240	Габаритные размеры в плане, мм	370×750	400×1100
прямоугольных:			Наибольшая высота, мм	1070	1070
ширина	35...90	90...240	Масса, кг	320	400
длина	12...90	30...240			

28. Технические характеристики револьверных подач моделей РП

Параметр	РП 20	РП 21	Параметр	РП 20	РП 21
Число гнезд в револьверном диске	10	10	Наименьшая толщина заготовки, мм	0,5	0,5
Диаметр отверстия гнезда, мм	125	180	Габаритные размеры подачи, мм:		
Наружный диаметр диска, мм	615	850			
Диаметр окружности центров отверстий в гнездах, мм	450	630			
Толщина револьверного диска, мм	18	21	длина	1160	1500
			ширина	1125	1400
			высота (без учета привода)	375	400
			Масса, кг	305	765

негабаритных заготовок при штамповке в штампах последовательного действия, при многопозиционной штамповке в нескольких однооперационных штампах, а также при однооперационной штамповке заготовок толщиной св. 4 мм в случае большего расстояния от грузозонной до рабочей позиции. Основным узлом подач являются рейферные планки с захватами, совершающие возвратно-поступательное движение в двух направлениях: для захвата и освобождения штампуемых заготовок — поперек направления подачи и для перемещения заготовок и возврата в исходное положение — в направлении подачи.

В табл. 29 приведены технические характеристики рейферных подач, эксплуатируемых на отечественных заводах.

Механические руки рекомендуется применять для подачи заготовок сложной конфигурации, когда невозможно перемещать их в одной плоскости, а также для плоских заготовок толщиной менее 0,2...0,3 мм. Механические руки имеют комбинированный двоярный привод, обеспечивающий перемещение захватного органа в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Подъем и опускание захватного органа обычно осуществляется в крайних положениях: у позиции загрузки руки и в рабочей зоне штампа. В качестве привода используют пневматические и гидравлические цилиндры или привод прессы.

Выбор захватного органа зависит от особенностей заготовки. Чаще приме-

29. Технические характеристики рейферных подач различных фирм

Параметр	Фирма		Параметр	Фирма	
	«Инноченти» (Италия)	«Шулер» (ФРГ)		«Инноченти» (Италия)	«Шулер» (ФРГ)
Пресс:			Шаг, мм:		
модель	4-500-120-84	T300-8-305	продольный	450	120
сила прессы, кН	5000	3000	поперечный	140	305
Ход ползуна, мм	610	255	Уровень от плиты штампа, мм	600	500
Число ходов ползуна в 1 мин	15...25	8	Вид привода	От вала	
Размер стола, мм	2048×2134	—	Число позиций подачи	14	8
Закрывающая высота, мм	1016...1219	—	Скорость перемещения рейферов, м/с:		
Диаметр перемещаемых заготовок, мм	450	250	продольная	0,614	—
			поперечная	0,35	—

няют электромагнитные, пневматические и клещевые захваты.

Технические характеристики механической руки модели МР 2 к прессам

Диаметр подаваемой заготовки, мм	30...100
Толщина заготовки, мм	0,5...3,0
Тянущая сила электромагнита, Н	5
Наибольшее число заготовок, подаваемых в 1 мин	40
Угол поворота руки, °	45
Подъем руки, мм (от среднего положения)	±25
Точность укладки заготовки в штампы, мм (без ловителей)	±1
Длина руки, мм, при длине стола, мм:	
500	345
600...670	415
670...730	450
Габаритные размеры, мм	975×680×972
Масса, кг	245

Механическая рука МР 2 предназначена для перегрузки заготовок из револьверного диска в штампы прессы.

В табл. 30 приведены технические характеристики механических рук различных моделей для съема деталей. Руки выполнены с горизонтальным перемещением захватного механизма; они работают в автоматическом режиме с управлением от командоаппарата прессы. В зависимости от способа монтажа предусмотрены две модификации — напольные и навесные.

Применение механических рук позволяет повысить производительность на 20...30 %, увеличить коэффициент использования прессов до 60...75 %, улучшить условия труда.

Промышленные роботы (автоматические манипуляторы) применяют для автоматизации основных и вспомогательных технологических операций листовой штамповки в тех случаях, когда другими традиционными средст-

вом. КД 2328, К 1128 силой 630 кН с пневматическим приводом и электромагнитным захватом приведены ниже.

вами автоматизации или невозможно, или затруднительно автоматизировать процесс. Целесообразность автоматизации штамповки с применением роботов определяют такие факторы, как программа выпуска, стабильность технологического процесса, частота переналадок прессы и перепрограммирование работы, возможность решения автоматической ориентации всей номенклатуры заготовок, закрепленных за прессом, и др.

Конструктивно промышленные роботы состоят из следующих основных частей: исполнительной (в виде манипулятора) и устройства передвижения для подвижного робота; управляющей (в виде управляющего устройства).

Для автоматизации листовой штамповки наибольшее распространение получили роботы с пневматическим приводом, работающие в цилиндрической системе координат с цикловой системой управления.

30. Технические характеристики механических рук

Параметр	469К	2086	2135
Ход руки	630	800	1000
Время полного цикла, с	0,8	1,2	4
Масса удаляемой детали, кг	До 10	10...15	15...20

31. Рекомендуемые модели промышленных роботов в зависимости от силы прессового оборудования и размеров заготовок

Тип прессового оборудования	Базовая модель ПР	Сила прессового оборудования, кН	Максимальный размер заготовок, мм	Производительность, шт./мин
Механические прессы	МРУ-901; МРЛ-90-901; МП-9С; МП-11; РФ-202М; Ритм 01.03; РУ-949.3458; Гном-01; ПРЭМ-0,5; КМ0.08Ц.42.01	63...250	130×130	25
	МП-9С; МП-11; РФ-202М; Ритм 01.03; Ритм 05.01; ПР-18-7; МС-1; Гном-04; МЗ.730.069; ПМР-0,6; 7606; ПРЭМ-0,5; ТУР-2,5; КМО,63.42.12	400...630	180×250	20
	МП-9С; МП-11; РФ-202М; Ритм-0501; ПР-18,7; ПМР-06; 7605; 7604; Гном-4; ПРЭМ-5; ТУР-2,5; ТУР-10; РМ-104; КМ-1,25.4216	630...1000 1000...1600	180×250 450×45	20 15
	ПМР-06; 7604; 7605; Циклон-5.02; КМ10Ц.4201; МАРС-2; РА-2; М-31; ПР-10И; ПРП-10; Бриг-10Б; РКТБ; АМП-2; ТУР-2,5; ТУР-10; РМ-104; КМ5Ц.4203	1600...4000	550×550	10
Гидравлические прессы	Универсал 15.04; Циклон-10; РПМ-25; РС-20; 7607; ПРЭМ-25; 094.00.61; ТУР-10; РМ-104; КМ10Ц.4201	4000...6300	1000...2000	5
	Циклон-5.02; МП-8; 7605; М-31; ПР-10И; ПРП-10; Бриг-10; РКТБ; АМП-2; ПРЭМ-25; РС-20; 094.00.61; ТУР-10; РМ-104	630...1600 1600...6300	300×300 550×550	10 6

В табл. 31 приведены рекомендуемые модели промышленных роботов в зависимости от номинальной силы прессового оборудования и размеров заготовок.

В табл. 32 приведены технические характеристики ряда моделей промышленных роботов, выпускаемых отечественной промышленностью, которые целесообразно использовать в качестве средств автоматизации для листовой штамповки.

Разматывающие устройства применяются для ленточного материала в рулонах и подразделяют на устройства с кулачковым зажимом материала по внутреннему диаметру (катушки) и с установкой рулона на катки по наружному диаметру (рулонницы). Катушки бывают с поворотной и неповоротной горизонтальной и вертикальной осями вращения. Катушки и рулонницы выполняют с приводом и без него.

В табл. 33 приведены технические характеристики серийно выпускаемых неприводных разматывающих катушек различных моделей, работающих совместно с многопозиционными прессами.

В табл. 34 приведены технические характеристики разматывающих устройств с индивидуальным приводом от электродвигателя, которые предназначены для автоматизации однокривошипных открытых прессов, прессов-автоматов с нижним приводом и кривошипных многопозиционных прессов-автоматов силой до 1600 кН, снабженных автоматическими подачами ленты.

Правильно разматывающие устройства предназначены для размотки и правки лент в процессе подачи. Они состоят из разматывающего и правильного устройств, установленных на общем основании. Разматывающие устройства выполняются в виде разматывающих кату-

32. Промышленные роботы, применяемые для автоматизации листовой штамповки

Модель ПР	Грузо- подъем- ность, кг	Ход манипуляторов			Быстродействие		Точность позицио- нирова- ния, ±мм
		вертикаль- ный, мм	горизон- тальный, мм	поворот, градусы	линей- ное, м/с	угловое, град/с	
МРУ-901	0,02	10	150	90	0,1	130	0,02
КМ0.08Ц4201 (4211)	0,08	40	—	120	0,2	180	0,1
ПРП-01	0,10		120			120	
Ритм 01.01 Ритм 01.03		50	150	220	0,2/0,6	360	
Ритм 01.02*	0,2/0,1			180	0,6	180	0,05
РФ-202М*	0,4/0,2	30					
МП-9С	0,2	60	180	180	1,0	180	
МП-11*	0,5/0,25		550		180	0,6	90
Гном-3*	1/0,5	30					
Гном-4 исп. 2*	1,6/0,8	60	200	0,6	0,10		
ПР-04	0,4	50	250	0,8		0,02	
ПР-4-2 (ПР5-2)	0,2	20	350	180	0,6		Г-0,6
ППР-06	0,5	50	400	Г-300	1,0	360	
КМ0,63Ц.4212	0,63	80	500	180	1,5	120	0,1
Ритм-05.01*	1/0,5	150	500	120	1,0	120	
КМ1.25Ц.4216 (4201)*	2,5/1,25	80	300	270	0,8	180	
7606	0,6	100	500	90	1,0	90	
7605	4/2	—	—	—	—	—	0,3
КМ2.5Ц4214	2,5	150	600	150	0,8	90	
КМ5Ц4201**	5/1,6	100		Г-400/ 180	1,2	120	0,1
ПР-0,6	5	100			180		
ПР-5*	5/2,5	150	500	180	0,5	90	0,5
Циклон 5.01 (—5.02)*	5/5	200	600		0,8	180	
ПРП-5	10/5	300	700	210	0,6	90	
Бриг-5*		10	200				180
РПП-76*	10	100	600	180	1,0	100	2,0
ПР-10И	10	100	600	180	1,0	100	2,0
КМ10Ц.3101 (4203/4231)*	10/5	100	600	180	1,0	100	2,0
Бриг-10Б	10	100	600	180	1,0	100	2,0
Р-505	10	100	600	180	1,0	100	2,0

* двурукие;

** трехрукие.

Примечание. Исполнение корпусов — неподвижное; системы координат — цилиндрические; тип привода — пневматический (у мод. МРУ-901 — электромеханический), тип управления — цикловое (у мод. 7606 — позиционно-цикловое).

33. Технические характеристики неприводных разматывающих катушек моделей РУ

Параметр	РУ-300	РУ-200	Параметр	РУ-300	РУ-200
Наибольшие размеры исходной ленты, мм:			Масса рулона, кг	1900	—
толщина	3	3	Габаритные размеры, мм:		
ширина	300	200	ширина	600	820
Наибольший наружный диаметр рулона, мм	1100	800	длина	850...950	553
Внутренний диаметр рулона, мм	400...600	140...500	высота	820...920	1010
			Масса, кг	420	133

34. Технические характеристики разматывающих устройств моделей КП 91

Параметр	КП 91-31	КП 91-32	КП 91-33
Наибольшие размеры исходной ленты, мм:			
толщина	1,5	1,5	1,5
ширина	10...63	50...160	150...320
Наибольший наружный диаметр рулона, мм	1000	1000	1000
Внутренний диаметр рулона, мм	300	300	300
Скорость размотки ленты, м/мин	1,8...18,0	2,4...24	2,4...24
Мощность двигателя, кВт	0,2	0,5	0,7
Габаритные размеры, мм:			
длина	2890	2890	2930
ширина	430	550	640
высота	1250	1290	1375
Масса, кг	560	700	848

шек, барабанов и рулонниц. Размотка легких рулонов производится тяговой силой правильных валков, тяжелых рулонов — от электропривода.

Правильные устройства иногда снабжаются устройствами очистки и смазки ленты.

В табл. 35 приведены технические характеристики серийно выпускаемых правильно-разматывающих устройств различных моделей с фиксацией рулона по наружному диаметру. Привод осуществляется от электродвигателя постоянного тока с бесступенчатым регулированием частоты вращения. Правильная головка имеет пять правильных и два тянущих валка.

Наматывающие устройства предназначены для намотки отходов при штамповке из ленты. Они выполняются только приводными с приводом от подающего механизма при помощи цепной, ременной и рычажной передачи или от индивидуального электродвигателя.

В табл. 36 приведены технические характеристики серийно изготавливаемых наматывающих устройств различных моделей, которые предназначены для наматывания отходов ленты, выходящей из вырубных прессов-автоматов с нижним приводом. Привод этих устройств осуществляется от электродвигателя по-

35. Технические характеристики правильно-разматывающих устройств моделей ПУ

Параметр	ПУ 7	ПУ 9	ПУ 10	Параметр	ПУ 7	ПУ 9	ПУ 10
Наибольшие размеры ленты, мм:				Мощность электродвигателя, кВт	1,5	3,2	4,5
ширина	140	250	400	Габаритные размеры, мм:			
толщина	1,6	4	3,6	длина	1815	2220	2290
Наибольший диаметр рулона, мм	1000	1200	1200	ширина	570	600	835
Скорость разматывания ленты, м/мин	2,4...24	2,4...24	2,4...24	высота	1360	1290	1470
				Масса, т	0,740	1,400	1,855

36. Технические характеристики наматывающих устройств моделей НУ

Параметр	НУ-9	НУ-10	НУ-11	НУ-17
Наибольшие размеры исходной ленты, мм:				
толщина	1,8	1,4	4,0	3,6
ширина	140	63	250	400
Наибольший наружный диаметр рулона, мм	700	700	1200	—
Диаметр наматывающего барабана, мм	300	300	300	—
Скорость наматывания ленты, м/с	0,04...0,4	0,04...0,4	0,04...0,4	—
Уровень подачи ленты над полом, мм	940	710	1150	—
Мощность электродвигателя, кВт	1,0	1,0	1,5	1,5
Уровень оси рулона от пола, мм	710	450	800	735
Габаритные размеры, мм:				
ширина	670	750	840	1625
длина	1660	850	1350	2000
высота	1100	857	1325	1420
Масса, кг	758	758	1250	—

стоянного тока с бесступенчатым регулированием скорости намотки через клиноременную передачу, редуктор и зубчатую пару. Устройства снабжены натяжными роликами для получения плотного рулона, направляющими роликами и фотореле, контролирующим провисание компенсационной петли.

Устройства для резки отходов режут отходы ленты на мерные части, удобные для дальнейшей переработки в металлургическом производстве. Рез-

ку отштампованной ленты осуществляют ножами с приводом от ползуна прессы, вала прессы или индивидуального привода.

В табл. 37 приведены технические характеристики серийно изготавливаемых ножниц различных моделей для резки отходов с индивидуальным приводом. Они являются частью комплексов оборудования для штамповки деталей из ленточного материала. Привод ножниц индивидуальный пневматический. Регулировка

37. Технические характеристики ножниц для резки отходов моделей НП

Параметр	НП 1	НП 2	Параметр	НП 1	НП 2
Наибольшие размеры разрезаемого материала, мм:			Ход ножа, мм	8...14	16...31
ширина	160	400	Кратность реза	1...32	1...32
толщина при давлении, МПа:			Наибольшее время двойного хода ножа, с	0,2	0,5
300	2	4	Габаритные размеры, мм:		
500	1,5	3,5	длина	850	890
1200	1	3	ширина	480	680
Наибольшее число ходов ножа в 1 мин	65	32	Масса, т	0,27	0,39

хода ножа бесступенчатая. Бесконтактная система электроуправления обеспечивает резку отштампованной ленты — пробивку через заданное число ходов пресса.

Устройства для очистки и смазки исходного материала, заготовок и деталей перед штамповкой улучшают условия эксплуатации подающего механизма и штампа, повышают износостойкость их рабочих частей. На поверхность исходного материала смазочный материал наносится вальками, пульверизатором, самотеком из капельниц или обмыванием под давлением. Пропитывание валков осуществляется из капельниц, опущенных в ванночки, а иногда (в прессах с нижним приводом) масло подается через валки. Устройства механизированной смазки устанавливаются обычно перед штампом или встраиваются в штамп, смазывая непосредственно рабочий инструмент

и штамп. Устройства очистки и смазки ленты (полосы) очень часто встраиваются в подающие устройства; они представляют собой регулируемые планки с прокладками, устанавливаемыми на входе подаваемой ленты (полосы) в устройство подачи. В ряде случаев устройства механизированной смазки выполняются в виде отдельного узла или совместно с устройством очистки в виде комбинированного агрегата.

Ориентирующие и питающие устройства обеспечивают выдачу заготовок, ориентированных в заданном положении. Различают автоматические ориентирующие устройства — бункерные устройства, в которых ориентация производится без вмешательства человека, и неавтоматические — магазинные устройства.

В табл. 38 приведены основные характеристики бункерных устройств с поштучной выдачей заготовок.

38. Основные характеристики бункерных устройств с поштучной выдачей заготовок

Тип бункера	Число захватных органов	Коэффициент выдачи
Крючковый	10...14	0,6...0,9
Карманчиковый:		
наклонный	6...10	0,6...0,9
вертикальный	20...40	0,6...0,8

39. Основные характеристики бункерных устройств с выдачей заготовок порциями

Тип бункера	Число захватных органов	Количество заготовок	Коэффициент выдачи
Секторный	1...2	8...10	0,25...0,4
Ножевой	1...2	8...10	0,3...0,4
Щелевой	6...12	58	0,35...0,5
Барабанный	4...12	1...6	0,25...0,3

В табл. 39 приведены основные характеристики бункерных устройств с выдачей заготовок порциями.

В табл. 40 приведены рекомендации по выбору типа бункера в зависимости от формы, размеров и требуемой производительности.

В табл. 41 приведены технические характеристики серийно вы-

пускаемых вибробункеров различных моделей с электромагнитным приводом.

В табл. 42 приведены технические характеристики универсальных виброприводов типа ВПУ (А), рассчитанных на установку чаш вибробункеров диаметром 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 630, 800 мм. В отличие от обычных

40. Данные для выбора типа бункера

Тип бункера	Производительность, шт./мин	Тип и размеры заготовок, для загрузки которых рекомендуются бункера
Крючковый	200	Втулка, колпачок; $l/d = 1,5...5$; $l < 75$ мм; $d = 6...20$ мм; $S > 0,3$ мм
Карманчиковый наклонный	150	Колпачок; $l/d = 2,5$; $l = 25...100$ мм; $d = 5...20$ мм
Карманчиковый вертикальный	150	Колпачок; $l \leq d$; $d \leq 25$ мм
Щелевой	200...400	Колпачок; $l \leq 100$ мм; $d = 3...5$ мм
Секторный	120	Втулка; $l = 120$ мм; $d \leq 15$ мм. Призматическая $l/b \geq 3$; $b/S > 5$; $l \leq 120$ мм; $S \geq 2$ мм Шайба $S/D < 1$; $D \leq 40$ мм; $S \geq 2$ мм
Ножевой	120	Втулка; $l \leq 120$ мм; $d = 4...12$ мм Призматическая $l/b \geq 3$; $b/S > 5$; $l \leq 120$ мм; $S = 3...5$ мм Шайба $D < 40$ мм; $S = 3...5$ мм
С подвижными втулками	200	Втулка, колпачок; $l/d = 1...3$; $l \leq 20$ мм
Со щетками	200	Шайба; $S < d$; $d < 12$ мм Втулка с фланцем или стержень с фланцем; $h \leq d_{\phi}$; $d_{\phi} < 12$ мм
С лопастями	100	Шайба; $d < 30$ мм; $S < 5$ мм Колпачок; $d \leq 30$ мм; $h \leq 5$ мм Призматическая, квадратная в плане $l \leq 300$ мм; $S \leq 5$ мм
Вибрационные	До 80	Различной конфигурации с размерами до 100 мм

Примечание. l — длина заготовки; d — наружный диаметр; S — толщина; d_{ϕ} — диаметр фланца; b — ширина заготовки.

41. Технические характеристики вибробункеров моделей БВ

Параметр	БВ-100	БВ-160	БВ-200	БВ-250	БВ-315	БВ-400	БВ-500	БВ-360
Диаметр чаши (внутренний), мм	100	160	200	250	315	400	500	630
Напряжение питания, В	220	220	220	220	220	220	220	220
Потребляемая мощность, Вт	50	50	100	100	250	250	600	600
Максимальная скорость движения заготовки по лотку, м/с	2	2	4	4	5	6	8	10
Масса обечайки с лотком, кг	0,11	0,25	0,69	1,04	1,63	2,55	8,55	13,4
Масса дна, кг	0,22	0,4	1,17	1,47	2,24	2,75	7,85	3,75
Общая масса, кг	4,25	4,51	19,5	20,2	54,0	60,2	228,46	235,6

42. Технические характеристики вибробункеров моделей ВПУ

Параметр	ВПУ 100А	ВПУ 160А	ВПУ 250А	ВПУ 400А	ВПУ 630А
Диаметр вибропривода номинальный, мм	100	160	250	400	630
Момент инерции рабочего органа, кг·см ²	6,3...40	40...250	250...1600	1600...10000	10000...63000
Масса рабочего органа, кг	0,5...1,6	1,2...4,0	3,2...10,0	8,0...25,0	20,0...63,0
Наибольшая загрузка, кг	1,2	3,5	10,0	25,0	60,0
Наибольшая скорость движения детали-эталона по лотку контрольной чаши, мм/с	300	450	650	900	1150
Потребляемая мощность, Вт	35	100	300	1000	2100
Габаритные размеры, мм;					
высота	141	216	292	430	624
ширина (диаметр)	108	172	268	423	654
длина	202	278	375	585	877
Масса, кг	6	16	42	110	426
Напряжение, В	380	380	380	380	380
Частота, Гц	50	50	50	50	50

виброприводов с прямолинейной траекторией колебания, имеющих один регулируемый параметр — амплитуду колебаний, виброприводы типа ВПУ имеют эллиптическую траекторию и обеспечивают раздельное регулирование трех параметров: амплитуд горизонтальных (круговых) и вертикальных (осевых) составляющих колебания и угла сдвига фаз между ними.

Магазины — это устройства, предназначенные для накопления в один ряд определенного количества штучных заготовок.

Ниже приведены технические характеристики магазинного устройства МУПР-2, обеспечивающего ориентацию заготовок в пространстве, подъем и поддержание стопы заготовок на определенном уровне.

Такие магазинные устройства используются в составе автоматизирован-

ных на основе роботов комплексов оборудования для листовой штамповки.

Размер заготовки, мм	250×250...500×500
Наименьшая толщина заготовки, мм	0,5
Наибольшая высота стопы заготовки, мм	250
Наибольшая масса стопы, кг	400
Расстояние от уровня пола до плоскости захвата заготовки, мм	800...1100
Вид привода	Пневмогидравлический
Рабочее давление воздуха, Па	(4,5...5)10 ⁵
Габаритные размеры, мм	1450×690
Масса, кг	600

Ориентирующие устройства служат для ориентации заготовок в пространстве перед штамповкой или после нее в момент укладки. Ориентация заготовок и деталей может осуществляться непосредственно в магазинах и бункерах, в желобах и лотках в момент перемещения заготовок к питающим устройствам или накопителям.

Конструкция и форма ориентирующих устройств зависят от конфигурации и необходимого положения детали. Наиболее распространены следующие способы ориентации: деталь под действием центра тяжести переворачивается кверху дном; деталь проталкивается через окно, имеющее форму детали;

ориентация с помощью обдувки воздухом или жидкостью; метод опознавания с помощью электроконтактных головок или ориентирование в магнитных полях; фотоэлектрический способ и др.

Полосоукладчики предназначены для захвата полос из стопы и загрузки их в механизм шаговой подачи прессы. Захват полос осуществляется либо пневмовакуумными, либо магнитными захватами, смонтированными на подвижной траверсе, или же магнитными роликами. Привод траверсы обычно выполняют пневматическим.

В табл. 43 приведены технические характеристики полосоукладчиков мод. ПП 300 и ПП 500, работающих в ком-

43. Технические характеристики полосоукладчиков моделей ПП

Параметр	ПП 300	ПП 500
Габаритные размеры полос, мм:		
толщина	0,5...3,0	0,5...3,0
ширина	90...300	90...500
длина	1200...2000	1200...2500
Максимальный шаг подачи, мм	300	500
Высота штабеля полос, мм	290	290
Ход присосок, мм:		
вертикальный	350	350
горизонтальный	365	460
Величина хода полосы при сбрасывании ее с матрицы механизмом дополнительного поворота валков, мм	25	25
Габаритные размеры подачи, мм	2170×510×1585	2560×680×1786
Масса подачи, кг	840	1160

плексе с двусторонней валиковой подачей (мод. ЭР-35А и ЭР-36Б) и механизмом дополнительного поворота валков. Они предназначены для загрузки многопозиционных прессов.

Листоукладчики и листоподаватели предназначены для механизации и автоматизации подачи крупногабаритных листовых заготовок. Листоукладчики осуществляют подачу заготовок непосредственно в пресс, листоподаватели — на рабочие места прессовщика. В комплект листоукладчиков и листоподавателей входят механизмы подачи стопы листовых заготовок, механизмы подъема листов и механизмы подачи листа в пресс или на рабочее место прессовщика, а также блокирующие устройства, останавливающие пресс в случае подачи в штампы более одного листа. Съем верхнего листа осуществляется пневматическими и магнитными захватами.

Сбрасывающие устройства предназначены для удаления отштампованной детали из межштампового пространства в тару в неориентированном положении. К ним относят пневматические, пружинные, шиберные, крючковые устройства. В пневматических устройствах заготовки из рабочей зоны штампа удаляются струей сжатого воздуха. Пружинные устройства удаляют заготовки путем сталкивания толкателем, получающим движение от пружины. Их применяют для прессов, у которых число ходов в минуту равно 120...180. Шиберные устройства применяют для прессов с числом ходов до 90 в 1 мин, имеют привод от ползуна пресса или штампа. Иногда для удаления крупных заготовок применяют шиберные сбрасыватели с индивидуальным пневматическим приводом, а также крючковые устройства.

Выносящие устройства предназначены для удаления отштампованных заготовок из межштампового про-

странства в тару в ориентированном положении. К ним в первую очередь относятся механические руки, лотковые устройства, конвейеры.

Транспортные устройства предназначены для перемещения заготовок между оборудованием в поточно-механизированных и автоматических линиях, а также для удаления отштампованных деталей и отходов.

Классификация транспортных устройств, применяемых в листоштамповочном производстве, приведена на рис. 42.

Выбор типа транспортного устройства зависит от формы и размеров детали, ее массы и необходимости сохранения определенной ориентации детали. Конвейеры могут быть стационарными или поворотными, с фиксацией рабочего положения — горизонтального, наклонного или вертикального. Привод для транспортеров используется электромеханический, гидравлический, пневматический или привод от предыдущего средства механизации.

Стапелирующие устройства служат для укладки в ориентированном положении заготовок после штамповки. Стапелирование может осуществляться за счет свободного падения или скольжения деталей либо за счет принудительного их перемещения. Выбор конструкции стапелирующего устройства зависит от способа удаления заготовки после штамповки, формы и размеров. Плоские заготовки типа Ш-образных пластин целесообразно стапелировать с помощью склизов. Заготовки симметричной формы и с отверстием целесообразно стапелировать на стержнях, а без отверстия — в кассетах.

Средства механизации снятия, установки и крепления штампов позволяют снизить потери, связанные со сменой инструмента, составляющих в зависимости от размеров штампуемой пар-

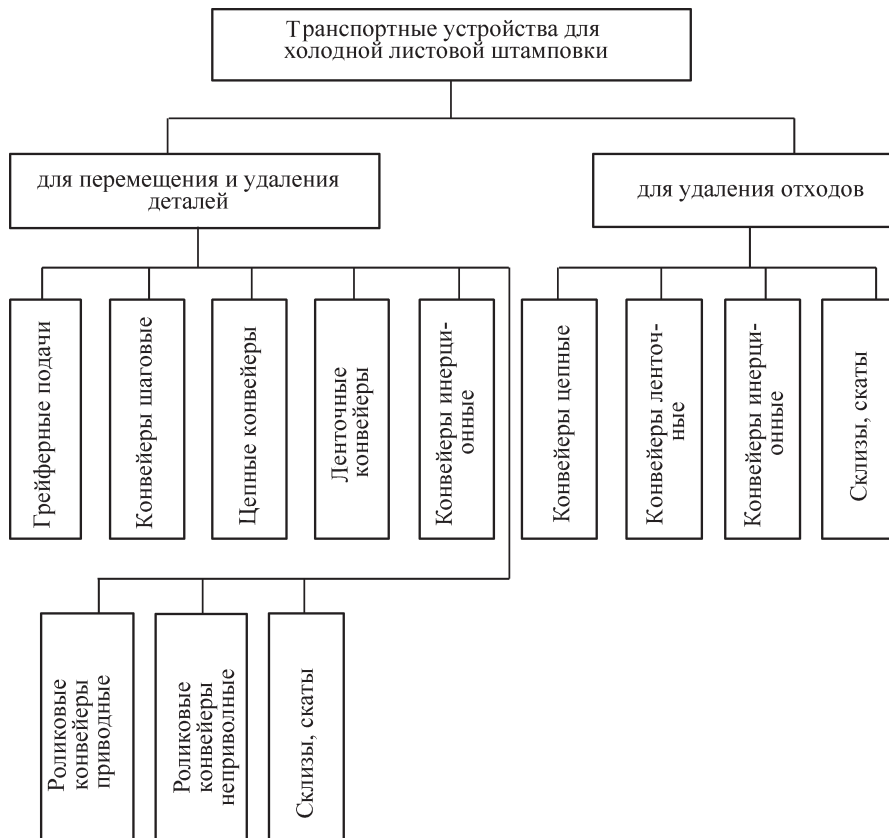


Рис. 42. Классификация транспортных устройств, применяемых в листовой штамповке

тии и количества закрепленных за прессом операций от 15 до 40 % годового фонда времени работы оборудования. Для механизации смены штампов на обычных прессах применяют самоходные, переносные и стационарные приспособления. К самоходным средствам относятся автопогрузчики, тележки и др.

Комплексы оборудования наиболее рационально применять в массовом и крупносерийном производстве. Они обеспечивают выполнение всех операций производственного процесса в автоматическом режиме.

Комплекс, предназначенный для штамповки деталей из ленточного материала, обычно состоит из основного агрегата — кривошипного прес-

са, правильно-разматывающего устройства и ножниц для резки отходов ленты на мерные части для удобства последующей транспортировки. Применяют валковые, роликоклиновые, клещевые подачи. Правильно-разматывающие устройства применяют с индивидуальным приводом и без него. Состав некоторых серийно выпускаемых на базе кривошипных прессов комплексов приведен в табл. 44.

В табл. 45 приведены технические характеристики листоштамповочных автоматов различных моделей с нижним приводом, выпускаемых отечественными заводами. Они предназначены для выполнения операций холодной штамповки из металлических лент в массовом и крупносерийном произ-

44. Комплексы для листовой штамповки

Модель комплекса	Состав комплекса			
	Пресс	Подача	Правильно-разматывающее устройство	Ножницы для резки отходов
ВП-3-10	КД 2120	ВП 38	ПУ8 (ПУ 63)	НП 1
ВП-3-16	КД 2122	ВП 38	ПУ8 (ПУ 63)	НП 1
ЛККД 2122-1	КД 2122	ВП 38	ПУ8 (ПУ 63)	НП 1
АККД 2124-2	КД 2124	ВП 38	ПУ7 (ПУ 160)	НП 1
АККД 2126-1	КД 2126	ВП 38	ПУ7 (ПУ 160)	НП 1
АККД 2128-1	КД 2128	ВП 39	ПУ7 (ПУ 160)	НП 1
АККД 2328-1	КД 2328	ВП 39	ПУ7	НП 2
К18.001	КД 2130А	ВП 40	ПУ9 (ПУ 250)	НП 2
АККД 2330-1	КД 2330	ВП 40	ПУ9 (ПУ 250)	НП 2
АКК 2132А	К 2132А	ВП 37	ПУ10 (ПУ 400)	НП 2
РКП-3-6,3	КД 2118	РКП 10	ПУ8 (ПУ 63)	НП 1
РКП-3-10	КД 2120	РКП 9	ПУ8 (ПУ 63)	НП 1
РКП-2-40	КД 2126	РКП 11	ПУ11 (ПУ 160)	НП 1
КП-3-16	КД 2122	КП 6	ПУ8 (ПУ 63)	НП 1
КП-2-40	КД 2126	КП 7	ПУ7 (ПУ 160)	НП 1

водстве. Автоматы оборудованы двусторонней вальковой подачей и ножницами для резки отходов.

Наряду с комплексами для штамповки из ленты (полосы) применяют комплексы оборудования для штамповки из штучных заготовок.

В табл. 46 приведены типовые робототехнологические комплексы (РТК) на базе кузнечно-прессового оборудования с промышленными роботами.

На рис. 43 представлена типовая роботизированная технологическая линия, построенная на базе типовых РТК.

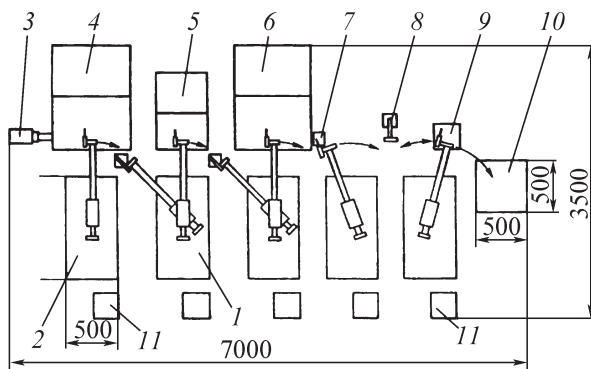


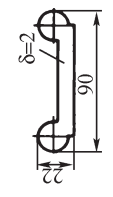
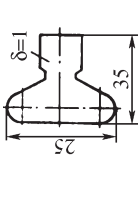
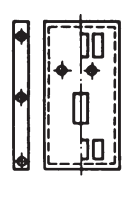
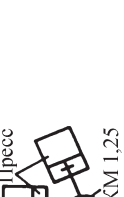
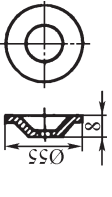

Рис. 43. Роботизированная технологическая линия:

1 — промышленный робот двурукий мод. 7605; 2 — промышленный однорукий робот мод. 7604; 3 — устройство подачи металлической ленты; 4, 6 — пресс 1000 кН; 5 — пресс 400 кН; 7 — промежуточный накопитель; 8 — сварочная машина мод. МТ-2510; 9 — накопитель; 10 — разгрузочное устройство; 11 — устройство управления модели ЭЦПУ-6030

45. Технические характеристики листоштамповочных автоматов с нижним приводом

Параметр	A6214	AB6218A	AB6220A	AB6224A	A6226	AB6228	AA6228A	AA6232A	AA6232A	AA6230
Номинальная сила, кН	25	63	100	250	400	630	630	1600	1600	1000
Ход траверсы, мм	8	20	28	40	28	32	60	50	80	40
Частота ходов траверсы в 1 мин	400...1000	250...00	200...500	120...315	120...315	100...250	80...200	63...160	40...100	80...200
Расстояние между направляющими в свету, мм:										
слева направо	160	220	280	450	560	710	710	1120	1120	900
спереди назад	110	125	140	200	280	360	360	560	560	450
Наибольшая ширина ленты, мм	63	80	100	160	180	250	250	400	400	300
Наибольшая толщина ленты, мм	1,0	1,2	1,4	1,8	2,0	2,2	2,2	3,6	3,6	2,8
Наибольшая подача ленты, мм	32	40	50	110	140	180	180	280	280	240
Наибольшее расстояние между столом и траверсой в ее нижнем положении, мм	160	176	194	250	320	360	346	450	435	400
Величина регулирования расстояния между столом и траверсой, мм	28	32	40	50	50	60	60	80	80	75
Размеры отверстия в столе, мм	125×45	160×55	220×60	360×150	450×190	560×240	560×240	900×380	900×380	710×300
Толщина подштамповой плиты, мм	25	32	32	50	65	80	80	120	120	100
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	2,0	8,0	6,0	5,7	11,0	14,0	8,0	35,0	32,0	19,0
Габаритные размеры, мм	4850×510× ×1350	1500×1285× ×1260	1560×1260× ×1690	1975×1580× ×1850	2360×2100× ×1890	2614×2285× ×2328	2614×2285× ×2314	3450×3280× ×2355	3450×3280× ×2355	2540×3160× ×2145

46. Комплексы на базе кузнечно-прессового оборудования с промышленными роботами

Параметр технических средств комплекса					
Модель. Изготовитель комплекса	Сила прессы	Грузоподъемность робота	УУ ПР	Загрузочно-ориентирующее и сопутствующие устройства	Эскиз
I. Общего применения (типажные)					
АККД2118А-2. Автоматизированный комплекс листоштамповочный. 3-д КПО (г. Курск)	КД2118А 63 кН	КМ0,63Ц.4212 однорукий 0,63 кг	Пневматическое высокого давления 4,5 кг/см ²	УСБ-3, вибробункер, диаметр чаши 630 мм	
	КД2118А 63 кН	КМ0,08Ц.4211 однорукий 0,08 кг			
Л614. Линия автоматическая для листоштамповки. 3-д КПО (г. Тюмень)	КД2122Е 160 кН	РПД1,25 двурукий 1,25 кг	УЦМ-663	ПШ-1, питатель шиберный	
	КД2122Е 160 кН	КМ1,25Ц.4216 двурукий 1,25 кг			
РТУ 2.2122Е.01. Участок роботизированный для листовой штамповки. 3-д КПО (г. Тюмень)	КД2122Е 160 кН	КМ1,25Ц.4216 двурукий 1,25 кг	Пневматическое высокого давления 4,5 кг/см ²	УСБ-3 вибробункер, диаметр чаши 630 мм	
	КД2122Е 160 кН	КМ0,63Ц.4212 однорукий 0,63 кг			

Л612. Линия автоматическая для листовой штамповки. 3-д КПО (г. Сальск)	КД2124Е 250 кН	РПД1,25 двурукий 1,25 кг	УЦМ-663	ПШ-1, питатель шиберный		$\delta = 1,0...2,5$; $d_{\max} = 90$; $l_{\max} = 90 \times 90$
АККД2126Г.01. Автоматизированный комплекс листоштамповочный. 3-д КПО (г. Сальск)	КД2126Г 400 кН	КМ1,25Ц.4216 двурукий 1,25 кг		Накопитель 6-позиционный		$\delta = 1,0...4,0$; $l = 25 \times 100...25 \times 150$
АККД2128Е.01. Автоматизированный комплекс листоштамповочный. 3-д КПО (г. Сальск)	КД2128Е 630 кН	ПР агрегатный, двурукий 2,5 кг		МУПР-1, магазинное устройство		$\delta = 0,5...2,0$; $l_{\max} = 250 \times 250$

II. Специального применения

К50.804.1. Комплекс для автоматизации клеймения маркировки крышки. ПКТИ кузубот. 3-д «Прибой» (г. Таганрог)	КД2118А 63 кН	1. КМ0,63Ц.4212 0,63 кг 2. ПР-разгрузчик специальный	УЦМ-663	Накопитель 6-позиционный (2 шт.)		$\delta = 0,5...2,0$; $l_{\max} = 65 \times 190...85 \times 271$
Л622. Комплекс листоштамповочный. ПКТИ кузубот (г. Таганрог). Электромеханический завод (г. Казань)	КД2124 250 кН	1. РПД1,25 однорукий 1,25 кг 2. КМ0,63Ц.4201 0,63 кг	УЦМ-663	УМР-1, устройство магазинное		$\delta = 0,5...2,0$; $l_{\max} = 65 \times 190...85 \times 271$
К50.7073—4056. Комплекс листоштамповочный. ПКТИ кузубот (г. Таганрог)	КД2126 400 кН	КМ0,63Ц.4212 однорукий 0,63 кг		УСБ-3, вибробункер, диаметр чаши 630 мм		

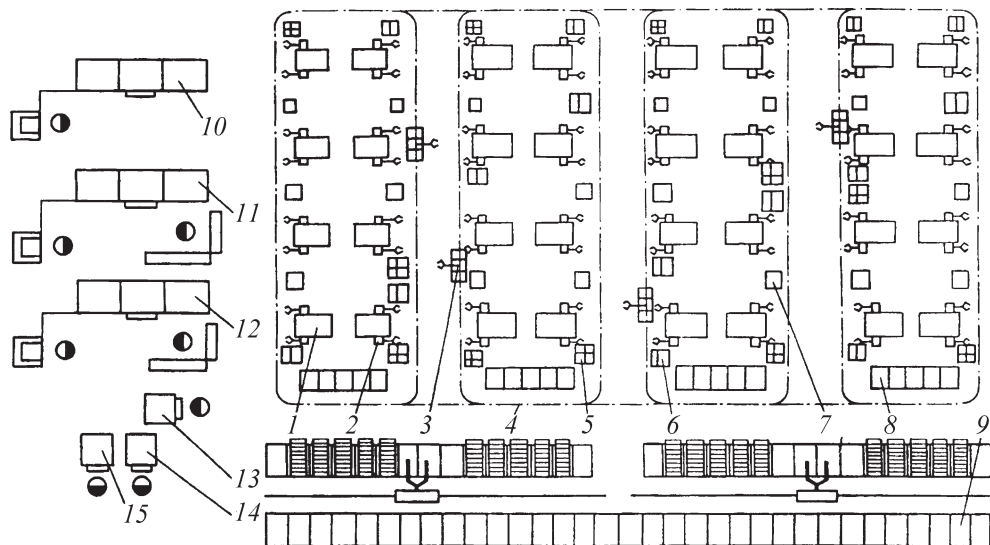


Рис. 44. Схема участка ГПС ХЛШ:

1 — механические прессы мод. КД 2122Е, КД 2124Е, КД 2126; 2 — промышленные роботы мод. МП-9С и мод. РФ-202М; 3 — транспортный подвижный ПР мод. МП-16Т; 4 — трасса транспортного ПР; 5, 6 — загрузочное и разгрузочное устройства; 7 — межоперационное ориентирующее устройство; 8 — приемопередающее устройство; 9 — роботизированный складской комплекс мод. РСК-250; 10 — управляющая вычислительная машина; 11 — АРМ 02-01 конструктора; 12 — АРМ 02-01 технолога; 13 — микроЭВМ (оборудования); 14 — микроЭВМ (транспорта); 15 — микроЭВМ (склада)

На рис. 44 показана схема участка гибкой производственной системы (ГПС) холодной листовой штамповки

для изготовления широкой номенклатуры деталей.

Глава 10

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КОВКИ И ШТАМПОВКИ

1. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КОВКИ И ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

Структура САПР. Конфигурация конкретной системы определяется требуемой степенью компьютеризации общего производственного цикла, а также сложившимися традициями и методологией проектирования. Возможны как комплексная автоматизация, объединяющая системы автоматизации инженерного труда, технологической подготовки производства, управления производством и технологическим оборудованием, так и частичная, включающая только те компоненты, которые могут быть реализованы на действующем предприятии. На рис. 1 представлен вариант структуры САПР процессов горячей объемной штамповки.

Обеспечение САПР включает информационные, программные и технические средства. Информационные средства состоят из входной и выходной информации. Входную информацию разделяют на оперативную и условно-постоянную.

К оперативной информации относят сведения о конкретном объекте разрабатываемого технологического процесса, а также ограничения и требования со стороны заказчика или действующего производства. К условно-постоянной относятся общие для рассматриваемого класса технологических процессов нормативные и справочные данные, рекомендации руководящих технических материалов, на-

учно обоснованных методик и экспериментальных исследований.

Оперативная информация формируется на базе основного исходного документа-чертежа детали и включает: номер детали; материал детали с указанием номера ГОСТа или технических условий; геометрический образ детали; характерные признаки детали, относящие ее к определенной группе и подгруппе по классификатору; данные о качестве поверхностей; режиме термической обработки и твердости, а также об объеме производства, степени автоматизации технологических процессов штамповки и последующей механической обработки.

Условно-постоянная информация объединяется в базу данных и включает: таблицы припусков на поковки, допусков на размеры поковки; наименьшие размеры элементов поковки, выполняемые штамповкой; нормальные ряды штамповочных уклонов и радиусов закруглений; допустимые величины смещения штампов и эксцентricности отверстий; классификаторы поковок и рекомендуемые технологические операции их изготовления; марки материалов поковок с указанием параметров технологических процессов отрезки, нагрева, штамповки, охлаждения, обрезки, калибровки, правки, термической обработки; кривые упрочнения применяемых материалов, диаграммы предельных деформаций, диаграммы рекристаллизации; теплофизические свойства материалов поковок, штампов и пограничных слоев; сортамент исходных материалов; допустимые отклонения геометрической и массовой

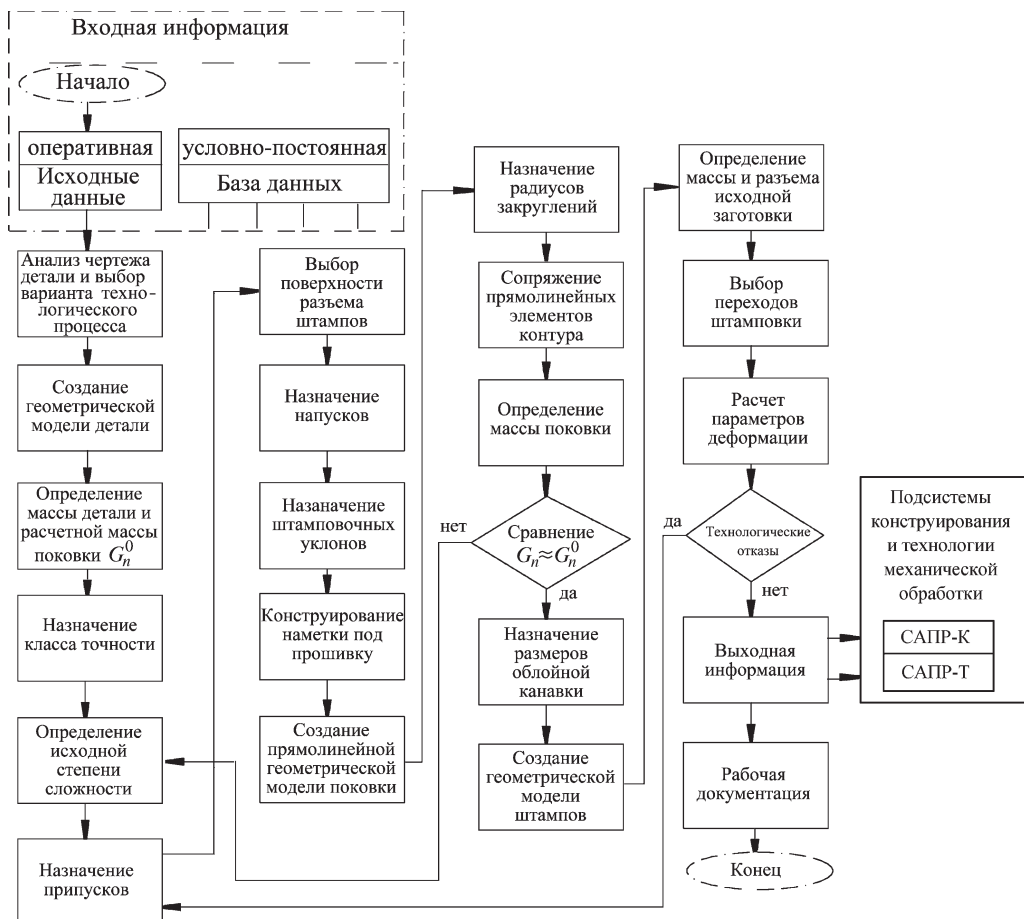


Рис. 1. Структура автоматизированного проектирования технологических процессов горячей объемной штамповки

точности отрезаемых заготовок; температурные режимы резки; допуски на прокат; длины прутков; длины удаляемых дефектных концов; сортамент технологических смазок с рекомендациями по их применению; типажные номера и технические характеристики основного и вспомогательного технологического оборудования; таблицы норм времени на выполнение основных и вспомогательных операций; норм расхода материалов, а также разрядов и тарифных ставок операторов.

Программное обеспечение (ПО) САПР должно состоять из основных и обслужи-

вающих подсистем; его типовая структура показана на рис. 2.

Состав обслуживающих подсистем:

подсистема сопровождения программного обеспечения включает набор программных модулей, средства для разработки структурных схем алгоритмов, интерактивного взаимодействия с пользователем, отладки программ. Этот набор инструментов дает возможность пользователю расширять базовые программно-методические комплексы в соответствии с конкретными задачами проектирования;



Рис. 2. Структура программного обеспечения САПР

подсистема управления проектом необходима для координации и синхронизации процедур, выполняемых разными исполнителями; слежения за ходом проектирования; отбора и утверждения лучших вариантов;

подсистема интеграции программного обеспечения необходима для обеспечения взаимодействия программ в маршруте проектирования;

банк данных состоит из баз данных и системы управления базами данных и предназначен для информационного обеспечения проектирования.

Состав основных подсистем:

подсистема машинной графики и геометрического моделирования (ПМГ и ГМ) включает средства синтеза конструкций, создания конструкторской документации, интерактивного преобразования графической информации, выполнения метрических расчетов;

проектирующие подсистемы выполняют задачи: полную или частич-

ную разработку этапов технологического процесса штамповки; моделирования и анализа динамических объектов, к которым относятся деформируемая заготовка и рабочие элементы штампа; конструирования штампов, приспособлений и шаблонов; разработки технологических процессов механической обработки деталей штампов, приспособлений и шаблонов.

Средства проектирования узлов и деталей объединяются в конструкторской подсистеме САПР-К. Основные средства САПР-К используются для разработки компоновочных схем, сборочных чертежей и чертежей деталей. Эти процедуры выполняются в интерактивном режиме работы с ЭВМ при помощи ПМГи ГМ.

Средства, включенные в САПР-К, выполняют следующие функции:

типовые функции пакетов машинной графики и геометрического моделирования;

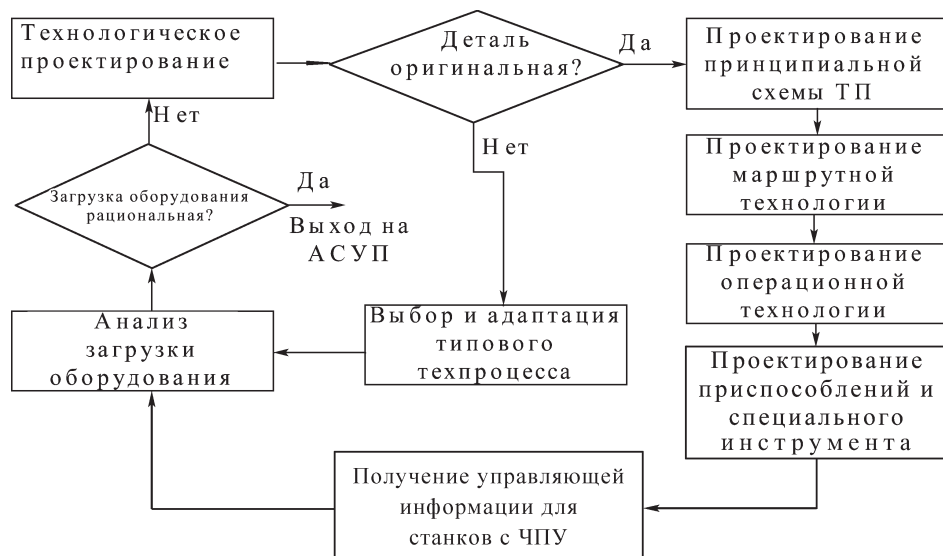


Рис. 3. Типовой маршрут проектирования технологического процесса механической обработки

информационное обеспечение конструирования с помощью баз типовых конструктивных элементов и типовых графических фрагментов.

Исходная информация для САПР-К, включающая геометрический образ и размеры горячей поковки и полуфабрикатов по переходам, форму и размеры облойной канавки, размеры исходной заготовки, поступает из САПР технологических процессов горячей объемной штамповки. Взаимодействие программ и общий интерфейс в маршрутах проектирования обеспечивается подсистемой интеграции программного обеспечения. Выходная техническая документация, создаваемая САПР-К, включает: сборочные чертежи штамповых блоков; рабочие чертежи деталей штамповых блоков; рабочие чертежи штамповых вставок; рабочие чертежи шаблонов для изготовления ручьев штампов и контроля поковок.

Автоматизированное проектирование технологических процессов механической обработки деталей штампов выполняется в подсистеме, обозначае-

мой САПР-Т. Типовой маршрут проектирования показан на рис. 3.

Для неоригинальных деталей разработка технологического процесса сводится к конкретизации параметров типовой обобщенной технологии, созданной ранее для рассматриваемого класса деталей. Для оригинальных деталей выполняются все этапы проектирования технологического процесса, включающие разработку принципиальной схемы технологического процесса, маршрутной и операционной технологий, проектирование оснастки, инструмента и синтез управляющих программ для станков с ЧПУ.

Для автоматизации процедур синтеза маршрутной и операционной технологий, выбора оснастки, оборудования, инструмента, расчета режимов обработки подсистема САПР-Т оснащается следующими средствами:

программной поддержкой конкретных видов обработки деталей (точение, фрезерование, растачивание, сверление, шлифование, нарезание резьб и др.);

программами построения траекторий движения инструмента и рабочих органов технологического оборудования;

1. Конечно-элементное ядро системы

Параметр	Характеристика параметра
Решаемая задача	Двухмерная — осесимметричная или плоская (Qform), двухмерная и трехмерная — объемная (Qform2D/3D) нестационарная, связанная, неизотермическая
Область решения	Односвязная, произвольной формы
Метод решения	Метод конечных элементов, смешанная постановка (узловые неизвестные — скорость и среднее напряжение)
Элементы	Криволинейные треугольные, шестиузловые, с квадратичной аппроксимацией скорости и линейной аппроксимацией среднего напряжения (2D), тетраэдры (3D)
Способ реализации граничных условий	Моделирование смешанных граничных условий с учетом трения и возможности отрыва металла от штампа
Триангуляция области	Автоматическая с использованием метода выравнивания-выемки, адаптация по кривизне контура, регенерация сетки и пересчет полей на каждом временном шаге (2D)

библиотекой постпроцессоров для различных типов технологического оборудования;

технологическими базами данных (архивы индивидуальных и типовых технологических процессов и управляющих программ, данные о материалах, режимах резания, средствах технологического оснащения);

программами и базами данных для проектирования технологических процессов;

программами расчета режимов резания;

средствами оформления технологической документации.

Наиболее сложной составной частью САПР горячей объемной штамповки является программно-методический комплекс (ПМК) моделирования и анализа пластического течения деформируемой заготовки в условиях теплообмена и с учетом упругой деформации инструмента. Из иностранных ПМК наиболее известны DEFORM, Autoforge/Superforge, FORGE; из отечественных — QForm 2D и его версия QForm 3.0, получившая название QForm 2D/3D.

Главные особенности двух последних систем, которые выдвигают их в

ряд предпочтительных, состоят в следующем:

QForm — объектно-ориентированная система, интегрированная в операционную систему Windows.

конечно-элементный алгоритм работает автоматически. Это обеспечивает независимость точности получаемых результатов от квалификации пользователя.

вывод результатов производится одновременно с расчетом.

моделируется вся технологическая цепочка, включая операции формоизменения и вспомогательные операции (охлаждение, нагрев, и т.д.). Расчет всей технологической цепочки производится автоматически.

Комплексы QForm 2D и QForm 2D/3D состоят из ядра, графических пре- и постпроцессоров, базы данных и монитора. Ядра систем включают в себя математическую модель пластического формоизменения при осесимметричной, плоской и объемной (QForm 2D/3D) деформации, разработанную на основе метода конечных элементов (табл. 1).

Комплексы дают возможность:

анализировать формоизменение поковки (подбор заготовки необходимых

автоматически. Расчетная масса поковки $G_n^0 = G_d K_p$; коэффициент K_p выбирается в зависимости от типа поковки ($K_p = 1,3...2,2$).

Класс точности поковок устанавливаются в зависимости от выбранного типа оборудования и штампов и с учетом требований, предъявляемым к точности размеров поковки последующими технологическими процессами механической обработки: универсальное оборудование 4–5 кл., автоматизированные линии 2–3 кл., обрабатывающие центры 1–2 кл.

Степень сложности (исходная) определяют как отношение расчетной массы (объема) поковки к массе (объему) описанного цилиндра или параллелепипеда для поковок, не имеющих осевой симметрии.

Исходный индекс поковки устанавливается в зависимости от массы поковки, класса точности, степени сложности и марки стали. Эти характеристики должны быть указаны на чертеже поковки.

Припуски на механическую обработку назначаются только на обрабатываемые поверхности. На прямолинейных участках контура назначаются основные припуски в зависимости от исходного индекса, линейного размера и шероховатости поверхности и дополнительные, учитывающие смещение штампов, отклонение от плоскостности, отклонения угловых размеров, межцентровых и межосевых расстояний. На криволинейных участках припуск вычисляют как полусумму припусков, назначенных на сопрягаемые элементы контура, и уточняют при назначении радиусов закруглений.

Плоскость разреза. Положение плоскости разреза трудно формализовать, так как оно влияет на подлежащие определению параметры штамповки и может изменяться в процессе моделирования. Лучшие результаты достигаются в интер-

активном режиме анализа влияния формы и положения плоскости разреза на параметры формоизменения. Если поковка имеет плоскость симметрии, то плоскость разреза с ней совмещается.

Кузнечные напуски назначаются в тех случаях, когда: диаметр углубления или прошиваемого отверстия $d_{\text{отв}} < 30$ мм; минимальная ширина кольцевой полости $b_{\text{min}} < 10 + 0,0625 D_{\text{п}}$ ($D_{\text{п}}$ — диаметр поковки); глубина кольцевой полости $h < 0,8b$. Если размеры перечисленных элементов превышают минимальные, то: максимально допустимая общая глубина центральной наметки $H_{\text{отв}}^{\text{max}} = d_{\text{отв}}$; максимально допустимая глубина глухой полости $h = 0,8d_{\text{отв}}$.

Штамповочные уклоны выбираются из нормализованного ряда $1^\circ, 3^\circ, 5^\circ, 7^\circ, 10^\circ$. Штамповочные уклоны на внутренней поверхности поковки устанавливаются на $2^\circ...3^\circ$ больше, чем на наружной. Точки пересечения отрезков, выходящих из верхней и нижней вершин контура поковки и образующих уклоны как наружных, так и внутренних поверхностей, должны пересекаться в плоскости разреза; в противном случае корректируется угол того уклона, который образует меньший

Наметка под прошивку при одноручье штамповке выполняется плоской, если диаметр прошиваемого отверстия меньше 80 мм, или с раскосом, если диаметр отверстия больше 80 мм. При наличии предварительно ручья в нем выполняется наметка с раскосом для всех диаметров отверстий; при штамповке в окончательном ручье конструируется наметка с магазином, если $d_{\text{отв}} < 55$ мм. Толщина перемычки под прошивку принимается: для плоской наметки $s = 0,1d_{\text{отв}}$, но не менее 6 мм; для наметки с раскосом $s_{\text{min}} = 0,65s$, $s_{\text{max}} = 1,35s$.

Радиусы закруглений вершин контура, образующего наружные элементы поковки, определяются из условия:

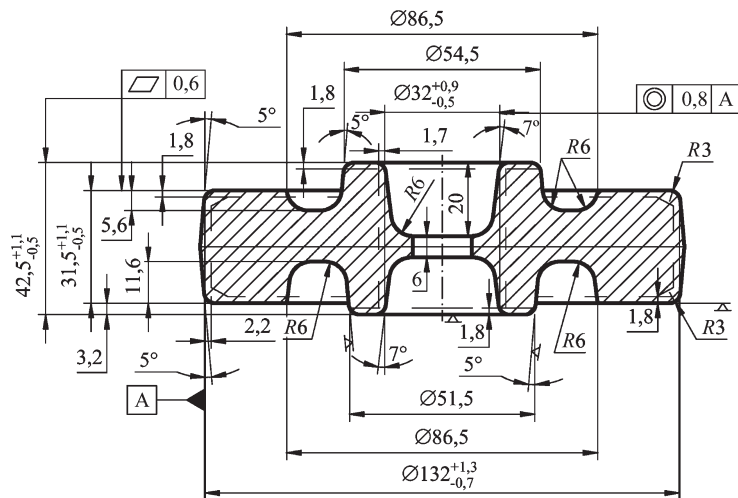


Рис. 5. Чертеж поковки

$r = \max\{r; r_{\text{нар}}\}$, где r — радиус закругления, обеспечивающий требуемое значение припуска на криволинейном участке контура, $r_{\text{нар}}$ — минимальный наружный радиус закруглений, зависящий от массы поковки и глубины полости ручья штампа. Если $r > r_{\text{нар}}$, то из нормального ряда 1; 1,6; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 7; 8 мм выбирают ближайшее к найденному r большее значение; если $r < r_{\text{нар}}$ необходимо увеличение основных припусков. Внутренние радиусы закруглений назначают в пределах $R = (2,0 \dots 3,0)r$; их величина подлежит корректировке в случае возникновения дефектов типа прострелов.

Допуски на линейные размеры поковок устанавливают в зависимости от исходного индекса и размеров поковки. Допуски на размеры по высоте, связанные с износом штампов и недоштамповкой, устанавливают по наибольшему из них и они сохраняются неизменными для всех размеров по высоте.

Геометрическая модель поковки (рис. 5) может быть создана автоматически по модели детали, но не непосредственно в ПМК моделирования или ПМГ и ГМ, а с использованием

самостоятельного программного обеспечения, позволяющего построить математическую модель поковки и сохранять ее в файлах, поддерживаемых САД-системами. Более предпочтительным, а для трехмерных моделей единственным, является прямое проектирование поковки в САД-системах.

Контур поковки (правая половина), используемый для последующих расчетов, создается в ПГМиМГ или в графическом редакторе ПМК моделирования по чертежу поковки путем увеличения наружных размеров на половину положительных отклонений полей допусков и уменьшения внутренних размеров и диаметров отверстий на половину отрицательных отклонений (рис. 6).

Объем поковки вычисляется автоматически. Его значение и вычисленную по ней степень сложности сравнивают с расчетным объемом и с исходной степенью сложности. В случае их значительного расхождения полученные величины принимают за исходные, и геометрическая модель поковки строится заново.

Размеры облойной канавки молотового штампа (рис. 7, а) устанавливают

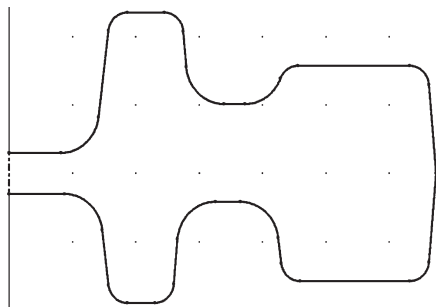


Рис. 6. Контур поковки

в зависимости от диаметра поковки $h_0 = 0,015D_n$ и по данным табл. 3.

При штамповке одинаковых поковок для прессовых штампов высоту мостика h принимают на 0,5...1,0 мм больше, а ширину на 1,0...2,0 мм меньше, чем для молотовых (рис. 7, б).

Геометрическая модель гравюры штампов создается путем добавления в контур поковки (рис. 7, б) облойной канавки и построения замкнутых кон-

туров верхнего и нижнего инструментов (рис. 8).

Полученные контуры поковки и штампов экспортируются в подходящий формат ПМК моделирования. Например, в QForm 2D встроен собственный графический редактор QDraft (Quick Draft), выполняющий подготовку чертежа в виде исходных данных для моделирования и являющийся программой сопряжения между CAD-системами и программой моделирования.

Массу исходной заготовки определяют как сумму масс поковки, облоя и угара заготовки $D_{з,р} = 1,08(V_n / m)^{1/3}$, где V_n — объем поковки (см. п. 4); $m = D_3 / H_3$ ($1,25 \leq m \leq 2,5$; обычно принимается $m = 2$). Полученный расчетный диаметр округляют до ближайшего большего стандартного значения, по которому находят расчетную высоту $H_{з,р}$.

Компенсация потерь в облой производится за счет увеличения расчетной

3. Размеры облойных канавок

h_0 , мм	b , мм	h_1 , мм	R_1 , мм
1,0...1,5	4...5	5	15
1,5...2,0	4...6	6	15
2,0...2,5	5...6	6	20
2,5...3,0	6	6...8	20
3,0...4,0	6...8	8	25
4,0...5,0	8...12	9...12	30

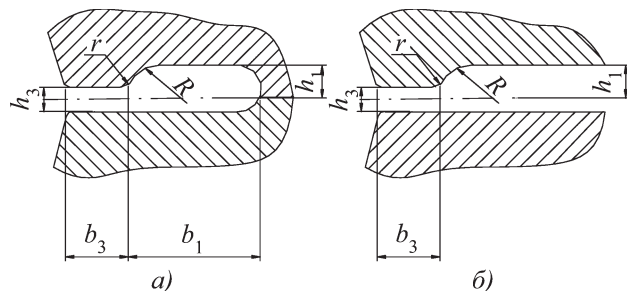


Рис. 7. Облойные канавки

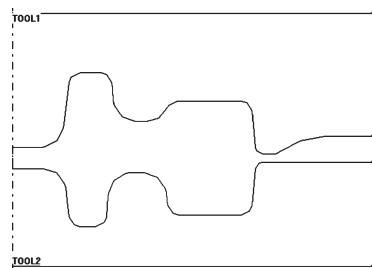


Рис. 8. Контуры штампов

высоты в 1,05...1,1 раза в зависимости от степени сложности поковки и дополнительно для компенсации угара на 1 % при индукционном нагреве и на 3 % при пламенном; таким образом высота исходной заготовки $H_3 = (1,06...1,13)H_{з.р.}$.

Выбор переходов штамповки представляет сложную задачу теории обработки давлением и пока не имеет удовлетворительного решения, поскольку не ясна структура алгоритма ее формализации. При штамповке круглых в плане поковок эта проблема возникает достаточно редко лишь при необходимости получения глубоких полостей или фланцев сложной формы. Для таких поковок применяется заготовительный формовочно-прошивной ручей или предварительный штамповочный, форма и размеры которых выбираются пользователем. ПМК QForm позволяют моделировать процесс штамповки с любым количеством переходов, однако заключение об их эффективности и необходимости остается за технологом. В подавляющем большинстве случаев круглые в плане поковки штампуются в два перехода — предварительная осадка и штамповка в окончательном ручье.

Моделирование предварительной осадки в ПМК QForm 2D выполняется путем построения моделей осадочных плит и исходной заготовки и сохранения их в CRS-формате (рис. 9). Высота осаженой заготовки H определяется условиями ее центровки в штамповочном ручье



Рис. 9. Моделирование осадки

и зависит от диаметра поковки. Рекомендуемая высота осаженой заготовки $H = H_{п.}$. В случае выявления дефектов при штамповке в окончательном ручье размер H может быть изменен.

ПМК должны предусматривать анализ формоизменения в условиях теплообмена. Охлаждение заготовки происходит не только при деформации, но также при переносе ее из нагревательного устройства к прессу и в штампе в течение промежутка времени от укладки до начала осадки. Потери тепла могут быть значительными и потому температурные поля подлежат расчету (рис. 10, а) и последующему сравнению с температурными интервалами штамповки, хранящимися в базе данных. Для выполнения расчета необходимо указать материал заготовки, температуру нагрева заготовки и штампов, время транспортировки, время нахождения в штампе до начала осадки, тип штамповочного агрегата с требуемыми параметрами, расстояние между плитами в нижнем положении применяемую смазку.

Для анализа волокнистости структуры в ПМК QForm предусмотрена возможность нанесения на заготовку сетки лагранжевых линий. Результаты расчета приведены на (рис. 10, б).

Кроме приведенных результатов рассчитываются также поля накопленных деформаций, среднего напряжения, сила и работа деформации в зависимости от текущей высоты заготовки. Если полученные расчетные параметры удовлетворяют технологическим требованиям, то выполняется переход к следующей позиции расчета; если нет, то вносятся изменения в исходные данные по температурам, параметрам оборудования, размерам заготовки, составу смазки, и расчет повторяется.

Окончательная штамповка (или предварительная, если такой ручей предусмотрен) моделируется с соблюдением той же процедуры и с теми ис-

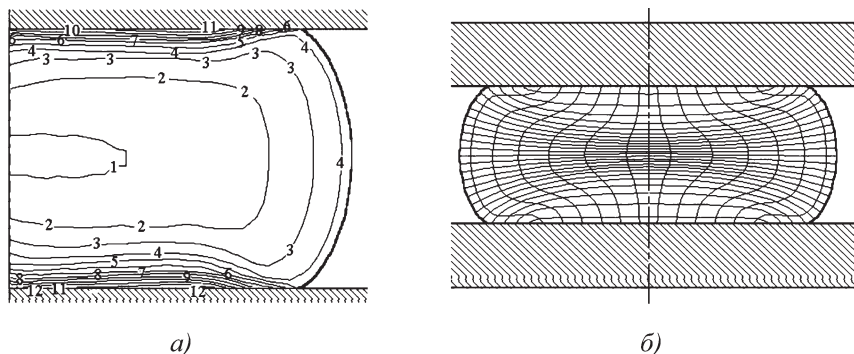


Рис. 10. Температурное поле (а), искажение волокон (б)

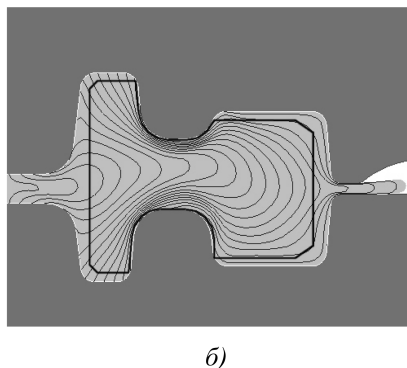


Рис. 11. Изменение силы деформации (а), пересечение волокон контуром детали (б)

ходными данными, что и осадка. Выходными данными являются поля напряжений, деформаций, форма волокон, энергосиловые параметры процесса (рис. 11).

Технологические отказы — отклонения параметров процесса деформации от предполагаемых на данном шаге моделирования, приводящие к возникновению в поковке дефектов, вид или уровень которых выходит за пределы, установленные чертежом и техническими условиями. Технологические отказы возникают в связи с незаполнением гравюры штампа, недопустимым изменением формы и размеров элементов поковки из-за упругих или пластических деформаций инструмента, образованием зажимов и прострелов и трещин, повышенной неравномерно-

стью деформаций, несоответствием формы волокон требуемому виду макроструктуры. ПМК QForm 2D позволяют визуализировать большинство дефектов, что значительно облегает их выявление и анализ (рис. 12).

При моделировании зажим обозначается красной линией (рис. 12, а); прострел моделируется искривлением поверхностных линий (рис. 12, б, в); прогнозирование разрушения производится по величине истощения ресурса пластичности Ψ ($0 \leq \Psi \leq 1$). Формализация и автоматическое нахождение путей корректировки параметров технологии, устраняющих вероятность возникновения технологических отказов, невозможно, поэтому принятие решений остается за технологом. Если отказы выявляются, то необходим перерасчет па-

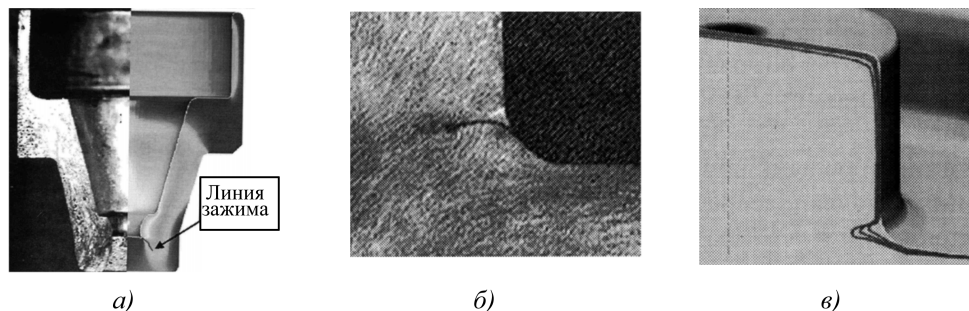


Рис. 12. Образование зажима (а) и прострела (б, в)

раметров технологического процесса, начиная с разработки чертежа поковки.

Моделирование штамповки поковки с удлиненной осью (рис. 13, а) возможно как в двухмерной, так и в трехмерной постановках. Двухмерная модель предпочтительна в том случае, когда стержень поковки имеет малую конусность, а форма головок близка к осесимметричной. При надлежащем профилировании исходной заготовки в штамповочных ручьях течение металла в продольном направлении практически отсутствует, т.е. деформация приближается к плоской. В этом случае моделируется течение в ряде поперечных сечений, размеры которых на заданной длине отличаются незначительно (рис. 13, б). Сечения должны быть расположены перпендикулярно к оси поковки (прямой или изогнутой). Помимо конфигурации попе-

речного сечения необходимо задавать его протяженность вдоль оси поковки (рис. 13, в) для вычисления силы деформации, считая давление на выделенном участке постоянным. Общее сила штамповки складывается из сумм сил по участкам. Контуром исходной заготовки для стержневой части поковки является окружность, ограничивающая площадь, равную сумме площадей рассматриваемого поперечного сечения и облоя и увеличенную 1,01–1,03 раза для учета угара. Деформация головок предполагается осесимметричной и моделируется по изложенной ранее процедуре. Для установления необходимости применения и последующего проектирования заготовительных ручьев 1-го рода строят расчетную заготовку, используя полученные ранее значения площадей поперечных сечений и пересчитав их в диаметры

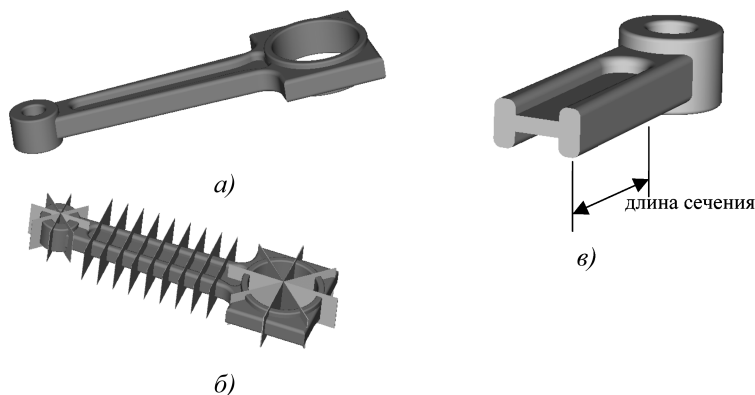


Рис. 13. Поковка (а); расположение сечений (б); протяженность сечения (в)

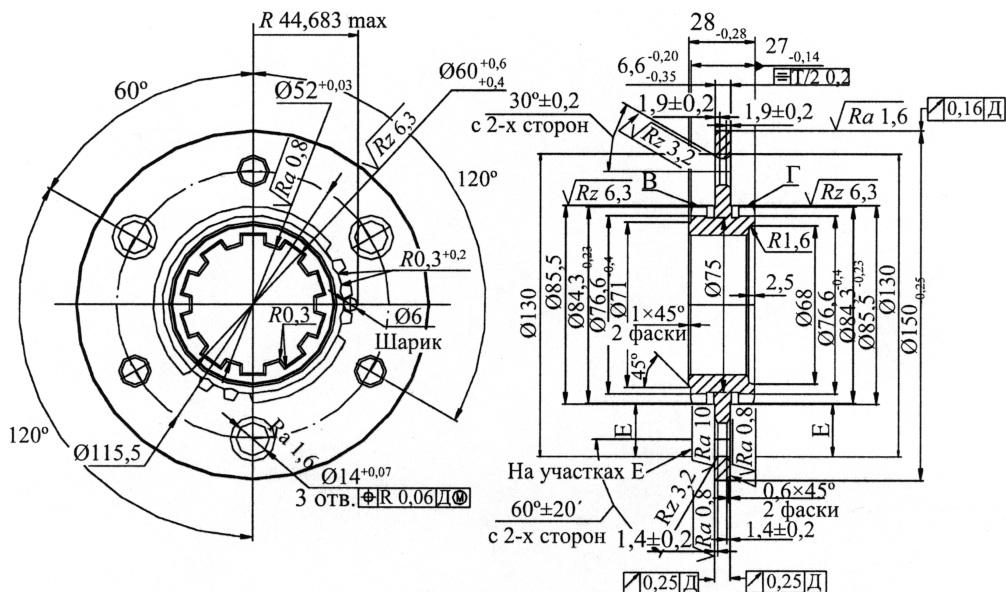


Рис. 14. Чертеж детали «Каретка»

равных по площади окружностей по формуле $d_3 = 1,13\sqrt{F}$.

Моделирование штамповки поковок типа рычагов с головками сложной формы, кулаков, поковок с отрезками и развилинами и других, а также ряда операций ковки, в частности протяжки, необходимо выполнять в трехмерной постановке. Принципиальных отличий в алгоритмах двумерного и трехмерного моделирования нет, поэтому в ПМК QForm 2D/3D обе задачи решаются в одной программе. Для выполнения трехмерного моделирования исходная геометрическая информация должна быть представлена не плоскими контурами сечений, а твердотельными моделями заготовки и штампов.

Структура и объем выходной информации определяются степенью автоматизации проектирования, технологической подготовки производства и требованиями, предъявляемыми к форме и содержанию технической документации. Помимо результатов моделирования в выходную информацию должна быть включена необходимая информа-

ция из базы данных, а также информация, полученная на промежуточных этапах проектирования.

Для построения чертежа поковки необходимы следующие данные: наименование и номера чертежей поковки и детали; марки материала и его заменителей; ГОСТ на марку материала и его заменителей; геометрический образ и размеры поковки; допускаемые отклонения контролируемых размеров; положение установочных баз для механической обработки; масса поковки (номинальная); допуск на смещение (сдвиг) штампов; допускаемая эксцентricность поверхностей; допускаемая глубина местных поверхностных дефектов; допуски на прогиб и коробление; допуски на ширину заусенца по линии разреза; допуски на ширину заусенца в отверстиях.

Для оформления технологической карты штамповки в подсистеме ПМГи ГМ необходимы следующие данные: наименование и номер чертежа детали; марка материала; ГОСТ на марку материала; диаметр заготовки; ГОСТ на сортament; вид поставки проката; длина за-

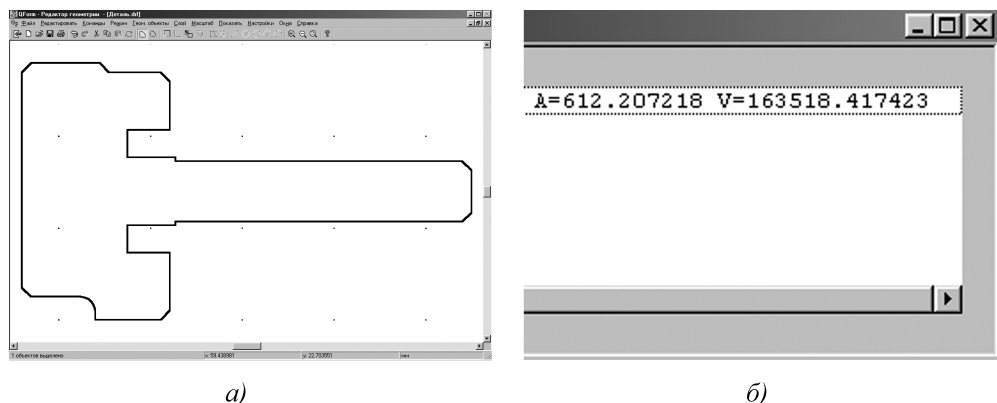


Рис. 15. Контур детали в редакторе QDraft (а), окно информации (б)

готовки; число поковок, получаемых от одной заготовки; массу заготовки; массу чистой детали (номинальная); масса поковки (номинальная); норму расхода материала; геометрический образ поковки; размеры поковки; отходы в угар, облой и выдру в килограммах и процентном выражении; размеры облойной канавки; наименование технологических операций; наименование, тип, мощность и код технологического оборудования для каждой операции; наименование и тип контрольно-измерительного инструмента; число исполнителей на операции; нормы времени на выполнение операций; данные об операциях перемещения и складирования.

Для проектирования штампов, измерительного и технологического инструмента необходимо иметь следующую информацию: геометрический образ и размеры горячей поковки и штамповочных переходов, размеры исходной заготовки и облойной канавки. Разработка и изготовление конструкторской документации выполняется в подсистеме конструирования САПР-К.

Для автоматического составления программы механической обработки поковок и изготовления штампов на станках с программным управлением необходимо иметь геометрические образы и размеры чистой детали, по-

ковки и штампов для их последующего экспорта в подсистему САПР-Т.

Пример разработки технологического процесса горячей объемной штамповки. Исходные данные: чертеж детали; тип оборудования — кривошипный горячештамповочный пресс; нагрев индукционный.

Химический состав стали 25ХГТ; 0,22...0,29 % С; 0,17...0,37 % Si; 0,8...1,1 % Mn; 1,0...1,3 % Cr; 0,03...0,09 % Ti; не более 0,035 % P; не более 0,35 S; не более 0,3 Cu; не более 0,3 % Ni.

Масса детали:

$$G_d = V_d \rho,$$

где $V_d = 0,000164 \text{ м}^3$ — объем детали определяют с помощью графического редактора QDraft ПМК QForm 2D (рис. 15); $\rho = 7885 \text{ кг/м}^3$ — плотность материала детали (стали);

$$G_d = 0,000164 \cdot 7885 = 1,293 \text{ кг.}$$

Разработка чертежа поковки по ГОСТ 7505—89.

Масса поковки расчетная:

$$G_{п.р} = G_d K_p,$$

$K_p = 1,8$ — расчетный коэффициент.

$$G_{п.р} = 1,293 \cdot 1,8 = 2,327 \text{ кг.}$$

Класс точности — Т4.

Средняя массовая доля углерода в стали 25ХГТ 0,255 %; суммарная массовая доля легирующих элементов 3,1 % (0,27 % Si; 0,95 % Mn; 1,15 % Cr; 0,06 % Ti; 0,035 % P; 0,035 % S; 0,3 % Cu; 0,3 % Ni).

Группа стали — М2.

Размеры описывающей поковку фигуры (цилиндр), мм:

диаметр $D = 157,5$ мм ($150,0 \cdot 1,05$);

высота $H = 29,4$ мм ($28 \cdot 1,05$).

Масса описывающей поковку фигуры:

$$G_{\phi} = V_{\phi} \rho;$$

$$\text{где } V_{\phi} = \frac{\pi D^2}{4} H \text{ — объем фигуры (цилиндра); } G_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 0,150^2}{4} \cdot 0,0294 \cdot 7885 = 4,095 \text{ кг; } \frac{G_{\text{п.р}}}{G_{\phi}} = \frac{2,327}{4,095} = 0,568.$$

Степень сложности — С2.

Конфигурация поверхности разреза штампа — П (плоская).

Исходный индекс — 12.

Основные припуски на размеры, мм:

1,8 — диаметр 150 мм и шероховатость поверхности $R_z = 1,6$ мкм;

1,4 — диаметр 85,5 мм и шероховатость поверхности $R_z = 6,3$ мкм;

1,9 — диаметр 52 мм и шероховатость поверхности $R_z = 0,8$ мкм;

1,4 — толщина 28 мм и шероховатость поверхности $R_z = 6,3$ мкм;

1,8 — толщина 6,6 мм и шероховатость поверхности $R_z = 0,8$ мкм.

Дополнительные припуски, учитывающие отклонение от плоскостности — 0,4 мм; смещение по поверхности разреза штампа — 0,3 мм.

Радиусы закругления наружных углов — 2,0 мм (минимальный), принимаем 3,0 мм. Радиусы закругления внутренних углов $R_{\text{в}}$, принимаем 5 мм.

Штамповочные уклоны:

на наружной поверхности — не более 5° , принимаем 5° ;

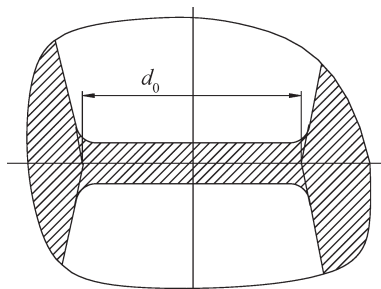


Рис. 16. К определению размера выдры

на внутренней поверхности — не более 7° , принимаем 7° .

Отверстия менее 30 мм — не выполняют.

Высоту перемычки под прошивку $h_{\text{п}}$ определяют как 0,1 диаметра отверстия, но не менее 6 мм; $h_{\text{п}} = 0,1(52 - (1,9 + 0,3)2) = 4,76$ мм.

Принимаем: $h_{\text{п}} = 6$ мм.

Величина углубления в поковке под прошивку 12,75 мм — не более 0,8 диаметра отверстия: $0,8(52 - 2(1,9 + 0,3)) = 38,08$ мм.

Диаметр пробиваемого отверстия (выдры):

$$d_{\text{в}} = d_0 - 0,4 R_{\text{в}},$$

где d_0 — расстояние между точками пересечения контуров штамповочных уклонов с плоскостью разреза (рис. 16), $d_{\text{в}} = 44,5 - 0,4 \cdot 5 = 42,5$ мм

Основные размеры поковки, мм (рис. 17):

диаметр $150,0 + (1,8 + 0,3)2 = 154,2$; принимаем 154,5;

диаметр $85,5 + (1,4 + 0,3)2 = 88,9$; принимаем 89,0;

диаметр $52 - (1,9 + 0,3)2 = 47,6$; принимаем 47,5;

толщина $28 + (1,4 + 0,4)2 = 31,6$; принимаем 31,5;

толщина $6,6 + (1,8 + 0,4)2 = 11,0$; принимаем 11,0.

Допускаемые отклонения размеров, мм:

диаметр $154,5^{+1,6}_{-0,9}$; диаметр $89,0^{+1,4}_{-0,8}$; диаметр $47,5^{+1,4}_{-0,8}$;

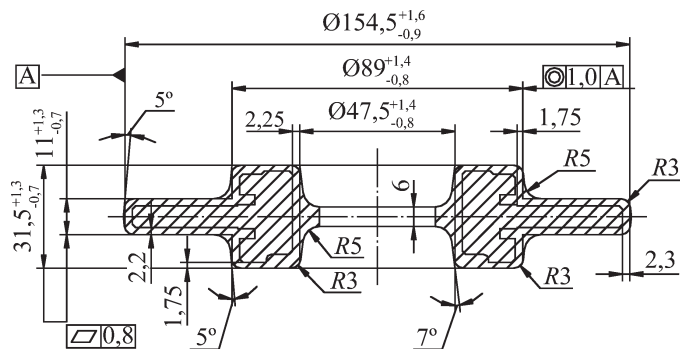


Рис. 17. Чертеж поковки

толщина $31,5^{+1,3}_{-0,7}$; толщина $11^{+1,3}_{-0,7}$.

Допуски радиусов закруглений: $3^{+1,0}$ мм; $5^{+2,0}$ мм.

Допускаемое отклонение от плоскостности и прямолинейности 0,8 мм.

Допускаемое смещение по плоскости разреза штампа 0,6 мм.

Допускаемая высота заусенца 3 мм.

Допускаемая величина остаточного облоя 0,8 мм.

Допускаемое отклонение штамповочных уклонов: $5^\circ \pm 1,25^\circ$; $7^\circ \pm 1,75^\circ$.

Допускаемое отклонение от концентричности прошитого отверстия относительно внешнего контура поковки 1,0 мм.

Объем поковки определяется с помощью графического редактора QDraft; при этом наружные номинальные размеры должны быть увеличены на половину положительного отклонения поля

допуска, а внутренние — на половину отрицательного (рис. 18).

$$V_{\text{заг}} = 314765,092262 \text{ мм}^3 = 0,000315 \text{ м}^3.$$

$$\text{Масса поковки } G_{\text{п}} = V_{\text{п}} \rho = 0,000315 \times 7885 = 2,47 \text{ кг}.$$

Фактическая масса поковки находится в том же диапазоне масс, что и расчетная, поэтому полученные выше значения индекса и степени сложности не изменяются.

Расчетный диаметр заготовки:

$$D_{\text{заг.р}} = 1,08^3 \sqrt{\frac{V_{\text{заг}}}{m}},$$

где $m = 2 \dots 2,5$ — отношение высоты заготовки к диаметру.

$$D_{\text{заг.р}} = 1,08^3 \sqrt{\frac{314765,092}{2}} = 58,3 \text{ мм}.$$

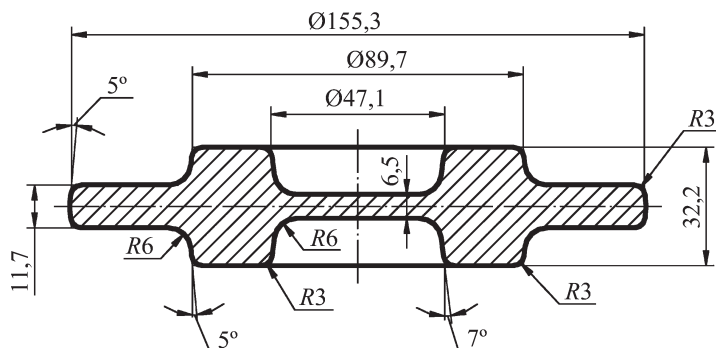


Рис. 18. Чертеж расчетной поковки

Принимаем диаметр заготовки $D_{з.р} = 60$ мм; расчетная высота заготовки $H_{з.р} = 111,3$ мм.

Для образования облоя объем заготовки увеличивают на 5...10 % в зависимости от сложности геометрии поковки, и дополнительно для компенсации угара — в 1,01 раза при индукционном нагреве и в 1,03 раза при пламенном нагреве. $H_{з.р} = 111,3 \cdot 1,05 \cdot 1,01 = 118$ мм. Размеры нагретой заготовки: $D_{з.р} = 60,1$ мм, $H_{з.р} = 120$ мм.

Высота облойного мостика

$$h_0 = 0,015D_{\Pi},$$

где D_{Π} — диаметр поковки.

$$h_0 = 0,015 \cdot 154,5 = 2,3 \text{ мм.}$$

В соответствии с рекомендациями принимаем:

$$h_0 = 2,7 \text{ мм; } b = 6 \text{ мм; } h_1 = 6 \text{ мм;}$$

$$R_1 = 20 \text{ мм; } r = 1 \text{ мм (рис. 19).}$$

Чертеж горячей поковки (рис. 20) разрабатывают по чертежу холодной поковки путем увеличения всех размеров на величину усадки.

Контуры штампов строят в CAD-системе или непосредственно в редакторе QDraft путем добавления к контуру

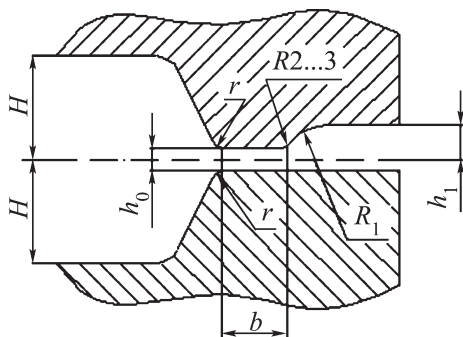


Рис. 19. Облойная канавка

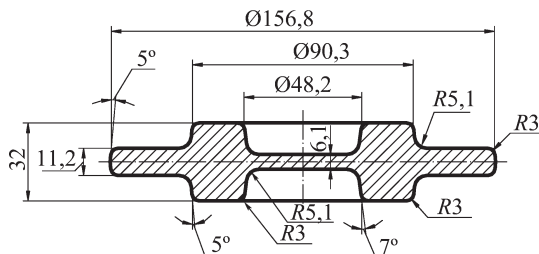


Рис. 20. Чертеж горячей поковки (усадка — 1,5 %)

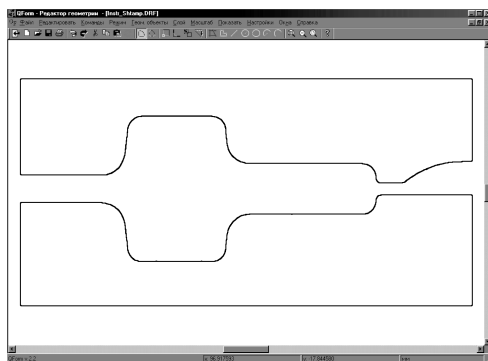


Рис. 21. Контуры штамповых блоков

ру горячей поковки облойной канавки (рис. 21).

Последовательность моделирования процесса штамповки в ПМК QForm 2D. Задание исходных данные: материал заготовки: 25ХГТ; температура нагрева заготовки: 1200 °С; температура нагрева инструмента: 200 °С; теплопроводность 28 Вт/(м·К); коэффициент теплоотдачи среды 30 Вт/(м²·К); технологическая смазка графит-вода; фактор трения 0,4; время протекания процесса «Охлаждения на воздухе» 3 с; время протекания процесса «Охлаждение в инструменте» 3 с; штамповочное оборудование — механический пресс с характеристиками: частота ходов в минуту — 65; ход пресса — 320; номинальная сила — 25 МН; жесткость пресса — 6,5 МН/мм.

Выбор переходов штамповки: осадка и штамповка в окончательном ручье.

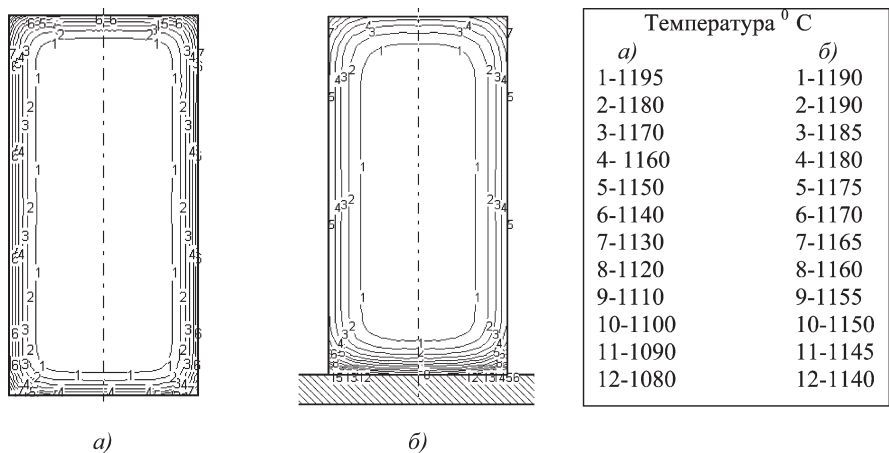


Рис. 22. Температура заготовки перед установкой в штамп (а) и в момент начала осадки (б)

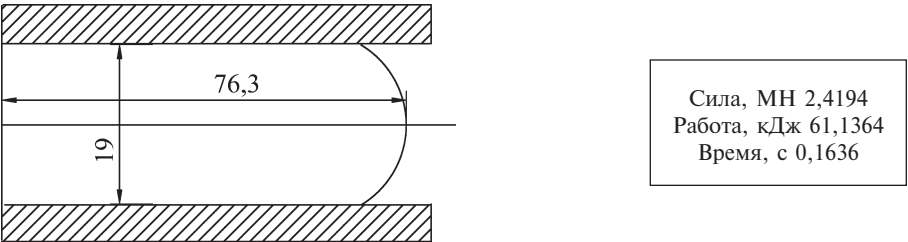


Рис. 23. Форма осаженной заготовки

Моделирование осадки. Для обеспечения центровки заготовки в штамповочном ручье примем предварительно: $D_{ос} = D_{п} - 4$ мм, $H_{ос} = 19$ мм, где $D_{ос}$ и $H_{ос}$ — соответственно диаметр и высота осаженной заготовки.

Моделирование охлаждения заготовки за время переноса и установки на осадочные плиты (рис. 22).

Построение контуров заготовки и осадочных плит (рис. 23).

Осадка до высоты 19 мм.

Моделирование штамповки в окончательном ручье.

Моделирование охлаждения заготовки при осадке (рис. 24, а).

Моделирование охлаждения заготовки за время переноса и установки в штамп (рис. 24, б).

Моделирование штамповки (рис. 25).

Корректировка параметров технологии в связи с возникновением технологического отказа — незаполнением гравюры штампа.

В соответствии с рекомендациями принимаем: $H_3 = H_{п} = 32$ мм.

Повторное моделирование осадки. Повторное моделирование штамповки.

Создание общей картины формоизменения заготовки и визуальное выявление технологических отказов в виде незаполнения штампа, зажимов и прострелов (рис. 26).

Расчетные температуры, степени и силы деформации по сечению поковки приведены на рис. 27 и 28.

Моделирование волокнистого строения детали приведена на рис. 29.

Полученные при выполнении приведенной процедуры параметры тех-

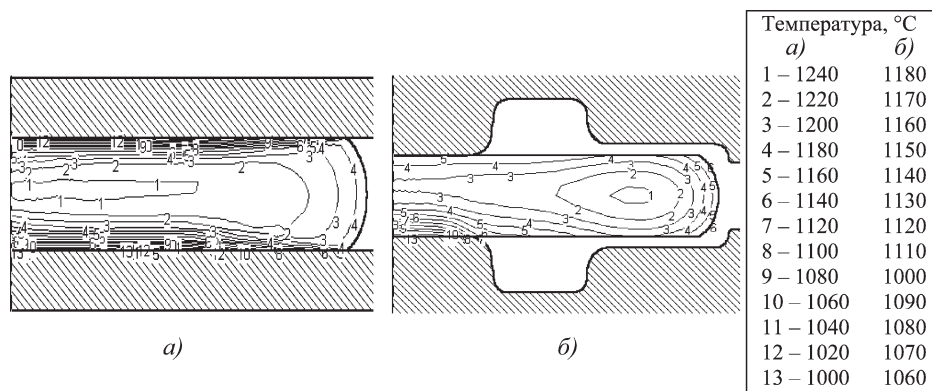


Рис. 24. Температура заготовки после осадки (а) и перед штамповкой (б)

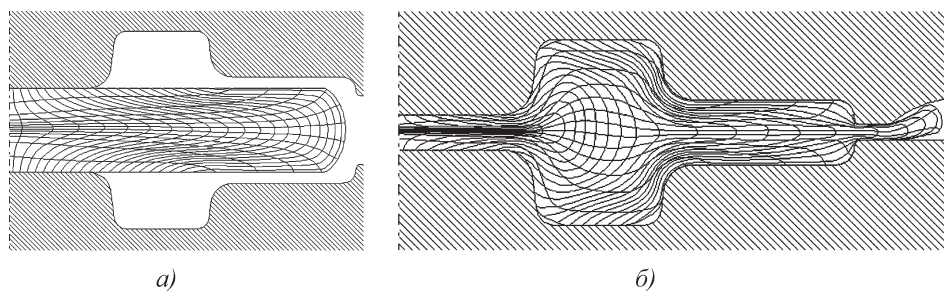


Рис. 25. Начальная (а) и конечная (б) стадии штамповки

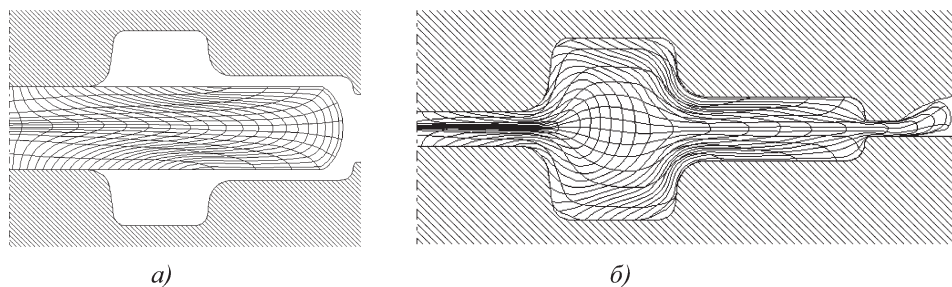


Рис. 26. Общая картина деформации в окончательном ручье

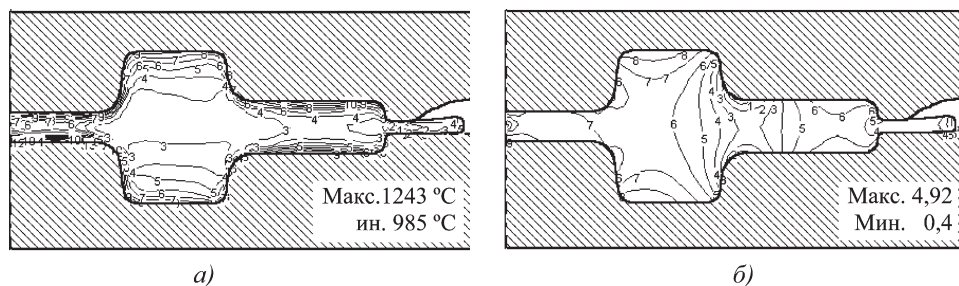


Рис. 27. Распределение температуры (а) и степени деформации по сечению поковки (б)

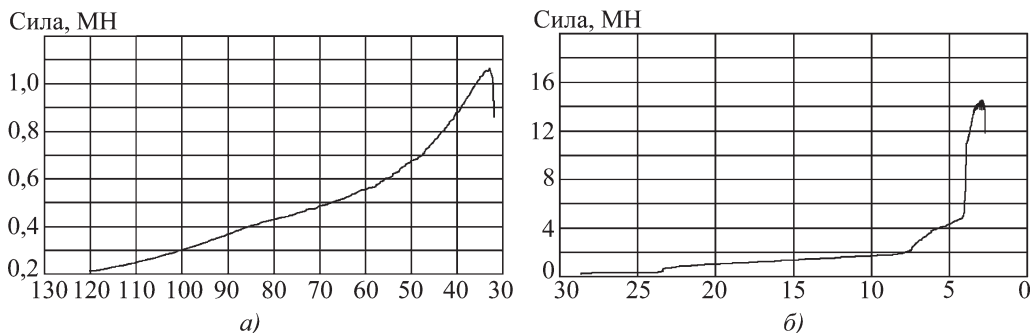


Рис. 28. Зависимость силы осадки (а) и штамповки (б) от расстояния между штампами

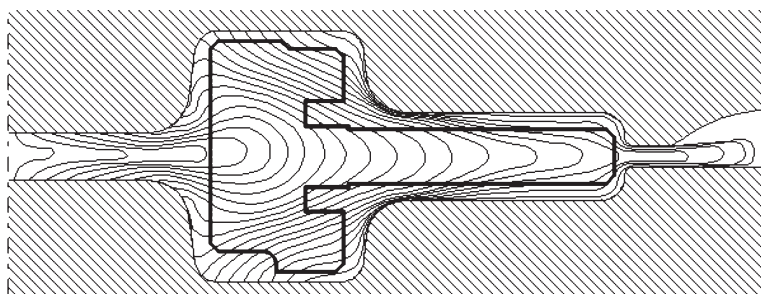


Рис. 29. Пересечение волокон контуром детали

нологического процесса следует рассматривать как первое приближение. Если эти параметры полностью удовлетворяют требованиям, предъявляемым к качеству поковки и показателям технико-экономического анализа, то они являются окончательными. В противном случае необходимы выявление и оценка возможности оптимизации факторов, влияющих на качество технологии: температурного интервала штамповки; степени деформации и среднего напряжения по сечению поковки; объема облоя; силы деформации и нагрузок на инструмент; направления волокон в рабочих зонах детали.

Оптимизация отдельных параметров технологического процесса может быть достигнута путем внесения изменений в исходные и расчетные данные: верхнюю границу температурного интервала; время вспомога-

тельных операций: размеры облойной канавки; объема заготовки; соотношение размеров осаженой заготовки; состав технологической смазки.

Расчет параметров оптимального режима протяжки. Протяжка является важнейшей и наиболее распространенной кузнечной операцией, цель которой состоит в получении заданной формы поковки и в улучшении качества исходного металла. Поэтому при разработке технологического процесса необходимо, с одной стороны, максимально использовать влияние протяжки на повышение механических и эксплуатационных свойств материала, а с другой стороны — обеспечить высокую производительность труда при реализации этого процесса.

В настоящее время при разработке технологии протяжки на заво-

дах в технологической карте указывается: температура начала и конца ковки, количество выносов, тип пресса (молота), инструмент. В некоторых случаях (для малопластичных сплавов) дополнительно указывается максимальное обжатие за проход и уков за вынос. Такие параметры, как величина обжатия за каждый ход пресса, подачи и кантовки, в процессе ковки не регламентируют.

Между тем, эти параметры оказывают решающее влияние на свойства металла поковки, скорость процесса и точность получаемых поковок. Большое значение научно обоснованная технология протяжки с учетом всех перечисленных параметров приобретает при внедрении автоматических ковочных комплексов с числовым программным управлением, которое предполагает разработку математической модели процесса. Например, при протяжке плоскими бойками необходимо при каждом проходе задавать величину продольной подачи манипулятора и величину обжатия. От соотношения этих параметров зависит конечный профиль поковки и время протяжки, поэтому они не могут быть заданы произвольно. Кроме того, величины подачи и обжатия являются исходными данными для расчета напряженно-деформированного состояния, температурных полей, волокнистого строения и прогнозирования возможных технологических отказов. Так как указанные величины заранее неизвестны, алгоритм компьютерного моделирования протяжки должен включать блок расчета параметров оптимального режима протяжки, т.е. режима, отвечающего следующим требованиям: получение заданной формы поковки; получение требуемого качества металла поковки; осуществление процесса за наименьшее время.

При решении задач ковки на оптимизацию можно использовать упрощенные формулы, позволяющие рассчитывать усредненные значения уширения и вытяжки без учета выпучивания и бочкообразования деформируемой заготовки.

Соотношение между средними деформациями в указанных направлениях выражаются коэффициентом уширения

$$f = \frac{(b_{i-1} - b_i)h_i}{(b_i - b_{i-1})b_i}$$

или коэффициентом вытяжки

$$q = 1 - f.$$

Основное влияние на величину коэффициента уширения (вытяжки) оказывает относительная подача

$$v_i = \frac{l_i}{b_{i-1}}.$$

(обозначения см. на рис. 30) и форма начального (перед началом каждого прохода) сечения заготовки

$$\varphi = \frac{b_{i-1}}{h_{i-1}}.$$

Значения коэффициента уширения в зависимости от относительной подачи устанавливают экспериментально (табл. 4).

Значение уковки U определяют по формуле:

$$U = \frac{1}{1 - \varepsilon(1 - f)}.$$

Коэффициент уширения может быть также определен по эмпирическим формулам:

$$f = 1,1\sqrt{v_i} - 0,74 \text{ при } \varphi = 1;$$

$$f = 0,38\sqrt{v_i} - 0,042 \text{ при } \varphi = 0,5.$$

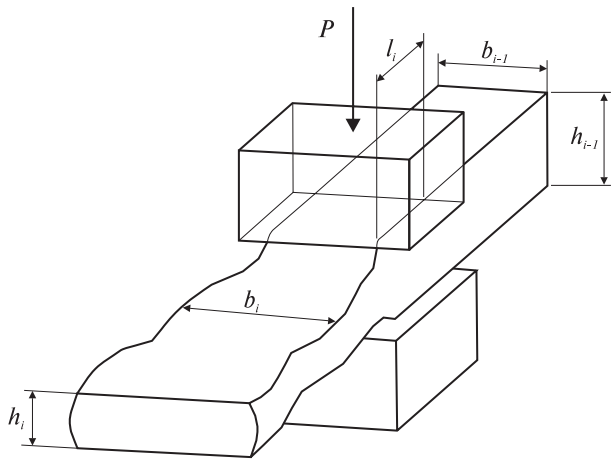


Рис. 30. Схема протяжки

4. Зависимость коэффициентов уширения, вытяжки и уковки за проход от относительной подачи

Коэффициент	Относительная подача v_i								
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6
f	0,13	0,17	0,20	0,24	0,27	0,32	0,36	0,41	0,46
q	0,87	0,83	0,80	0,76	0,73	0,68	0,64	0,59	0,54
$У$	1,35	1,32	1,31	1,29	1,28	1,25	1,22	1,21	1,19

Коэффициент уширения практически не зависит от степени деформации ϵ , условий контактного трения, температуры и марки материала.

Приведенные соотношения и опытные данные являются исходными при разработке технологом режима протяжки и позволяют при использовании некоторых условий приближенно решать поставленную задачу. Эти условия представляют собой технологические ограничения и состоят в следующем:

во избежание зажимов степень деформации ϵ за подачу не должна превышать 30 %;

для исключения продольных изгибов при проходе пластина-квадрат $\phi \leq 2$, поэтому степень деформации в нечетных проходах не должна превышать 35...40 %;

оптимальное значение относительной подачи должно быть в пределах 0,4...0,7.

С учетом этих ограничений задача нахождения оптимального режима протяжки сводится к определению количества проходов, значений подач и обжатий за каждый проход, порядка кантовок. Эти параметры должны быть выбраны таким образом, чтобы обеспечивалось минимальное время процесса.

Оценка качества металла проводится по значению уковки.

Расчет режима протяжки включает следующие этапы:

1. По известным размерам поковки и значению уковки определяют размеры исходной заготовки.

$$y^* = \frac{F_0}{F_k} = \frac{a_0^2}{a_k^2}; a_0 = \sqrt{y^*} a_k,$$

где a_0 и a_k — сторона квадрата исходной заготовки и поковки; U^* — суммарная ковка.

Оптимальное значение уковки $U_{\text{опт}}^*$ находится в пределах 2,5...10 в зависимости от марки материала, условий

Масса слитка, т 1
Уковка, $U_{\text{опт}}^*$ 2,5

При ковке слитков из легированных сталей уковка $U_{\text{опт}}^*$ зависит от характера приложения технологической нагрузки при эксплуатации деталей:

если наибольшие напряжения, возникающие в детали, не совпадают с продольным направлением волокна, $U_{\text{опт}}^* = 3...4,5$;

при незначительном отклонении направления действия максимальных напряжений от направления волокна $U_{\text{опт}}^* = 5...6$;

если максимальные напряжения полностью совпадают с направлением волокна, $U_{\text{опт}}^* = 10$.

При ковке удлиненных слитков уковка $U_{\text{опт}}^*$ может быть уменьшена до значений 2,5..., 2,7 вместо 4,0...4,2, необходимых при ковке обычных слитков.

2. Задается степень деформации ϵ за проход.

3. Определяют коэффициент уширения f .

4. Определяют уковку один проход.

5. Определяют число проходов.

6. Исходя из условий протяжки (тип оборудования, степень механизации), определяют время одного прохода и затем суммарное время процесса.

Выполнение указанных этапов не гарантирует получения заданной формы поковки (например, заданной стороны квадрата), поэтому необходима проверка полученного решения на соответствие конечного профиля попе-

работы деталей, типа и размеров исходного слитка.

Наилучшие механические свойства слитков из углеродистой стали достигаются при следующих значениях уковки:

3	5	10	30	80	200
2,7	2,8	3,0	3,25	3,5	3,75

речного сечения поковки требуемому. Если полученная форма поковки отклоняется от заданной, то необходимы корректировка исходных данных и последующий пересчет.

Установленный таким образом режим протяжки, как правило, не оптимален, поскольку число вариантов велико и их перебор с целью определения минимального времени процесса при ручном счете становится практически неосуществимым. Обычно ограничиваются режимом, обеспечивающим только заданное качество поковки и требуемую ее форму без анализа временных параметров процесса.

Некоторые частные вопросы поставленной задачи могут быть решены путем использования экспериментальных графиков и номограмм. В частности, при протяжке по схеме квадрат-пластина-квадрат может быть использован график (рис. 31).

Пусть требуется определить сечение квадрата, который может быть получен из квадратной заготовки при ковке через пластину с соотношением

сторон $\frac{b_i}{h_i} = 2$ и относительной пода-

чей $v = 0,5$; $a_0 = 400$ мм.

По левой части графика для $\frac{b_i}{h_i} = 2$ и $v = 0,5$ находим: $\frac{a_0}{h_i} = 1,75$. Отсюда высота пластины $h_1 = 230$ мм; $b = 2h_1 = 460$ мм.

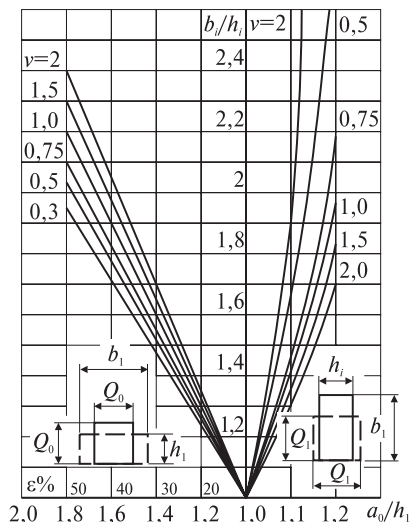


Рис. 31. График для расчета деформации при протяжке

По правой части графика для $\frac{b_i}{h_i} = 2$ и $v = 0,5$ найдем $\frac{a_0}{h_i} = 1,125$.

Следовательно, искомое сечение квадрата 260×260 мм.

Если степень деформации ε и относительная подача в обоих проходах одинаковы, то по графику, представленному на рис. 31, можно выбрать относительную подачу и степень деформации, обеспечивающие получение поковки требуемого сечения $a_k \times a_k$ из квадратной заготовки $a_0 \times a_0$ за минимальное число проходов.

Допустим, требуется получить из квадрата 500×500 мм квадрат 350×350 мм.

Необходимая уковка составит:

$$y^* = \left(\frac{a_0}{a_k} \right)^2 = \left(\frac{500}{350} \right)^2 = 2,04.$$

При таком значении уковки протяжку необходимо производить в два перехода, например, через промежуточный квадрат со стороной a_1 . Распределяя уковку Y^* равномерно по переходам, получим:

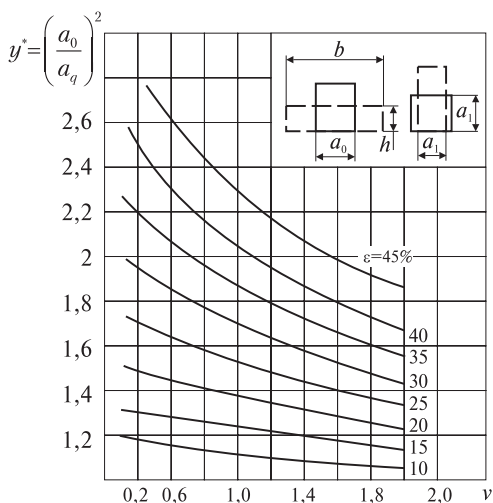


Рис. 32. График для определения параметров протяжки по схеме квадрат-пластина-квадрат

$$y_1 = y_2 = \left(\frac{a_0}{a_1} \right)^2 = \sqrt{2,04} = 1,427.$$

Тогда сторона промежуточного квадрата

$$a_1 = \frac{a_0}{\sqrt{1,427}} = \frac{500}{\sqrt{1,427}} = 418 \text{ мм.}$$

Принимая $v = 0,5$, по графику (см. рис. 32) находим $\varepsilon = 20\%$. Таким образом, чтобы получить из квадратной заготовки 500×500 мм квадратную поковку 350×350 мм по схеме квадрат-пластина-квадрат, необходимо в каждом проходе давать степень деформации $\varepsilon = 20\%$ и относительную подачу $v = 0,5$. Время, потребное для осуществления процесса, может быть определено, если известны технические характеристики применяемого оборудования и вспомогательное время, необходимое для перемещения заготовки, кантовок и т.д.

Однако предложенный режим протяжки не является оптимальным, поскольку наименьшее число проходов еще не определяет наименьшего времени процесса. С одной стороны, с уменьшением подачи увеличивается коэффициент вытяжки и, таким образом, уменьшается число проходов, но, с другой стороны, увеличение числа нажатий пресса приводит к соответствующему увеличению времени прохода. Таким образом, решение задачи сводится к отысканию некоторого оптимума на основе соответствующего подбора параметров, определяющих протекание процессов. Такое решение может быть получено на основе метода динамического программирования.

Оптимизация режима протяжки по методу динамического программирования. Пусть сечения исходной заготовки и получаемого изделия — квадраты со сторонами соответственно a_0 и a_k . Суммарная уковка U^* равна отношению площадей сечений:

$$U^* = \left(\frac{a_0}{a_k} \right)^2 \quad (U^* > 1).$$

После первого прохода сечение становится приблизительно прямоугольным. Если площадь его при этом уменьшается в U_1 раз, то соответственно увеличивается длина заготовки. Заготовку кантуют и делают второй проход, в результате получают квадратное сечение меньшего, по сравнению с начальным, размера. Эти два последовательных прохода вместе называют переходом. Из-за ограничений на возможную деформацию зачастую невозможно добиться нужной уковки U^* за один переход, и приходится делать N переходов ($2N$ проходов). Суммарное времяковки зависит от параметров оборудования,

соотношения начальных и конечных размеров заготовки (уковки U^*), пластических свойств материала (все эти величины будем считать заданными), а также от величин, подлежащих выбору: числа переходов, подач, деформаций и уковки в каждом из проходов. Число возможных вариантов выбора столь велико, что непосредственный полный перебор их обычно невозможен. Приходится вводить упрощающие предположения и применять специальные методы, чтобы из всего множества вариантов выбрать оптимальный.

Оптимальным в дальнейшем будем считать тот режим, при котором на обработку затрачивают наименьшее время.

Определение времениковки. Обозначим: u — средняя скорость бойка при деформировании; v — средняя скорость бойка при холостом ходе (вверх); w — средняя скорость подачи манипулятором; L_1 — первоначальная длина заготовки; l — подача; Δh_p — абсолютная величина деформации по вертикали; Δh — величина свободного хода.

Подачу l и деформацию $\varepsilon = \frac{\Delta h_p}{h_{i-1}}$ будем задавать постоянными для одного перехода, но меняющимися от перехода к переходу. Тогда $\left(\frac{\Delta h_p}{u} + \frac{\Delta h}{v} \right)$ — время одного нажима и возврата бойка вверх.

Обозначим: $\frac{l}{w}$ — время подачи заготовки на длину l ; $\frac{L}{l}$ — общее число нажимов и подач при одном проходе, если обрабатывается заготовка длиной L . При анализе будем формально допускать и дробное отношение $\frac{L}{l}$.

Величины, относящиеся к i -му переходу, отметим индексом i (L_i — длина заготовки в начале i -го перехода, Y_i — общая уковка, достигнутая к концу i -го перехода).

Время, ушедшее на нажимы и возврат бойка (в i -м переходе):

$$\begin{aligned} \frac{L_i}{l_i} \left(\frac{\Delta h_{pi}}{u} + \frac{\Delta h_i}{v} \right) + \frac{L_i Y_{li}}{l_i} \left(\frac{\Delta h_{pi}}{u} + \frac{\Delta h_i}{v} \right) = \\ = \frac{L_i (1 + Y_{li})}{l_i} \left(\frac{\Delta h_{pi}}{u} + \frac{\Delta h_i}{v} \right). \end{aligned}$$

Время, необходимое для подачи заготовки,

$$\frac{L_i}{w} + \frac{L_i Y_{li}}{w} = \frac{L_i (1 + Y_{li})}{w}.$$

Возврат манипулятора на всю длину заготовки происходит обычно быстрее, чем его прямое движение. Необходимо на возврат манипулятора время учесть умножением времени подачи на $(1 + \eta)$, где $0 < \eta < 1$; обычно $\eta \approx 0,45$.

Так как кантовку производят всего один раз за проход, необходимым для нее временем можно пренебречь.

Окончательное выражение для времени i -го перехода:

$$t_i = L_i (1 + Y_{li}) \left[\frac{1}{l_i} \left(\frac{\Delta h_{pi}}{u} + \frac{\Delta h_i}{v} \right) + \frac{1 + \eta}{w} \right].$$

Учитывая, что $L_i = L_1 Y_{i-1}$, считая, что $\Delta h_{pi} = \Delta h_i$, и умножая левую и правую части приведенного равенства на $\frac{u}{L_1}$, получаем выражение для безразмерного времени i -го перехода:

$$t_{i\text{безр}} = \frac{t_i u}{L_i} (1 + Y_{li}) \left[\frac{\Delta h_i}{l_i} \left(1 + \frac{u}{v} \right) + \frac{u}{v} (1 + \eta) \right],$$

где Y_{i-1} — общая уковка к концу $(i - 1)$ -го, т.е. к началу i -го перехода:

После преобразований получаем:

$$\frac{\Delta h_i}{l_i} = \frac{\Delta h_i}{l_i a_{i-1}} = \frac{\varepsilon_i}{l_i} = \frac{\varepsilon_i}{l_i \sqrt{Y_{i-1}}} = \frac{\varepsilon_i}{a_0 v_i},$$

где a_{i-1} — сторона квадрата в начале i -го перехода.

Пусть уковка получена за N переходов. Общее времяковки определяют следующим образом:

$$\begin{aligned} T_{\text{безр}} = \frac{Tu}{L_1} = \sum_{i=1}^N t_{i\text{безр}} = \sum_{i=1}^N Y_{i-1} (1 + Y_{li}) \times \\ \times \left[\frac{\varepsilon_i}{l_i \sqrt{Y_{i-1}}} \left(1 + \frac{u}{v} \right) + \frac{u}{w} (1 + \eta) \right]. \end{aligned}$$

Входящие в правую часть величины выражают через значения деформации ε_i и относительной подачи v_i в каждом из переходов. Эти значения нужно выбрать таким образом, чтобы суммарное время $T_{\text{безр}}$ было минимальным. Следует иметь в виду, что ε_i и v_i не могут быть произвольными. Они должны удовлетворять приведенным ниже ограничениям, а число переходов N заранее неизвестно. Технологические ограничения на ε_i и v_i :

$0,5 \leq v_i \leq 1$ (для предотвращения образования продольных и поперечных трещин);

$\varepsilon_i \leq \varepsilon_0$ (ограничение на пластичность некоторых сталей);

$\varepsilon_i \leq 0,25$ (для предотвращения зажимов);

$\varepsilon_i \leq f_4(v_i)$ (для предотвращения поперечного изгиба полосы);

$\varepsilon_i \leq f_5 \left(n_i \frac{B}{a_{i-1}} \sqrt{Y_i} \right)$ (чтобы металл не вытекал за ширину бойка).

Здесь B — ширина бойка, f_4 и f_5 — зависимости, полученные теоретиче-

ски и подтвержденные экспериментально. Они приведены в дальнейшем.

Задача является задачей динамического программирования: среди ε_i и v_i , удовлетворяющих перечисленным выше ограничениям, найти такие ε_i и v_i и целое N , чтобы времяковки $T_{\text{безр}}$ было минимальным. Эти величины ε_i и v_i , определяющие весь процесс, называют управляющими воздействиями. Исследования показывают, что во всех переходах (может быть, кроме первого) для сокращения общего времени $T_{\text{безр}}$ деформация должна быть максимально допустимой. Таким образом, ε_i на каждом шаге однозначно определяют, если известна v_i , т.е. управляющими воздействиями (параметрами, подлежащими выбору из условия оптимальности) остается лишь v_i , а все остальные величины через нее однозначно определяют.

По схемековки квадрат-пластина-квадрат каждый переход — это шаг процесса, если использовать терминологию динамического программирования. Состояние на каждом шаге полностью характеризуется уковкой Y , достигнутой к концу i -го перехода. Последовательность значений $Y_0 = 1, Y_1, \dots, Y_i, \dots, Y^* = Y_N$ называют траекторией. Основным принцип динамического программирования применительно к рассматриваемой задаче можно сформулировать следующим образом (рис. 33,

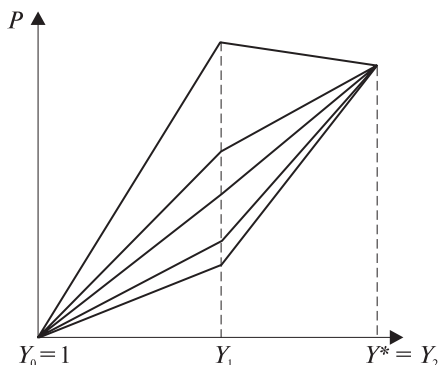


Рис. 33

где по оси ординат отложен некоторый параметр, которым траектории различаются между собой).

Пусть окончательную уковку Y^* достигают в два перехода. Какой бы уковкой и каким бы образом мы ни достигали его на 1-м переходе, чтобы весь процесс был оптимальным, необходимо, чтобы оставшаяся уковка Y^* была достигнута наиболее выгодным, оптимальным способом. Задачи динамического программирования обычно решаются «с конца», т.е. определяют оптимальный последний шаг, затем предпоследний и т.д.

Последовательность оптимальных шагов представляет оптимальную траекторию.

Обозначим $T(Y_i)$ — минимальное значение времени, за которое можно достичь уковки Y_i (начиная с $Y_0 = 1$, т.е. с исходного положения). Тогда, применяя изложенный принцип и используя выражение для $T_{\text{безр}}$, получаем основное рекуррентное уравнение для $T(Y_i)$:

$$T(Y_i) = \min v_i \left\{ Y_{i-1} (1 + Y_{i1}) \times \left[\frac{\varepsilon_i}{v_i} \left(1 + \frac{u}{v} \right) + \frac{u}{w} (1 + \eta) \right] + T(Y_{i-1}) \right\}.$$

$T(Y_0) = 0$ отыскивают по величине v , удовлетворяющей технологическим ограничениям при максимальном значении ε_i ($i = 1, 3, \dots$).

Приведем зависимости f_4 и f_5 :

$$\begin{aligned} f_4(v) &= 0,072v^2 - 0,148v + 0,448; \\ f_5(v, c) &= -1,966 + 2,902c + 0,945c^2 + 0,535v - 0,0250v^2. \end{aligned}$$

$$\text{Здесь } c = \frac{B}{a_H} \sqrt{Y_i}; \quad B — \text{ширина}$$

бойка.

Кроме того, известны полиномиальные зависимости:

$$\frac{Y_i}{Y_{i-1}} = f(\varepsilon, v) = 1,002 + 1,997\varepsilon + 1,871\varepsilon^2 -$$

$$-1,113\varepsilon v - 0,033v + 0,053v^2 = r;$$

$$Y_{li} = f(\varepsilon, v) = 1,008 + 0,974\varepsilon + 0,899\varepsilon^2 -$$

$$-0,488\varepsilon v - 0,0150v + 0,023v^2 = m;$$

$$\varepsilon_i = g(f(\varepsilon_i, v), v) = -0,814 - 0,295v +$$

$$+1,122f - 0,003v^2 + 0,303vf - 0,31f^2.$$

Последняя зависимость справедлива, если $\varepsilon < \varepsilon^*$; в противном случае $\varepsilon = \varepsilon^*$, т.е. максимальному значению, определяемому приведенными выше ограничениями. В связи с этим в алгоритме решения задачи сделано следующее основное предположение: график наименьшего времени в зависимости от суммарной уковки считается кусочно-линейной кривой с равными между собой величинами скачков в точках разрыва.

Краткое описание алгоритма решения задач. 1. Ввод параметров оборудования, конечного значения уковки Y^* , максимального значения допустимой деформации ε_{\max} , вспомогательных числовых величин;

$$2. \Delta Y = \frac{Y^* - 1}{n} \text{ вычисление шага по}$$

уковке (из расчета n шагов для достижения конечного значения Y^* ; $n = 20 \dots 30$);

3. $Y_i = Y_i + \Delta Y$ (текущее значение уковки);

4. $v_i = v_i + \Delta v$ (текущее значение подачи; $\Delta v = 0,01 \dots 0,02$);

$$5. \varepsilon^* = \min \varepsilon_{\max}; f_4(v_i), f_5(v_i, C);$$

$$6. \varepsilon_i = \varepsilon^*;$$

$$7. r = f(\varepsilon_i, v)$$

да

Проверка $r, \Delta Y \rightarrow \varepsilon_i = g(Y_i, v_i) \rightarrow$ п.8

нет ↓

п.3

$$8. r = f(\varepsilon_i, v); m = f(\varepsilon_i, v), \xi = \frac{Y_i}{r};$$

$$9. T_i = \xi(1 + m) \left[\frac{\varepsilon_i}{v_i} \left(1 + \frac{u}{v} \right) + \frac{u}{w} (1 + \eta) \right] +$$

$$+ T_{\min}(Y_{i-1} = \xi).$$

Здесь $T_{\min}(\xi)$ — минимальное время обработки до уковки $Y_{i-1} = \xi$.

Поскольку ξ — значение уковки за все предыдущие переходы, то $\xi < Y_i$. Величину $T_{\min}(\xi)$ определяют линейной интерполяцией по уже полученным результатам.

10. Выбор минимального значения T (среди всех значений, соответствующих l_i от 0,5 до $\max \left\{ \frac{B}{a_{i-1}} \sqrt{Y_i}; 1 \right\}$).

11. Выдача результата расчета (выходная информация).

да

12. Проверка $r, Y_i < Y^* \rightarrow$ п.3

нет ↓

п.13

13. Окончание.

Выходная информация включает:

Y_i — текущую уковку;

ξ — оптимальную уковку за предыдущие переходы;

$v_i^{(0)}$ — оптимальную подачу для исследуемого перехода (отнесено к стороне начального сечения);

T — оптимальное время, за которое можно достичь уковки Y_i ;

v_i — относительную подачу во время i -го перехода (отнесенную к стороне квадрата в начале этого этапа);

ε — относительную деформацию для i -го перехода при оптимальных условиях.

По полученным в результате расчета значениям строят графики (рис. 34).

Используя их, можно определить число переходов и режим ковки для любой конечной ковки, меньшей Y^* . Для этого отложим на оси Y_i значение конечного укова (например, Y_0^*) и

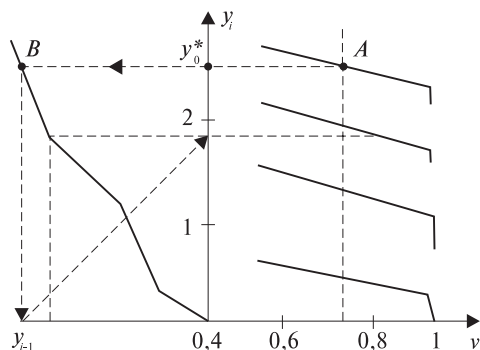


Рис. 34

проведем через точку $(0; Y_0^*)$ горизонтальную прямую до пересечения с ломаными линиями. Число ломаных в правой части графика, расположенных ниже горизонтальной прямой, включая и ту, с которой горизонталь пересекается, равно числу переходов N . Проекция точки пересечения A на ось v дает относительную подачу v_i в последнем переходе, а проекция точки B — величину предыдущей уковки. Эту величину вновь откладываем на оси ординат и, как в предыдущем случае, находим $\frac{l}{a}$ и Y_{i-1} , повторяя процесс до тех пор, пока не исчерпаем всех N переходов.

Пример расчета (табл. 5) для частного случая: $\frac{u}{v} = \frac{u}{w} = 0,2$; $\eta = 0,45$; $\varepsilon_{\min v} = 0,2$; $B = 0,8$ (ширина бойка, отнесенная к стороне заготовки); $Y^* = 2,8$.

2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Для ускорения процессов подготовки производства в настоящее время используют системы автоматизированного проектирования — САПР. Кроме сокращения сроков и снижения себестоимости проектирования технологических процессов и технологического оснащения использование САПР позволяет повысить качество проектов, высвободить большое число высококвалифицированных инженерно-технических работников. Работа предприятия базируется на постоянно развивающихся CAD/CAE/CAM-системах. Современные CAD/CAE/CAM-системы способствуют коллективному режиму работы над проектом, когда одновременно большое число исполнителей работает над различными частями и стадиями проекта.

В качестве главного результата конструирования и изготовления выступают не бумажные чертежи и спецификации на изделие, а единая цифровая модель. Эта модель определяет в терминах словаря понятий не только геометрическую модель, но и содержит всю взаимоувязанную информацию от самых ранних стадий до конструкторской, технологической и эксплуатационной стадий существования изделия. При этом традиционные чертежи и спецификации также могут существо-

5. Оптимальный режим протяжки

№ перехода	Y_i	v_i	$v_i^{(0)}$	ε
1	1,05	0,81	0,79	0,04
2	1,35	0,90	0,77	0,2
3	1,73	1,00	0,76	0,2
4	2,2	1,00	0,67	0,2
5	2,8	1,00	0,63	0,2

вать как в виде электронных копий на машинных носителях, так и в виде твердой копии на бумаге, но они есть лишь копия этого эталона. Собственно взаимодействие с цифровой моделью может быть реализовано вплоть до организации обмена данными средствами электронной почты. Эта возможность позволяет уже создавать и распределенные предприятия по территории страны и мира.

Возможность совмещения этапов разработки и подготовки производства изделия обеспечивается благодаря:

- наличию единой цифровой модели, включающей словарь понятий и взаимоувязанные модели конструктора, технолога и производственника;

- наличию аппарата фрагментации конструкции ТО на уникальные и типовые компоненты;

- появлению возможности аппарата записи функциональных отношений, и, в первую очередь, в графике (параметризация и ассоциативные связи между графическими объектами) как при построении моделей отдельных деталей, так и при создании сборок;

- возможности компьютерного моделирования ТО на всех фазах его жизненного цикла;

- возможности коллективной работы над проектом;

- автоматизации вспомогательных операций (выпуск документации, подбор информации из баз данных с нормативно-справочной информацией, выполнение типовых расчетов, электронная рассылка информации по рабочим местам и т.д.).

В САПР холодной листовой штамповки используют три варианта автоматизации проектирования: 1) автоматическое выполнение всех процедур; 2) автоматизированное выполнение проектных процедур в диалоговом режиме; 3) автоматизированный по-

иск аналогов и их технологических процессов, технологической оснастки при визуальном выборе оптимального варианта из ряда вариантов. Наличие трех вариантов автоматизации обусловлено, во-первых, невозможностью выполнения в настоящее время полной формализации всех технологических задач из-за отсутствия расчетно-аналитических зависимостей между конструктивными свойствами деталей и критериями принятия решений; во-вторых, трудноформализуемые задачи обычно решают на основе опыта технолога и информации об аналогах деталей и апробированных технологических процессов и оснастки. В настоящее время автоматический вариант обеспечивает наибольший объем решения технологических задач в существующих САПР (для плоских деталей — 80 %, для деталей, полученных гибкой, — 60 % и полых — 40 %).

Типовыми системными задачами САПР являются следующие: 1) синтез — создание технологического процесса или конструкции и т.п.; 2) анализ, состоящий в оценке результата, полученного при синтезе.

Автоматизированное проектирование технологических процессов — это преобразование на ЭВМ по заранее разработанной программе сведений об изготавливаемой детали, условиях ее производства, команд проектировщика в информацию о заготовке, последовательности и параметрах технологического процесса, применяемом оборудовании, оснастке.

Методической основой САПР является совокупность документов, содержащих описание методов, способов, математических модулей, алгоритмов, языков описания технологических процессов и конструкций, стандартов, на основе которых ведется проектирование.

Программное обеспечение образует системные и прикладные программы, реализующие проектные задачи САПР.

Программное обеспечение САПР создают по модульному принципу с целью возможного совершенствования и дополнения системы или выполнения отдельных работ без запуска всей системы (например, расчет раскроя, вытяжки, размеров инструмента и т.д.).

Информационное обеспечение (база данных) состоит из библиотеки типовых технологических процессов, библиотеки описаний и конструктивных элементов, данных о материалах и оборудовании, нормативно-справочных данных (тарифная сетка, нормы выработки и др.).

Структура и состав информационного обеспечения определяют классы задач, решаемых при автоматическом проектировании (АП). Необходимую информацию при автоматическом проектировании подразделяют на исходную и результирующую. Исходная информация — это такая информация, которая известна к началу процесса проектирования. Часть исходной информации, вводимой в ЭВМ в процессе АП, называют входной. Входная информация содержит сведения о геометрии детали и марке ее материала. Другую часть исходной информации называют условно-постоянной. Ее заранее вводят в ЭВМ, и она является общей для всех проектируемых процессов, содержит сведения о технологических процессах и операциях, оборудовании, технологической оснастке, классификаторах типовых деталей.

Исходная информация в процессе АП перерабатывается в результирующую. Результирующая информация состоит из промежуточной и выходной. *Промежуточная* — это информа-

ция, используемая в проблемно-ориентированных программах. *Выходная* информация — это информация, используемая для формирования технологической документации (технологические карты, карты раскроя, спецификации, чертежи).

Техническое обеспечение составляют средства вычислительной техники.

Организационное обеспечение — руководящие технические материалы, инструкции и другие документы, определяющие правила функционирования и развития САПР на предприятии, использующем ее.

Основные этапы автоматизированного проектирования технологического процесса или штампа с помощью САПР:

1. Анализ технического задания на проектирование (технологии, штампа), составление формализованного описания детали на одном из языков программирования, условий ее изготовления, специальных требований.

2. Перенос входного описания на машинный носитель.

3. Контроль входного описания исходной информации на ЭВМ; контроль описания чертежа детали выполняется вычерчиванием ее и отображается на экране дисплея.

4. Ввод входного описания в ЭВМ и решение задачи (проектирования), которое заканчивается распечаткой документов (технологических карт, чертежей).

При автоматическом режиме участие проектировщика ограничивается оценкой полученных документов. При автоматизированном проектировании (диалоговом) процесс решения выполняется фрагментами после ввода входного описания: после решения задачи первого фрагмента производится оценка результата и переход к следующему фрагменту и т.д.

5. Изготовление документов: текстовых документов и графических.

6. Контроль результатов проектирования выполняется проектировщиком визуально и при необходимости корректируются полученные результаты.

Далее рассмотрим наиболее важные для САПР холодноштамповочного производства этапы.

Формирование исходной информации.

При автоматическом проектировании технологических процессов необходимы массивы входной информации (условия выбора способа штамповки, операций, переходов, оборудования, штампов и т.д.).

В качестве примера в табл. 6 приведены условия выбора ножниц в зависимости от ограничений на толщину s , длину L и ширину B . Для разделительных операций вводят ограничения на взаимное расположение элементов контура — минимальный размер перемычки и т.д.

Формирование массива информации принятия технологических решений. Массивы информации создают для каждого способа штамповки и выбранного для него вида средств технологического оснащения. Основой массивов информации (для автоматизированного проектирования технологического маршрута изготовле-

ния типовой детали) являются массивы типовых вариантов раскроя исходных материалов, полосы и ленты, массивы решений различных технологических задач (определение зазора, усилия, коэффициента вытяжки, коэффициента использования материала и др.), массивы технологических операций, марок материалов, видов исходных заготовок, сортамента проката, оборудования, штампов, профессий и разрядов, устройств подачи заготовок и удаления деталей и отходов, условия выбора способа штамповки, операций, переходов, оборудования (табл. 7–20).

Наличие ограничений — условий выбора — приводит к значительному упрощению алгоритма решения технологических задач; уже на стадии заготовительных операций для ограниченной номенклатуры изделий можно рассмотреть все возможные варианты раскроя, применительно к определенной конфигурации детали. Это позволяет получить качественное решение.

Формирование алгоритмов принятия комплекса технологических решений. При разработке алгоритмов автоматизированного проектирования часто нет возможности использовать информацию непосредственно о технологическом процессе, который применяют на производстве.

6. Условия выбора ножниц

Код перехода	Код заготовки	Ограничения на размеры заготовки (s , B , L), мм		Модель оборудования
111...113	1	$s \leq 2$	$L < 2000$	НГ474
		$2 < s \leq 4$	$L < 2000$	НГ118
		$s \geq 4; s \leq 6$	$L > 2000$	НГ121
	2	$0,1 \leq s \leq 1$	$2,5 \leq B \leq 150$	НА401
114	2	$0,4 \leq s \leq 1$	$40 \leq B \leq 400$	ИК843
		$1,0 \leq s \leq 2$	$65 \leq B \leq 400$	
		$0,5 < s \leq 2,5$	$100 \leq s \leq 150$	337600

7. Марки материалов

Марка	Соппротивление на срез, МПа	Код
08кп	250	011
08	250	012
10кп	270	014
10	270	021
15	320	017
20кп	330	018
20	330	022
25	390	023
25кп	390	025
35кп	460	027
35	460	028
45	490	036
65Г	610	031
12Х18Н9Т	470	212
Л63	320	421
Л70	320	422
МЗ	240	411
МЗМ	240	412
БрКМа	220	231
АД-1-М	230	431

8. Виды исходных заготовок

Вид заготовки	Код	Вид заготовки	Код
Не задано	0	Рулон	3
Лист	1	Полоса	4
Лента	2	Штучная	5

9. Сортамент листового проката

Размеры листа, мм		Код	Размеры листа, мм		Код
Ширина	Длина		Ширина	Длина	
1000	2000	1	1100	2000	5
1250	2500	2	1400	1700	6
600	2000	3	1400	2800	7
1000	1500	4			

10. Коды сортамента холоднокатаных лент

Код марки материала	Толщина ленты, мм						
	0,22	0,25	0,28	0,30	0,35	0,40	0,42
	Ширина ленты, мм						
2011	—	—	34	70	—	—	—
2012	—	—	90	—	—	—	—
2013	—	—	—	130	—	—	—
2014 2031	—	55	—	—	45	—	34
2411	20	—	—	—	—	20	—
Код марки материала	Толщина ленты, мм						
	0,46	0,50	0,60	0,70	1,25	2	3
	Ширина ленты, мм						
2011	—	12	40	10	55	20	175
2012	—	32	60	16	—	30	175
2013	—	55	—	—	—	100	—
2014	—	115	250	—	65	100	—
2031	34	34	—	—	—	—	—
2411	—	—	—	—	—	—	—

11. Коды сортамента горячекатаного листового проката

Код марки материала	Толщина, мм						
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
	Код типоразмера						
1014	1	1	1	1	1	1	1
1016	1	—	—	1	—	1	—
1029	3	—	—	—	—	3	—
1034	—	—	2	—	—	—	—
1035	—	2	—	—	—	—	—
1036	—	—	1	—	3	—	—
Код марки материала	Толщина, мм						
	1,2	1,3	1,4		2,0	2,5	3,0
	Код типоразмера						
1014	1;2	1;2	—	—	2	2	3
1016	—	—	1	2; 3	2	3	3
1029	—	—	—	—	—	—	—
1034	—	—	1	—	3	3	—
1035	—	—	—	—	6	—	—
1036	—	3	—	—	—	—	3

12. Коды разделительных операций и переходов

Операция	Код операции	Переход	Код перехода
Отрезка	2101	Резать лист на полосы в размер...по ширине	111
Разрезка	2102	Резать лист на полосы в размер...по длине	112
Обрезка	2103	Резать полосу на заготовки в размер...	113
Надрезка	2104	Резать рулон на ленту в размер...	114
Пробивка	2105	—	—

13. Коды формоизменяющих переходов

Переход	Код	Переход	Код
Гибка	2129	Отбортовка	2138
Скручивание	2131	Рельефная формовка	2142
Закатка	2132	Кернение	2144
Завивка	2133	Рельефная чеканка	2143
Вытяжка с утонением	2136	Калибровка	2149

14. Виды листоштамповочного оборудования

Оборудование	Код
Универсальные прессы	1
Специальное оборудование	2
Прессы-автоматы	3

15. Коды видов штампов

Вид штампа	Группа сложности	Код	Вид штампа	Группа сложности	Код
Вырубной	3	1544-1	Калибровочный	5	1456-Ш
Вырубной	4; 5	1513-111	Пробивной	1	1541-Ш
Высадочный	2	1470	Формовочный	3	1651-111
Вытяжной	8	1621-П	Отрезной	2	1501-111
Обжимной	3	1670-11	Разрезной	2	1504-11
Отбортовочный	2	1652-П	Сборочный	7	1960-11
Гибочный	6	1601-П			

При формировании алгоритмов в настоящее время определились три группы задач. Первая группа задач сводится к поиску ранее разрабо-

танного технологического процесса для подобной детали или использованию стандартного технологического процесса. Вторая группа задач

16. Коды видов профессий и разрядов работы

Профессия	Код профессии	Разряд работы	Код разряда работы
Автоматчик	04001	1	1
Комплектовщик	09060	2	2
Контролер	09062	3	3
Наладчик	04090	—	—
Правильщик	04100	4	4
Разметчик	09100	5	5

17. Коды видов подач

Вид подачи	Код
Ручная	01
Автоматическая (полосы)	02
Валковая (полосы)	03
Клещевая (ленты)	04
Валковая (ленты)	05
Электромагнитная	06

18. Наличие термообработки и покрытия на изделие

Состояние поверхности изделия	Код
Термообработанная	1301
Без термообработки	1302
С покрытием	1401
Без покрытия	1402

19. Минимальный радиус при различных углах гибки

Код материала	Угол гибки		Код материала	Угол гибки	
	90°	135°		90°	135°
011...014	0,3	0,5	211...212	1,5	2,5
017...022	0,5	0,8	421...422	0,3	0,5
027...036	1,4	2,0	431	1,5	2,5

связана с выбором параметров блоков и пакетов штампов из стандартного ряда типоразмеров. Третья группа задач связана с разработкой новых технологических процессов и их оптимизацией. Для окончательного решения всех этих задач в САПР необходимо полное матема-

тическое описание для моделирования операций, процессов и т.д.

Модели формирования алгоритмов.

При выборе варианта технологического маршрута учитывают размерные и физические характеристики детали и ее отдельных элементов. Теоретически число возможных вариантов тех-

20. Минимальные значения коэффициента вытяжки

Номер перехода	Коэффициент вытяжки при $(s/D)100\%$		
	0,1...0,3	0,3...0,6	0,6...1,0
1	0,60...0,58	0,58...0,56	0,56...0,54
2	0,82...0,81	0,81...0,80	0,80...0,79
3	0,83...0,82	0,82...0,81	0,81...0,80
4	0,85...0,84	0,84...0,83	0,83...0,82
5, 6	0,87...0,86	0,86...0,85	0,85...0,84
Калибровка	0,98...0,97	0,97...0,96	0,96...0,95

Номер перехода	Коэффициент вытяжки при $(s/D)100\%$		
	1,0...1,5	1,5...2,0	2
1	0,54...0,52	0,52...0,50	0,50...0,48
2	0,79...0,78	0,78...0,78	0,77...0,76
3	0,80...0,79	0,79...0,78	0,78...0,77
4	0,82...0,81	0,81...0,80	0,80...0,79
5, 6	0,84...0,83	0,83...0,82	0,82...0,81
Калибровка	0,95...0,94	0,94...0,93	0,93...0,92

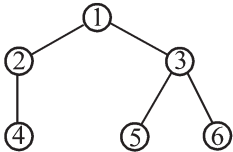

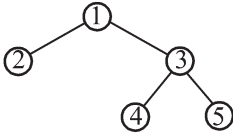
нологического маршрута может быть равно числу сочетаний различных операций; так, если решается n задач и каждая имеет два варианта, то общее число решений (маршрутов) при формальном подходе равно $2n$. Очевидно, часть вариантов сочетаний не имеет смысла, и поэтому в алгоритме выделяют только имеющие практический смысл варианты. Такие варианты выделяют с помощью ограничений, заложенных в алгоритме. Возможность управления качественными характеристиками детали путем изменения одного или нескольких параметров приводит к задаче моделирования процесса выявления таких параметров и определения области их действия.

Из многообразия практически возможных маршрутов выделяют маршруты, отвечающие следующим условиям: маршрут операций соответствует одному из типовых вариантов, технологическая оснастка допускает изготовление детали в соответствии с техническими

требованиями, объем выпуска соответствует экономическим показателям, установлены технические характеристики оборудования и оснастки, режимы работы и возможности перехода с одного режима на другой, сформированы массивы параметров всех режимов работы, установлены технические средства автоматизации и информация для цикловых диаграмм каждого режима работы.

Схема принятия комплекса технологических решений представляет собой иерархическую структуру, где важную роль играют уровни сложности принятия решений и уровни приоритета. Уровни приоритета позволяют свести любую многоуровневую систему к двухуровневой. В этом случае система принятия комплекса решений может быть представлена в виде элементов принятия решений на своем уровне и передачи результатов решения на следующий уровень, имеющий n групп элементов, где принимаются решения

21. Детализация процесса формирования алгоритма решения комплекса технологических задач (фрагмент)

Уровень	Наименование	Схема реализации	Обозначение
1	Структурная детализация алгоритма технологических решений		1 — выбор способа; 2 — по элементам; 3 — комплексно; 4–6 — оборудование (универсальное, специальное, автоматизированное и пр.)
2	Структура ЭВМ		1 — технологические характеристики ЭВМ
3	Выбор технологического оснащения		1 — выбор схемы; 2 — штамп простого действия; 3 — штамп комбинированного действия; 4 — совмещенный штамп; 5 — последовательный штамп

в соответствии с ранее принятым определенным элементом решения верхнего уровня. При автоматизированном решении комплекса технологических задач холодной листовой штамповки любая двухуровневая система имеет два вида целей: цели принятия решений нижнего уровня и цели принятия решений верхнего уровня.

Методы формирования алгоритмов.

В практике автоматизированного проектирования применяют два метода формирования алгоритмов: метод эталонов и общий метод. В первом случае алгоритм принятия решения состоит в установлении связи между конструктивными элементами исходной детали и типового образца технологического процесса по классификатору. Процесс создания алгоритма в общем случае заключается в том, что для номенклатуры деталей (a_1, a_2, \dots, a_n), изготавливаемых с помощью $m(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ технологических операций необходимо определить технологический маршрут их изготовления. Здесь на каждую технологическую операцию имеют набор ограничений на входные параметры заготовки и выходные параметры детали.

Определение очередности выполнения переходов или операций позво-

ляет формировать отдельные операции из переходов, а также технологический маршрут в целом. Формализованно схему принятия решения можно представить в виде множества, в котором определены типы отношений и эти отношения отображены в виде дерева (табл. 21). Вершины дерева соответствуют точкам принятия решения, а ребра — решаемым задачам. Структура дерева определяет возможные маршруты обработки и независимо от формы запроса ответ на него будет определяться однозначно, если в нем содержатся необходимые исходные данные. Наличие информации о количестве и характере задач на каждом уровне дерева позволяет сформулировать общие требования к алгоритму принятия комплекса решений.

Реализация рассмотренной структуры принятия комплекса технологических решений позволяет построить схему взаимосвязи совокупности деревьев (задачи и решений), которая представлена в таблице частично. В качестве примера ниже представлена схема решения задач первого уровня. Затем решают задачи более низкого уровня — задачи по определению непротиворечивости и полноты информации, сокра-

щению трудоемкости формирования массивов выходной информации.

Наличие обобщенного маршрута операций может создать ситуацию неопределенности при решении технологических задач. Для преодоления такой неопределенности возможны два пути. Первый — это принятие решения по аналогии из прошлого опыта. Второй — это принятие решения по этапам, если нет возможности принять решение по первому случаю; в этом случае расчлняют процесс на такие стадии, на которых возможно принятие решения на первой стадии при заданных исходных данных; на второй и последующих стадиях решение принимается с учетом исходных данных и результата решения на предыдущей стадии. Этот процесс продолжается до получения заданной точности.

Оптимальное технологическое решение может быть лучшим среди других по технологическому или экономическому признаку. С экономической точки зрения лучшее решение должно обеспечивать минимальную себестоимость. Такое решение традиционно получают итерационным путем.

Более рациональным является путь попарного сравнения вариантов, полученных при автоматизированном проектировании. При возможности из небольшого числа вариантов выявляют наиболее рациональные варианты и выводят их на печать с целью выбора оптимального из них специалистом-технологом.

Пример формирования алгоритма комплекса технологических решений при вытяжке.

Алгоритм определения размеров заготовки, выбора исходной заготовки, расчета числа переходов и геометрических размеров при операциях вытяжки:

- 1) ввод исходных данных;
- 2) обрезка припуска необходима, если нет, то переход к п. 6;

3) детали без фланца, если нет, то переход к п. 5;

4) назначение припуска на обрезку детали без фланца и переход к п. 6;

5) назначение припуска на обрезку детали с фланцем;

6) расчет площади детали и диаметра заготовки;

7) выбор вида исходной заготовки и назначение оборудования для резки;

7.1) определение коэффициента использования материала (КИМ) для каждого вида заготовки (ВЗ) (см. табл. 8) и выявление вида заготовки, обеспечивающего наибольший КИМ;

7.2) если ВЗ = 1, то назначить операцию с кодом 112 (см. табл. 12); далее переход к п. 7.6;

7.3) если ВЗ = 2 и ширина ленты равна ширине или длине штампуемой заготовки, то заготовительная операция отсутствует; переход к п. 7.6;

7.4) если ВЗ = 3 и ширина рулона не равна ширине или длине штампуемой заготовки, то назначить операцию с кодом 114 (см. табл. 12); переход к п. 7.6;

7.5) если ВЗ = 5 или $\neq \begin{Bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{Bmatrix}$, то на-

значить операцию с кодом 113 (см. табл. 12);

7.6) назначить оборудование (см. табл. 6) и печатать информацию в виде таблицы: номер операции, код и наименование операции, содержание операции (перехода), код, наименование и модель оборудования;

8) расчет допустимых значений коэффициентов вытяжки K_i (табл. 20);

9) значение $i = 1$;

10) расчет допустимого диаметра полуфабриката (детали) для первой вытяжки;

11) деталь без фланца, если нет, то переход к п. 22;

12) вытяжка за один переход возможна, если нет, то переход к п. 18;

13) обрезка припуска необходима, если нет, то перейти к п. 16;

14) расчет первого перехода вытяжки детали с фланцем;

15) обрезка (и калибровка); переход к п. 17;

16) расчет первого перехода вытяжки без фланца;

17) выход из алгоритма;

18) значение $i = i + 1$;

19) расчет допустимого диаметра детали для i -го перехода;

20) вытяжка за i переходов возможна, если нет, то перейти к п. 22;

21) обрезка припуска необходима, если нет, то перейти к п. 24;

22) расчет $(i - 1)$ -го перехода вытяжки детали без фланца и переход к п. 18;

23) расчет $(i - 1)$ -го перехода вытяжки детали без фланца;

24) расчет i -го перехода вытяжки детали с фланцем с учетом припуска на обрезку;

25) назначение $(i + 1)$ -го перехода; обрезка припуска и калибровка;

26) расчет $(i - 1)$ -го перехода вытяжки детали без фланца;

27) назначение i -го перехода вытяжки детали без фланца;

28) выход из алгоритма.

С помощью САПР холодной листовой штамповки решают задачи, приведенные на рис. 35.

Некоторые примеры использования САПР и ее элементов в подготовке листостамповочного производства приведены в работе [2].

В современных гибких производственных системах технология, разработанная с помощью САПР (обычно для исполнения на унифицированном технологическом оснащении, установленном на прессовом оборудовании с числовым программным управлением), передается непосредственно с ЭВМ на пресс, минуя промежуточные звенья

(технологические маршрутные и операционные карты и др.).

Автоматизация проектирования штампов (методологические основы). Существующие САПР штампов (САПРШ) созданы на основе двух методологических подходов: 1) модель конструкции штампа представлена в виде многоуровневой иерархической структуры, в которой конструктивным элементом является часть конструкции, часть детали (которые в процессе проектирования нецелесообразно расчленять на более мелкие составляющие части); 2) модель конструкции представлена в виде многоуровневой иерархической структуры, в которой элементы конструкции выделены по их функциональному назначению. Этот подход позволяет однозначно определять структуру проектируемых штампов. САПРШ в этом случае — это совокупность подсистем, каждая из которых обеспечивает проектирование определенной части конструкции. Структура системы при этом подходе аналогична структуре штампа. В настоящее время первый подход разработан достаточно подробно; второй пока менее распространен, так как его начали позже разрабатывать, однако использование второго подхода более удобно для пользователя и обеспечивает легкую корректировку и совершенствование системы проектирования.

При создании САПРШ решают следующие задачи:

1) изучение особенностей производства и номенклатуры штампуемых деталей;

2) изучение конструкции проектируемых на предприятии штампов;

3) изучение оборудования для изготовления и эксплуатации штампов;

4) определение состава входной информации для проектирования штампа, разработка новой или выбор одной из существующих систем подготовки входной информации;

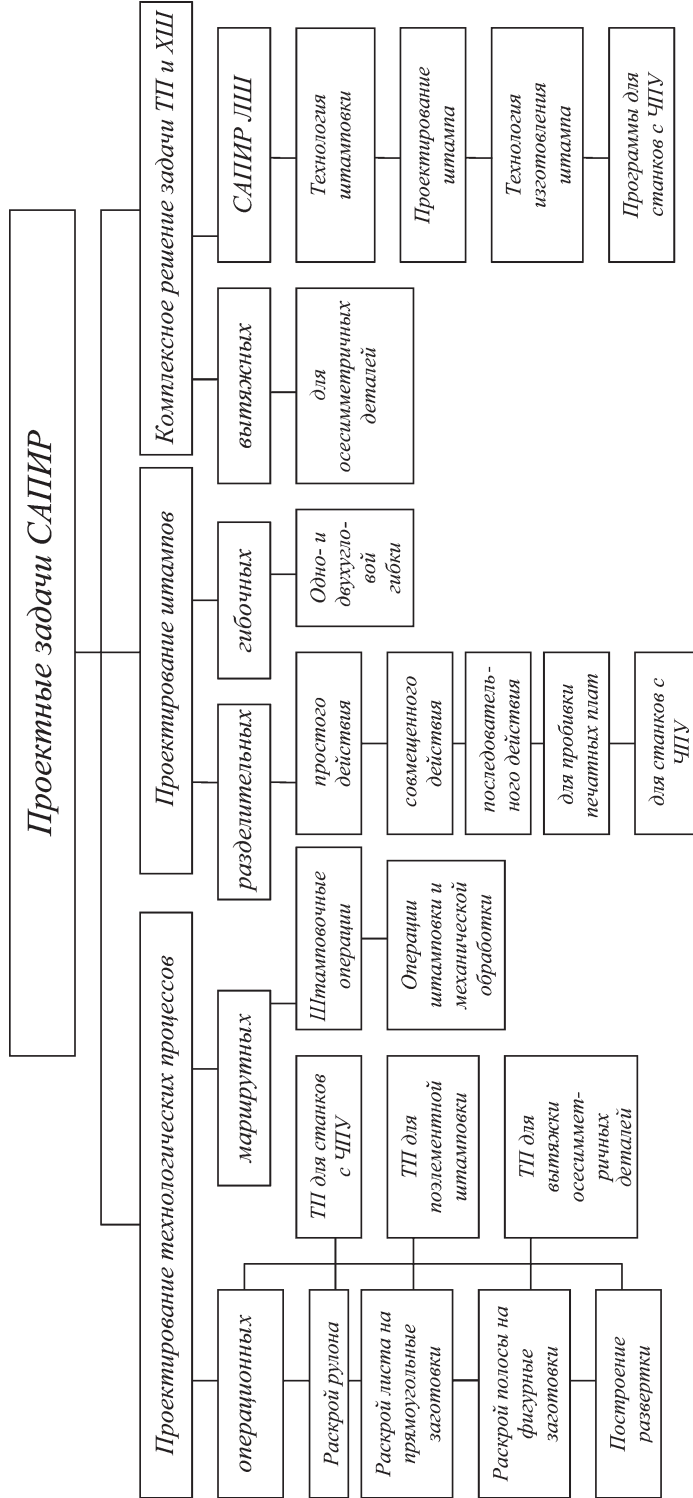


Рис. 35. Проектные задачи холодноштамповочного производства

5) разработка моделей конструкции и создание системы описания моделей конструкции штампа и его элементов;

6) определение задач проектирования, решаемых каждым модулем системы, и создание методик автоматизированного решения задач;

7) разработка алгоритмов и программ решения задач каждым программным модулем;

8) автономная отладка программных модулей;

9) разработка программного комплекса графического обеспечения системы проектирования;

10) комплексная отладка отдельных подсистем и всей системы;

11) опытная эксплуатация системы;

12) внесение изменений по результатам опытной эксплуатации;

13) сдача системы в эксплуатацию.

Состав и структурное построение САПРШ. Основные структурные звенья САПРШ — подсистемы. Подсистемы могут быть инвариантные и объектные. Объектные подсистемы — это подсистемы, каждая из которых проектирует определенную функциональную часть конструкции штампа. В состав САПРШ входят в общем случае следующие объектные подсистемы проектирования: рабочих частей, системы выталкивания, системы съема, системы ориентации и фиксации заготовки, блока, ограждения в зависимости от принятой типовой конструкции штампа. Инвариантные подсистемы САПРШ, выполняющие функции управления и обработки информации, следующие: подготовка, контроль, ввод исходных данных, управление процессом проектирования, вывод результатов, управление базой данных. Структурное единство каждой подсистемы САПР обеспечивается связями между компонентами различных средств обеспечения (методического, программного, информационного и др.) САПР, а структурное объединение подсистем в

систему — связями между подсистемами. У всех подсистем единое лингвистическое обеспечение, совместимость программного обеспечения.

Информационное обеспечение САПРШ составляет входная, базовая и выходная информация. Входной является переменная часть информации, необходимая для проектирования конкретного штампа, содержащая сведения о детали и об объеме ее производства. Состав, характер и объем информации должен быть исчерпывающим и минимальным и обычно содержит следующие данные о детали: метод получения (вырубка, гибка, вытяжка и т.д.), габаритные размеры, марку, состояние и характеристики материала, геометрическую форму (плоская, П-образная, Г-образная и т.д.), общее число размеров на чертеже, число отверстий и пазов, объем выпуска. Такой объем информации определяет тип и конструкцию проектируемого штампа, размеры и материалы его деталей, применяемое оборудование и тип производства.

Входная информация формируется на основе чертежа детали, объема выпуска и подразделяется на группы: общего характера, технологического характера, данных о размерах и допусках и о форме детали. Информация общего характера — это номер детали, номер штампа, тип штампа, объем выпуска, тип блока и т.п.; технологическая информация — материал, толщина материала, вид и параметры раскроя и т.п.

Базовая информация — это условно-постоянная информация, необходимая и достаточная для проектирования определенного класса штампов. Базовая информация содержит сведения об объекте проектирования, оборудовании, материалах деталей штампов, стандартизованных элементах конструкции, бланках-чертежах, типовых изображениях и других элемен-

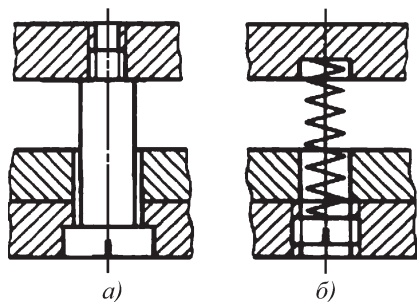


Рис. 36. Стандартизованные элементы штампа:
а — толкатель; б — прижим

тах, которые вместе составляют библиотеку этих данных.

Основой автоматизированного проектирования штампов является максимальное использование типовых инженерных и конструктивных решений. Примерами типовых стандартных решений в конструкции штампа являются: толкатели, пружины, упоры, винты, штифты (рис. 36), детали штампа и буфера, блоки и другие элементы конструкции. По коду детали или элемента конструкции в процессе проектирования конкретного штампа выбирают соответствующие типы, размеры и параметры. Каждый стандартизованный элемент конструкции представляют в виде чертежа согласно требованиям ЕСКД с учетом автоматизации проектирования.

На сборочном чертеже стандартизованный элемент изображают в виде конструктивно законченной сборочной единицы (рис. 37) совместно с несущими деталями штампа и представляют для нее спецификацию. На сборочном чертеже и на деталях устанавливают направление координат, также проставляют габаритные и присоединительные размеры в буквенном виде, числовые значения размеров указывают в таблице для каждого типоразмера, для расчетных размеров приводят соответствующую формулу.

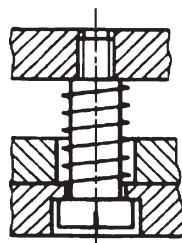


Рис. 37. Сборочный чертеж стандартного элемента конструкции

Типовые размеры штампа в библиотеке системы находятся в виде базовой постоянной информации бланка-чертежа и типового изображения; бланк-чертеж типовой детали штампа содержит графическое изображение по правилам ЕСКД и таблицу с буквенными обозначениями размеров, числовые значения которых вписываются при проектировании штампа; типовое изображение содержит сведения об отдельных элементах чертежей штампов, обладающих постоянными геометрическими характеристиками: конфигурацией, типами линий, порядком чередования линий и т.д. Типовое изображение — это проекция детали или элемента конструкции, отдельные символы, рамка, угловой штамп и т.д.

Каталог информации об оборудовании состоит из следующих данных: модель, параметры рабочей зоны, номинальное усилие, присоединительные размеры и т.п.

Библиотека справочных данных — это совокупность констант конструкторского и технологического характера, представленная в виде массивов — таблиц.

Выходная информация — это часть переменной информации, необходимая и достаточная для описания конструкции спроектированного штампа и получения полного комплекса рабочей документации. Комплект рабочей документации на спроектированный штамп состоит из сборочного чертежа,

комплекта рабочих чертежей его деталей, спецификации, таблицы размеров и других характеристик.

При получении сборочного чертежа выбирают толщину основных линий, наносят номера позиций и устраняют пересечение выносных линий, определяют число проекций, масштаб и формат чертежа, заполняют основную надпись.

Форма представления выходной информации на детали штампа зависит от сведений, известных о них до начала проектирования: для стандартизованных деталей в спецификации указывают их наименование, ГОСТ и количество, но их не вычерчивают. Для типовых деталей известна до начала проектирования форма и поэтому ее не вычерчивают, а используют бланк-чертежи, на которых в таблицах распечатывают данные о размерах, затем указывают индекс штампа, код детали и номер позиции в спецификации штампа, далее эти данные конструктор вручную переносит на бланк-чертеж. Для специальных деталей форму и размеры полностью или частично определяют в процессе проектирования. Алгоритм получения чертежа детали: формирование кода детали, распечатка таблиц конструктивных размеров, определение структуры чертежа, формата и масштаба, формирование кода детали, распечатка таблиц конструктивных размеров, определение структуры чертежа, формата и масштаба, формирование описания чертежа детали и вывод описания на машинный носитель для вычерчивания чертежа.

Спецификация в соответствии с ЕСКД содержит: номера позиции деталей, обозначения и их наименование, число в конструкции штампа, признак принадлежности к стандартизованным деталям.

Выходная информация о типе выбранного оборудования содержит све-

дения о модели оборудования и ее основных параметрах.

Принципы построения САПР штампов. Принципы, заложенные в САПР, определяют ее функциональные возможности. Эти принципы определяются следующими параметрами.

Степень возможной формализации определяет два пути конструирования: автоматическое и полуавтоматическое. В первом случае процесс конструирования протекает без участия человека. Во втором случае конструирование протекает в диалоговом режиме человек — ЭВМ.

Ограничение количества параметров, обрабатываемых системой. Существует большое количество конструкций штампов, типоразмеров узлов и деталей и условий их применимости, материалов штампуемых деталей, описания изображения типовых элементов, образующих базу данных, с которой взаимодействуют программы проектирования штампов. Для ускорения процесса проектирования его ведут по типовым представителям, которые выбираются с помощью анализа информации, содержащейся в задании на проектирование штампа. В этом случае порядок проектирования сводится к выбору типового представителя из базового набора, вычисления значения параметров унифицированных и стандартных элементов конструкций, компоновки стандартных, унифицированных и оригинальных элементов, выполнения при необходимости прочностных расчетов, расчета рабочих размеров формообразующих деталей, выбора материала детали, технических условий ее изготовления, формирования цифровой модели деталей. А для штампа в целом определяются параметры пространственного положения деталей штампа, выбор оборудования, формирование спецификации деталей и узлов.

Блочная-модульная структура проектирующей программы определяется иерархической структурой конструкции штампа. Это позволяет представить всю конструкцию из большого количества стандартных и типовых элементов, для которых можно создавать типовое проектное решение. Использование таких решений позволяет существенно сократить затраты на создание САПР. В связи с этим весьма полезным является создание или использование ранее разработанного инвариантного программного комплекса — пакета прикладных программ, который может быть методологической и программной основой для создания САПР на различных предприятиях. Таким пакетом прикладных программ является разработанный фирмой «Топ-системы» ИКТИ РАН (Институт конструкторско-технологической информатики Российской Академии наук) система автоматизированного проектирования T-Flex/Штамп.

Далее показаны возможности автоматизированной поддержки инженерных решений (САПИР) и ее пользовательский интерфейс на примере проектирования штампов листовой штамповки (ЛШ). Отличительной особенностью САПИР от традиционных САПР является ее изначальная ориентированность на специалиста предметной области, но не программиста. Этап внесения изменений в правила проектирования конкретного объекта предусмотрен заранее и доступен конструктору в ходе эксплуатации системы. В состав САПИР входят: инвариантная информационная платформа для решения машиностроительных задач в интерактивном режиме, символьная и графическая базы знаний объектов проектирования, которые являются ее функциональным наполнением, и связывающая их в единое целое библиотека сценариев проектирования.

В качестве такой инвариантной платформы используется интегрированная интеллектуальная система (ИНИС). Для разработки и внесения изменений в символьные базы знаний используются инструментальные средства, называемые интеллектуальной компьютерной средой (ИКС). Для разработки и внесения изменений в графические базы знаний и оформления комплекта конструкторской документации (КД) на объект проектирования используется система параметрического автоматизированного проектирования и черчения T-FLEX CAD.

Сама САПИР работает в среде Windows 95/98/NT/2000/XP, и имеет традиционный для данных систем интерфейс: диалоговые окна, пиктограммы, встроенную систему подсказок, справочную систему и т.д. Причем пользователь может ознакомиться с системой не только на уровне функций-подсказок и слайдов технических решений, но и на уровне понятийной модели, баз данных с нормативно-справочной информацией, параметрических прототипов чертежей, библиотеки сценариев проектирования и т.д.

Для пользователя САПИР представляет собой функциональный набор процедур, которые в рамках создаваемого проекта реализуют сценарий, направленный на проектирование того или иного типа штампа, используя прототип или «базовую модель», основанную на известных разработках. В общем случае прототип с точки зрения процесса проектирования штампов ЛШ — это конструкция штампа, проверенная на стадиях проектирования, изготовления и эксплуатации и ставшая образцом («базовой моделью») для последующих конструкторских разработок. Прототип включает в себя различные варианты компоновки, присущие данной конструкции штампа. Например, при проектировании последовательно-

го штампа в зависимости от геометрии штампуемой детали и желания пользователя возможно использовать различные фиксирующие элементы: упоры шаговые и разовые, ножи шаговые, боковые прижимы, фиксаторы и т.д. Такая конструкция штампа легко привязывается пользователем к особенностям конкретного производства, как по конфигурации деталей штампа, так и по их составу, используя стандартные и нестандартные решения (например, форма плит блока штампа, наличие пуансонодержателя, форма пуансонов и др.). Так проектируется основная номенклатура штампов ЛШ машино- и приборостроительного производства, что позволяет: сократить в 2–3 раза трудоемкость проектных расчетов, конструирования и выпуска рабочих чертежей штампов ЛШ; повысить качество проектных работ за счет сокращения ошибок проектирования; сократить на порядок сроки подготовки технической документации; значительно сократить сроки освоения выпуска новых изделий.

Объектом проектирования САПИР/ЛШ являются разделительные, формообразующие и комбинированные штампы ЛШ (табл. 22), для получения деталей произвольной конфигурации из различных материалов толщиной до 10 мм и габаритами до 1000 мм.

Одновременно с чисто конструкторскими задачами в САПИР/ЛШ решаются и технологические вопросы, влияющие на проектирование штампов. К ним относятся: проверка штампуемой детали на технологичность, раскрой, расчет развертки гнутой детали, расчет количества переходов и размеров полуфабрикатов при вытяжке цилиндрических стаканов и др. Например, анализ на технологичность гнутых деталей позволяет выбирать типовые конструкции штампов, обеспечивающие получение качественных де-

талей в зависимости от их габаритов, точности детали и толщины штампуемого материала.

Выбор CAD/CAE/CAM — для проектирования. Ядро программно-методического комплекса современного производящего предприятия (КБ + Завод) составляют CAD/CAE/CAM-системы, которые выбирают для выполнения следующих работ: создания твердотельной конструкции (CAD); инженерных расчетов, компьютерного моделирования (CAE) и кинематических расчетов; изготовления (CAM); оборудования с ЧПУ; LOM-технологии; плазового производства; КИМ; оформления технической документации по ЕСКД; компьютерной подготовки и технологической оснастки; анимации и сборки конструкций.

Наиболее наукоемкой частью CAD/CAE/CAM-систем является трехмерная графика (3D-графика). Ключевым элементом 3D графики выступает параметризованная объектно-ориентированная система геометрического моделирования, обеспечивающая легкость в обращении и гибкость в работе программы, возможность фиксации ассоциативных связей между отдельными элементами конструкции, стандартные интерфейсы для выполнения инженерных расчетов и реализации процессов изготовления.

Необходимый набор компонентов, включаемых в CAD/CAE/CAM-системы, содержит:

управление жизненным циклом изделия (PLM), включающим управление коллективной работой и работу в сети Internet;

трехмерное геометрическое моделирование (CAD): графическое двух- и трехмерное ядро (Parasolid, Axis, Granite, частное), базовый набор трехмерных операций, средства оформления чертежей по стандартам (ЕСКД, ISO, ANSI и т.д.), параметризацию (D-CUBED, T-FLEX, частную);

22. Конструкции штампов ЛШ, проектируемые в САПИР

Модели конструкции штампов	Выполняемые операции	Типовые конструкции штампов
<i>Разделительные</i>		
Совмещенные: со стандартным блоком крупногабаритные секционные	Вырубка-пробивка	С круглым пакетом, с прямоугольным пакетом, для листов электротехнического же- леза
Последовательные: со стандартным блок-пакетом	Вырубка	С одним ножом С шаговым упором
с жестким съемником	Пробивка-вырубка	С одним ножом С двумя ножами С шаговым упором
с верхним прижимом	Вырубка	С одним ножом С шаговым упором
	Пробивка-вырубка	С одним ножом С двумя ножами С шаговым упором
Пробивные: Крупногабаритные секционные	Пробивка	Для листов электротехнического железа
<i>Формообразующие</i>		
Вытяжные на прессы простого действия (для первых и вто- рых операций)	Вытяжка	С цельными матрицей и пуансоном
Гибочные	Одноугловая гибка	На жесткий упор
<i>Комбинированные</i>		
Последовательные со стан- дартным блоком-пакетом и жестким съемником	Пробивка-отрезка-гибка	С одним ножом С двумя ножами с шаговым упором
	Пробивка-надрезка-фор- мовка-вырубка	С двумя ножами с шаговым упором
Вытяжные на прессы простого действия (для цилиндра с фланцем и без фланца)	Вырубка-вытяжка Вырубка-вытяжка и про- бивка Вырубка-вытяжка-обрезка фланца	С цельными матрицей и пуансоном
Вытяжные на прессы двойно- го действия	Вытяжка-обрезка фланца	С цельными матрицей и пуансоном, с секционной матрицей и пуансоном

функциональные модули, включающие: метод конечных элементов (FEM) для прочностного, теплового и других анализов, проектирование штампов, мерительного инструмента и т.д., инженерных расчетов; моделирование кинематики и динамики

механизмов, работу с тонкими листами металла;

технологическую подготовку производства (САМ), включающую подготовку управляющих программ для оборудования с ЧПУ, виды обработки (фрезерную, токарную, электроэрози-

онную, гравирование), обслуживание контрольно-измерительных машин, моделирование обработки на оборудовании с ЧПУ, генерацию постпроцессоров, реализацию высокоскоростной обработки;

СУБД, включающую каталоги нормализованных элементов;

CASE-средства, включающие создание прикладных приложений пользователя, построение пользовательского интерфейса, объектно-ориентированные технологии обработки, интерфейсы с другими CAD/CAE/CAM системами.

Этот базовый набор дополняется различными вспомогательными модулями, расширяющими возможности систем. Очень часто в состав универсальных систем включаются широко известные специализированные пакеты, такие как MoldFlow, AutoForm, NASTRAN, PAN Stamp и др.

Набор программных продуктов, входящих в состав CAD/CAE/CAM-систем, прекрасно вписывается в существующую структуру предприятий. Это связано с тем, что, с одной стороны, целые группы продуктов из общего набора являются достаточно универсальными и используются как в основном цикле, так и во вспомогательных производствах (системы трехмерного геометрического моделирования, чертежно-графические и т.д.). С другой стороны, специализированные программные продукты (расчетные программы, технологические модули и т.д.) соответствуют потребностям конкретных подразделений предприятий.

На всех этапах работ единым источником данных для инженерных приложений выступает цифровая модель, построенная на единой структурированной основе средствами СУБД. При работе с системой должно обеспечиваться контролируемое автоматическое перенесение изменений в какой-либо об-

ласти конструкторской разработки на все соответствующие участки полного проекта.

Интегрированная компьютерная технология допускает стыковку с системами управления деятельностью промышленного предприятия, что еще более повышает эффективность автоматизации рабочих процессов.

Большая часть CAD/CAE/CAM-систем близки по своим функциональным возможностям.

Создание штамповой оснастки основано на выполнении следующей цепочки действий: 1 — определение исходных требований к описанию штампуемой детали; 2 — выполнение технологических расчетов, подтверждающих возможность получения детали с помощью операций штамповки; 3 — получение комплекта конструкторско-технологической документации, позволяющей изготавливать конструкцию штампа в промышленных условиях; 4 — изготовление штампа в «металле».

При проектировании технологической оснастки в соответствии с чертежом и материалом детали, требуемой производительностью, данными об оборудовании с использованием системы автоматизированной поддержки информационных решений применяют следующие средства: базы данных о материалах, прессовом оборудовании, типовых элементах штампов, комплект технической документации, данные по управлению технологическими процессами.

В САПИР деятельность исполнителя по формированию рабочих элементов штампа представляется в виде процессов, использующих табличные, алгоритмические и геометрические зависимости между входными данными и параметрами. Сущность этих процессов состоит в следующем:

конструктор по исходным данным вводит основные надписи, создает или

редактирует чертеж изделия выполняющего графическое редактирование, на основе табличных данных выбирает марку и сортament материала штампуемой детали и формирует требования к организации производства;

по объекту проектирования конструктор выбирает из таблицы тип штампа в зависимости от требований к точности или с жестким съёмником, или с верхним прижимом, а из требований к организации производства — проектирование по аналогу или оригинальное;

конструктор по таблицам выбирает вид раскроя, рассчитывает перемены, угол наклона, шаг подачи и ширину заготовки, коэффициент использования материала;

при формировании рабочей зоны штамповки конструктор, руководствуясь расчетами, производительностью, ожидаемой стойкостью штампа, устанавливает разность и увязку штампуемых контуров по шагам штамповки, создает рабочую зону;

расчет рабочих размеров конструктором проводится в соответствии с рекомендациями, по таблицам определяет виды посадочных и провалных отверстий, рассчитывает исполнительные размеры рабочих частей штампа — пуансонов и матриц;

при проектировании пакета штампа конструктор рассчитывает силу штамповки, габаритные размеры рабочего пакета, крепежные детали, определяет их расположение;

конструктор устанавливает элементы фиксации — габаритные размеры фиксаторов, упоров, ножей, прижимов, используя расчетные и табличные данные;

в зависимости от вида выполняемых операций конструктор выбирает тип блока штампа, руководствуясь расчетными данными, по таблицам выбирает размеры колонок, втулок и транспортных штырей, крепежных элементов

штампа к столу прессы и хвостовика штампа;

при выборе прессы для проектируемого штампа конструктор руководствуется данными о установленном в цехе прессовом оборудовании, силе штамповки, закрытой высоте;

конструктор определяет и назначает основные параметры разработанного чертежа;

окончательное редактирование конструктором в режиме диалога спецификации, определение по таблицам форматов чертежей, расположения видов в поле чертежа и размещения размеров на проекциях.

Алгоритмы выполнения перечисленных действий определяются прочностными зависимостями либо получаются путем аппроксимации соответствующих табличных данных из нормативно-справочной информации. Подобные процессы в САПИР обычно используют для проектирования штампов одного назначения: последовательных, совмещенных, гибочных, вытяжных и т.д.

Задача проектирования конструкции штампа для исполнителя в САПИР обычно связывается: 1) с анализом исходной заготовки; 2) выбором на этой основе прототипа конструкции; 3) с проведением технологических расчетов; 4) формированием оригинальных узлов конструкции и 5) выпуском комплекта конструкторско-технологической документации на изготовление и сборку.

Проектные работы в САПИР штампов (ориентировочно) могут быть представлены в виде следующей цепочки действий.

1. На основе исходного чертежа штампуемой детали и ее параметров выбирают: типовую конструкцию штампа из имеющихся в компьютерной базе данных, которая наиболее близко отвечает заказу; тип раскроя детали в полосе

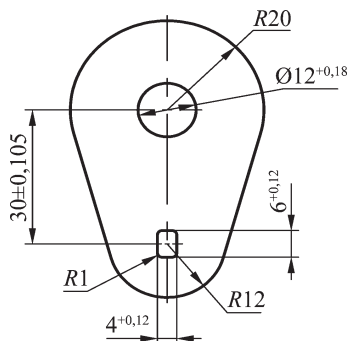


Рис. 38. Требования к геометрии штампуемой детали и параметрам обработки (допуски, точность для отдельных размеров и т.д.)

(заготовке). С учетом перемычек и операции получения заготовки рассчитывают технологические параметры (ширина полосы, шаг штамповки и т.д.). Для последовательного штампа определяют последовательность переходов.

Разработку конструкции штампа для листовой штамповки можно начинать при задании следующих исходных требований: чертеж (или его эквивалент в 3D виде) на штампуемую деталь (рис. 38), ее толщина, марка материала, объем выпуска и т.д. Эти сведения в САПИР определим как формализованное техническое задание на разработку конструкции штампа. Для проектирования штампов листовой штамповки обычно бывает достаточным использование двумерных графических систем.

Автоматически обычно выполняют раскрой в полосе (ленте) заготовки: наклонный, штамповка с поворотом полосы («вперевертку») и двухрядный и затем выбирают наиболее экономичный (при каждом типе раскроя автоматически указывается КИМ). Использование различных типов раскроя позволяет исполнителю добиваться приемлемого значения коэффициента использования материала (КИМ) (рис. 39). Размер перемычки между двумя штампуемыми деталями в полосе рассчитывается исходя из практических рекомендаций. Решение задачи раскроя в САПИР полностью автоматизировано.

В штампуемой детали обычно присутствуют один или несколько внутренних контуров, которые необходимо пробить. Форма контуров детали может быть произвольной.

2. В результате предыдущих действий формируется рабочая зона штампа, по которой можно рассчитать усилия штамповки. Это, в свою очередь, позволит определить габаритные размеры пакета штампа, количество и параметры крепежа штампа. В зависимости от требований к штампуемой детали, ее габаритов, формы и т.д. выбираются дополнительные фиксирующие элементы (фиксаторы, прижимы) и элементы системы выталкивания.

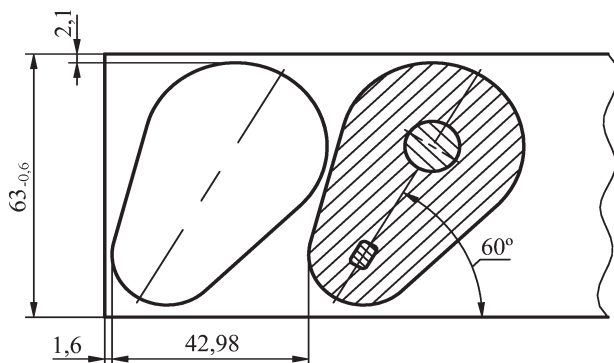


Рис. 39. Пример оформления однорядного раскроя материала из полосы

3. Далее возможности по проектированию штамповой оснастки в САПИР будем рассматривать на примере разделительных штампов. Разделительный штамп принадлежит к широкому классу прессовой оснастки, выполняющей операции вырубки, отрезки и пробивки по заданным контурам детали из различного материала (металл, резина, пластмасса, картон и т.д.). Подобные операции объединены общим названием разделительные операции, поскольку при этом от материала исходной заготовки (полосы) отделяются детали требуемой конфигурации.

Геометрические зависимости между контурами исходной детали и контурами пуансона и матрицы приведены в нормативно-справочной информации. Характер этих зависимостей показан на рис. 40.

Практика показывает, что точность основных рабочих элементов штампа должна быть на два качества выше точности, заданной для штампуемой детали.

Чрезмерное увеличение точности штампа ведет к уменьшению припуска на рабочие размеры и, следовательно, снижает долговечность работы штампа.

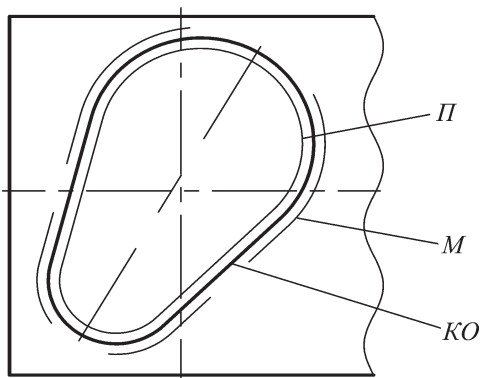


Рис. 40. Эквидистантные зависимости между внешними контурами режущих кромок пуансона П и матрицы М по отношению к кромке обрабатываемой детали КО

На основе точности штампуемой детали и ее конфигурации конструктором формируются требования к отдельным элементам конструкции штампа и сборочным единицам. Материал детали, ее толщина и габариты позволяют рассчитать необходимые усилия, требуемые для штамповки.

Форма материала заготовки (лист, полоса, отходы и т.д.) также определяет ряд конструктивных элементов штампа. К ним, в первую очередь, относятся специальные направляющие и фиксирующие элементы, обеспечивающие строго определенное положение заготовки в рабочей зоне штампа в процессе выполнения операции. Формы штампуемой детали и исходного материала заготовки определяют конструкцию элементов штампа, необходимых для удаления отштампованных деталей и отхода из зоны штамповки. Таковы некоторые основные взаимосвязи между штампуемой деталью и формой материала заготовки, которые учитываются в ходе проектирования конструкции штампа.

В разделительном штампе совмещенного действия вырезка по внешнему контуру и пробивка внутреннего контура выполняются одновременно. Осуществляется это с помощью пуансонов и матриц. Последние относятся к основным рабочим элементам конструкции штампа.

Помимо этого непосредственно с подвижными элементами режущей части штампа взаимодействуют съемники и выталкиватель, обеспечивающие фиксацию заготовки в зоне его деформации, удаление детали и отходов заготовки из штампа. Все выше рассмотренные элементы, собранные в определенную конструкцию, образуют основную часть штампа, которая называется пакетом. Пакет устанавливают в блок штампа для выполнения функционального назначения при использовании прессового оборудования.

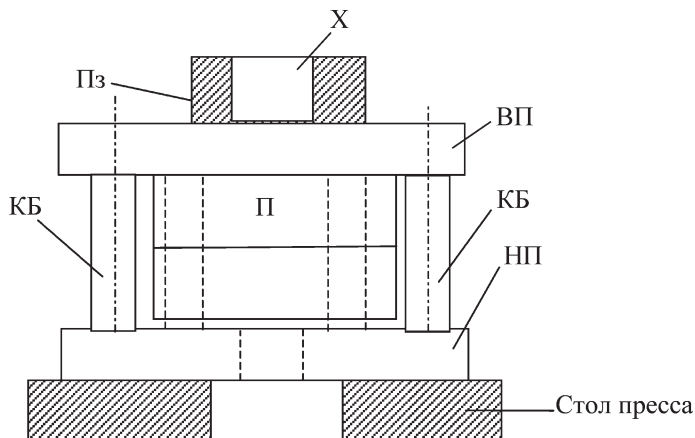


Рис. 41. Блок штампа:

П — пакет с рабочими элементами; КБ — колонки блока; Пз — ползун прессы, соединенный с хвостовиком блока штампа Х; ВП и НП — верхняя и нижняя плиты

Обычно если к детали предъявляются повышенные требования по точности взаимного расположения контуров и если перемычки между внутренними контурами достаточно велики, то используют штампы совмещенного действия.

4. Взаимодействующие элементы пакета штампа крепятся на специальных плитах (рис. 41). Соосность подвижных частей всей конструкции штампа и их взаимное перемещение обеспечиваются направляющими колонками и втулками. Соответствующие части пакета в блоке штампа штифуются и крепятся резьбовыми соединениями на верхней и нижней плитах.

5. С помощью хвостовика (или прихватов) верхняя плита штампа жестко связана с ползуном прессы. Габаритные размеры должны учитывать размеры стола прессы, соответствовать развиваемым силам при штамповке, закрытой высоте и провальным окнам прессы.

6. Исходная заготовка может фиксироваться в рабочей зоне с помощью упоров для совмещенного штампа (рис. 42). А в последовательном штампе для фиксации используются ножи, планки, фиксаторы. Элементы фикса-

ции в конструкции штампа определяются исполнителем в зависимости от требований к детали.

7. В комплект документации входят: сборочный чертеж конструкции штампа, чертежи деталей и спецификация. Штамп средней сложности имеет порядка 15–25 деталей, на каждую из которых, если она не стандартная, надлежит обязательно выпустить конструкторский чертеж. Основу оригинальной части конструкции штампа (пакета) составляют пуансоны и матрицы, съемники, пуансонодержатели и т.д. (рис. 43).

8. Оформление документации в ходе проектной деятельности исполнителя в САПИР штампов связано с формирова-

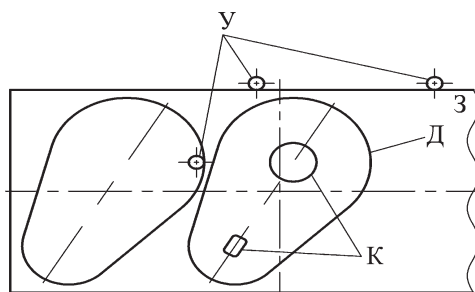


Рис. 42. Внешний контур детали Д с пробиваемым внутренним контуром К, заготовка полоса материала З и упоры У в рабочей зоне штампа

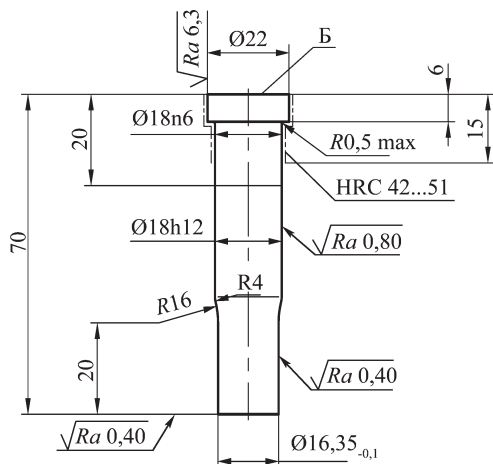


Рис. 43. Пуансон для пробивки отверстий

нием рабочих профилей для отдельных деталей пакета штампа. Для этого конструктор должен определить форму посадочных элементов пуансонов, провальных отверстий (если их требуется упростить), формой заплечиков выталкивателей и т.д. После уточнения качества точности штампуемой детали (или отклонений проставленных на чертеже детали), размеров заплечиков, увеличения провальных отверстий и т.д. формируются рабочие элементы пуансонов, матриц, пуансон-матриц, пуансонодержателей, съемников и т.д.

При проектировании исполнитель выбирает различные конструкции пуансонов: пробивные, формовочные, отбортовочные, пуансоны для пуклевки и надрезки с гибкой. Все пуансоны в САПИР проверяются на устойчивость. Наличие в библиотеки САПИР фрагментов пуансонов позволяют исполнителю быстро делать любые сечения основных деталей штампа (матрица, съемник и т.д.) и сборочных чертежей.

На этом проектирование пакета штампа практически закончено. Отдельные узлы прижимов, выталкивателей, фиксаторов, упоров, пробивных (или формоизменяющих) пуансонов, а, следовательно, и отверстий под них в

съемниках и пуанодержателях формируются как отдельные объекты проектирования. Но в результате параметризации эти узлы размещаются в конструкции штампа либо автоматически, либо под управлением исполнителя.

9. После завершения проектирования пакета штампа и его отдельных узлов выбирается тип блока штампа и рассчитываются его параметры. По габаритам блока штампа и усилию штамповки выбирается прессовое оборудование. После выбора прессы, устанавливаются характеристики рабочего пространства, которые должны быть учтены в конструктивных параметрах элементов штампа (рис. 44). Кроме того, из рабочих характеристик следует учитывать величину провального отверстия в плите прессы, которая должна обеспечить удаление деталей и отходов (высечки) или обеспечить достаточное усилие съемника, если буфер прикреплен к нижней плите штампа. При проектировании буфера САПИР отслеживает ситуации, когда диаметр требуемого буфера будет больше отверстия в плите прессового оборудования. В этом случае САПИР информирует исполнителя о несоответствии выбранного оборудования и буфера. В такой ситуации исполнителю следует выбрать другой пресс с большим отверстием в плите или принять другое решение.

Штампы проектируются на конкретные прессы в соответствии с их техническими характеристиками, или на группу близких по мощности и техническим характеристикам прессов. В левой части рис. 44 приведена типовая схема рабочего пространства кривошипного прессы, а в правой — сечение сборки конструкции штампа, который устанавливается в прессовое оборудование. Здесь приведены основные размерные взаимосвязи между рабочим пространством прессы и конструкцией штампа. Сведения из этой

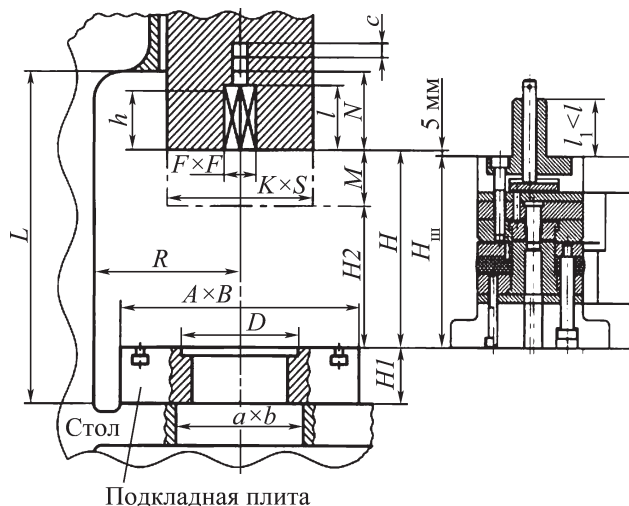


Рис. 44. Рабочее пространство кривошипного пресса и связь его размерных характеристик с конструкцией штампа

схемы необходимы конструктору при проектировании штампа.

Закрытая высота штампа $H_{шт}$ (в нижнем рабочем положении) должна находиться между наибольшей и наименьшей закрытой высотой пресса $H_2 = H - M$. В большинстве случаев принимают: $H - 5 \geq H_{шт} \geq H_2 + 10$ мм.

В случае, если закрытая высота штампа $H_{шт}$ будет меньше H_2 , необходимо применение в конструкции штампа промежуточных подкладных плит с высотой H_1 . Длина хвостовика штампа h должна быть меньше длины зажимной поверхности в ползуне пресса l . Габаритные размеры штампа в плане должны быть меньше размеров стола пресса $A \times B$.

Тип хвостовика выбирается исполнителем в зависимости от конструкции штампа и традиций предприятия. В зависимости от выбранного прессового оборудования САПИР определяет размеры хвостовика и его конструкцию в автоматическом режиме.

Система выталкивания в конструкции штампа совмещенного действия устанавливается в зависимости от конструкции хвостовика, усилий выталкива-

ния и геометрии штампуемой детали. В САПИР предусмотрены все виды стандартных траверс, а также исполнитель может сконструировать нестандартную траверсу с числом штифтов от 2 до 4. В этом случае, имея центр давления, исполнитель сам редактирует расположение штифтов толкателя (рис. 45).

10. В компьютерной базе данных САПИР предусмотрены все стандартные блоки и хвостовики, а также отдельно плиты, колонки и втулки. Возможности исполнителя по управлению

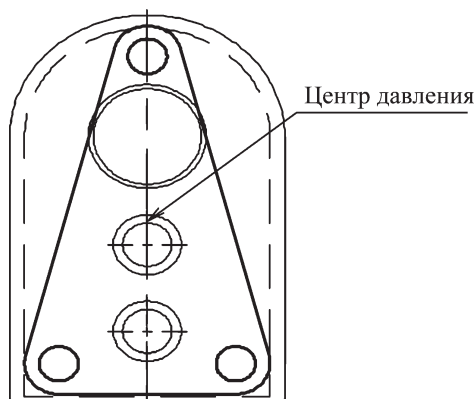


Рис. 45. Нестандартная траверса системы выталкивания



Рис. 46. Возможности пользователя по управлению конфигурированием проектируемых штампов совмещенного действия

конфигурацией штампа совмещенного действия приведены на рис. 46. Допустимые варианты для управления конфигурацией, обеспечиваемые системой проектирования, показаны ниже.

Тип раскроя детали в полосе: прямой; наклонный; встречный; многорядный.

Схема фиксации заготовки: упор шаговый; упор боковой; упор разовый.

Схема съема заготовки: буфер резиновый; буфер пружинный.

Конструкция пуансонов и пуансон-матрицы: под расклепку; с заплечиками: с круглой посадочной частью; с прямоугольной посадочной частью.

Тип крепления пакета: болты; винты: со шлицем; с внутренним шестигранником.

Тип блока: диагональное расположение направляющих; осевое расположение направляющих; заднее расположение направляющих; три направляющих; четыре направляющих.

Конструкция плит и направляющих узлов: плиты литые, строганные; направляющие узлы: ступенчатые; гладкие.

Система выталкивания детали: толкатель; траверса (стандартная/нестандартная): двухопорная; трехопорная; четырехопорная.

Тип хвостовика: с фланцем; с буртиком; с резьбой; с резьбой и буртиком.

11. Практически все элементы (съемники, выталкиватели, пуансонодержатели и т.д.) пакета штампа подлежат в той или иной степени конструкторскому синтезу, подобному ранее описанному для проектирования пробивных пуансонов (см. рис. 43). Полученные расчетным путем размерные параметры элементов конструкции штампа должны быть оформлены в виде соответствующих чертежей. САПИР формирует только контура оригинальных деталей пакета, а остальная часть чертежей на штамп хранится в библиотеке САПИР в виде описания прототипов, которые пополняются и по мере необходимости редактируются исполнителем. Описание геометрии в форме прототипа чертежа относится к базовому варианту. Окончательные чертежи отдельных деталей при необходимости могут быть отредактированы пользователем по своему желанию.

Аналогичным образом проектируются далее параметры деталей блока штампа. В отличие от оригинальной части пакета штампа, где главной задачей был синтез контуров рабочих частей штампа (пуансонов и матрицы), при проектировании деталей блока главная задача связана с выбором параметров габаритов блока, его типа и конфигурации.

В блоке штампа верхняя плита обычно выполняется подвижной. Число и способ размещения колонок в блоке штампа определены прототипом. Параметры и конструкция этих направляющих могут также являться предметом конструкторского синтеза и могут редактироваться в последствии. В задачах выбора параметров крепежа и подвижных соединений определяются координаты размещения элементов, их размеры и точности посадок. Система крепежных деталей пакета в блоке штампа зависит от силовых параметров и его габаритов. Входными данными для решения этих задач являются силы штамповки, габаритные и точностные параметры рабочих деталей: матрицы, пуансона-матрицы и пуансонов. Эти данные формируются САПИР в автоматическом режиме.

12. Спецификация на штамп формируется автоматически с учетом выбранной конструкции и ее наполнения отдельными узлами. Редактирование спецификации позволяет исполнителю менять любые ее параметры. Причем по-

сле обновления отдельных чертежей все изменения отразятся как на форматах чертежа, так и на общем виде.

Если исполнитель изменял какие-либо значения параметров конструкции штампа через словарь САПИР, то все изменения автоматически вносятся САПИР во все детали, сборочные узлы и спецификации. Это значительно уменьшает возможность возникновения конфликтных ситуаций между отдельными чертежами деталей и сборок в ходе проектирования конструкции штампа. Реализация в САПИР рассмотренных выше методов синтеза штампов по прототипу возможна на основе использования интерактивных диалоговых режимов.

Каждому прототипу штампа соответствует определенная структура, отображенная в соответствующей совокупности заготовок чертежей, и сценарий, определяющий последовательность операций диалогового проектирования (последовательность кадров). Схема проектирования (рис. 47) при наличии станков с ЧПУ может дополняться блоками и процедурами синтеза

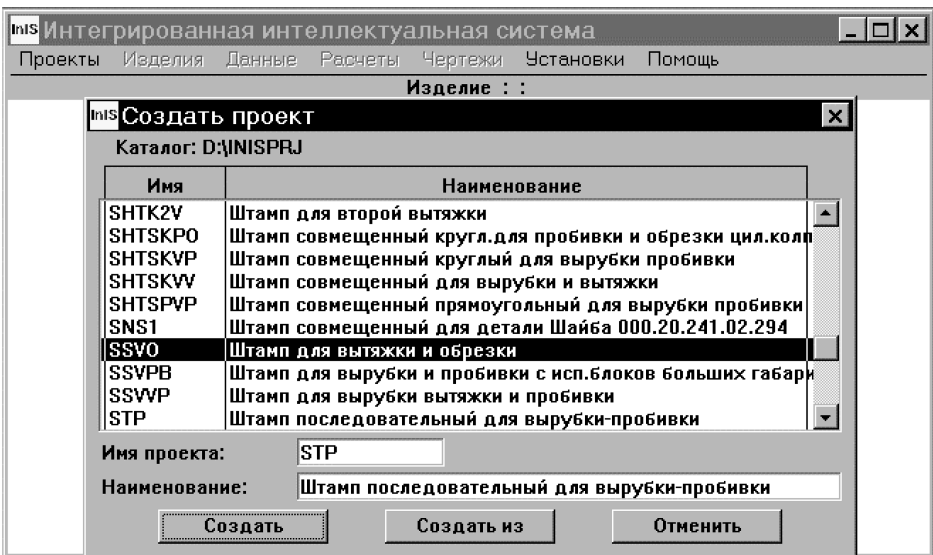


Рис. 47. Создание проекта с именем «STP»

управляющих программ для обработки всех или части деталей.

Интерфейсы экранов принятия основных решений при проектировании штампа. Процесс проектирования последовательного штампа в САПИР представлен для детали, подобной детали, показанной на рис. 38 с *интерфейсами экранов монитора* основных этапов принятия конструкторских решений.

Процесс состоит из выполнения следующих этапов: 1 — создания/открытия проекта; 2 — выбора прототипа объекта проектирования; 3 — ввода исходных данных; 4 — выполнения расчетов; 5 — оформления комплекта КД.

Работа с проектами. Проектирование штампа начинается с создания нового проекта или использования существующего из библиотеки типовых сценариев проектирования. Проект представляет собой информационную структурную единицу, содержащую одну разработку (штамп ЛШ) в виде инженерных расчетов и конструкторской документации в электронном виде и однозначно определяется своим

именем и наименованием (см. рис. 47). Такой подход дает возможность конструктору проектировать штамп за несколько сеансов работы с ЭВМ, многократно обращаясь к разработанному проекту для корректировки результатов расчетов, или пересчета деталей штампа.

Выбор прототипа — здесь конструктор определяет штамп с конкретной структурой рабочих элементов, т.е. на уровне знаний выбираются конкретные графические прототипы чертежей штампа и конкретные вычислительные модели (рис. 48), необходимые для расчета выбранного штампа.

Исходные данные — это: 1 — чертеж штампуемой детали, созданный средствами T-FLEX CAD или импортированный в электронном виде из других систем (T-FLEX CAD поддерживает большинство возможных интерфейсов); 2 — толщина и марка материала, выбирается из предлагаемой системой базы данных материалов; 3 — сведения для заполнения основной надписи чертежа (обозначение штампа, обо-

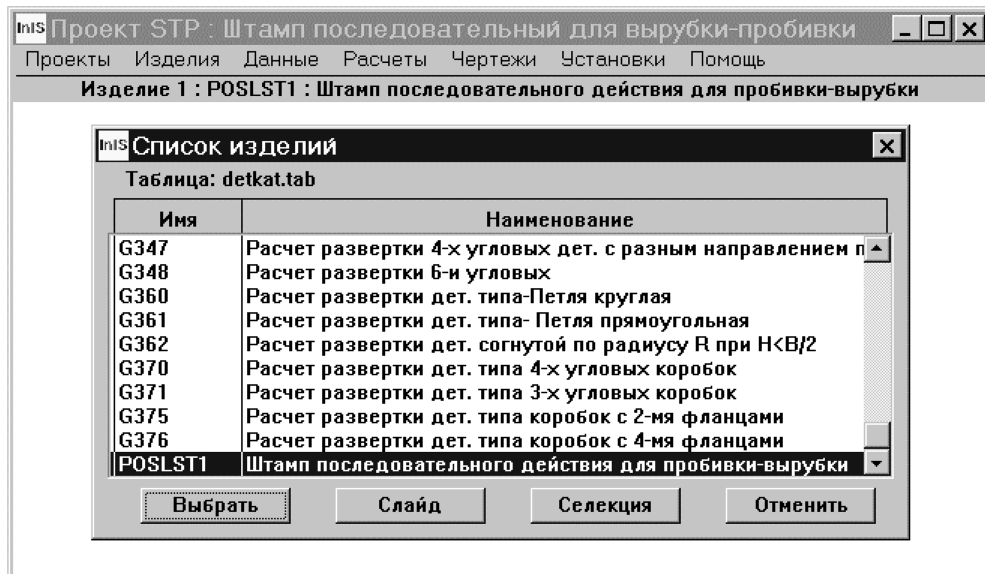


Рис. 48. Выбор прототипа объекта проектирования

значение детали, фамилия конструктора, разработавшего чертеж, нормы и технические контролера и т.д.) в случае их повторения от проекта к проекту могут быть зафиксированы в качестве умолчаний.

Выполнение расчетов. В процессе конструкторского проектирования штампа пользователь может просматривать и редактировать по своему усмотрению предлагаемые САПИР варианты решений, как в символьной, так и в графической форме, и в общем случае включает в себя:

- формирование операционного эскиза штампуемой детали;
- генерацию схемы раскроя и рабочей зоны штампа;
- расчет исполнительных размеров рабочих деталей штампа;
- генерацию рабочих и посадочных контуров деталей штампа, провальных окон и т.д.;
- расчет центра давления, сил штамповки и зазоров;
- выбор прессового оборудования;
- конструирование рабочих деталей пакета штампа;
- выбор и расчет блока штампа (плиты, колонки и втулки);
- конструирование деталей и узлов общего назначения (хвостовик, упоры, фиксаторы и т.д.);
- подбор стандартного крепежа и его расстановка на стандартных и нестандартных (крупногабаритных) пакетах.

Деятельность конструктора по проектированию штампов в САПИР/ЛШ строится исходя из принципа «СМОТРИ и ВЫБИРАЙ». При этом от конструктора требуется: понимание сути процессов проектирования штампов, умение управлять системой в диалоге и навык работы с T-FLEX CAD. Для конструктора процесс проектирования штампов ЛШ в САПИР сводится к заполнению или редактированию содержимого полей экранных форм, выбору элементов из таблицы и работе с параметрическими чертежами. Вся остальная работа выполняется ЭВМ в автоматическом режиме.

Экранная форма представляет собой окно, состоящее из полей различного назначения. При этом возможны следующие типы полей: обязательные для ввода информации поля, поля для выбора из ассоциативного списка, необязательные поля, поля не подлежащие редактированию. Обязательные для ввода информации поля служат для заполнения данными.

Поля для выбора хвостовика из ассоциативного списка подразумевают наличие перечня допустимых значений, из которого необходимо выбрать одно (рис. 49).

Оформление комплекта КД. Результатом работы конструктора с САПИР является полный комплект конструкторской документации, включающий: эскиз штампуемой детали, карту рас-

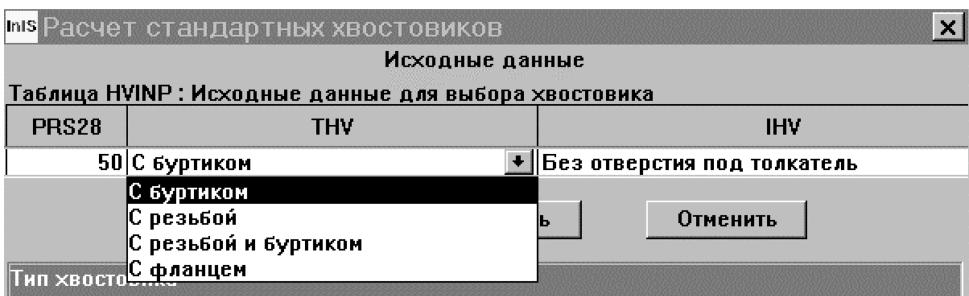


Рис. 49. Выбор допустимого значения для типа хвостовика из ассоциативного списка

кроя, сборочные чертежи и спецификации к ним, деталировочные чертежи. Следует отметить, что контуры рабочих деталей штампа с исполнительными и посадочными размерами (матрица, пуансоны, съемник, пуансонодержатель и т.д.) генерируются автоматически и в виде фрагментов проявляются на требуемых чертежах в рассчитанных точках привязки. Само оформление чертежей, если оно требуется, сводится для конструктора к редактированию расположения в поле чертежа видов, размерных линий, знаков шероховатости и надписей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Аппаратное** обеспечение систем автоматизации технического документооборота // Электронный офис. 1997, май-июнь. С. 4–7.
2. **Бабаев Ф.В.** Оптимальный раскрой материалов с помощью ЭВМ. М.: Машиностроение, 1982. 168 с.
3. **Евдокимов С.А., Краснов А.А., Пичугин В.И.** Автоматизация проектирования конструкций штампов для листовой штамповки // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2005. № 5. С. 34–42.
4. **Евдокимов С.А., Рыбаков А.В., Соломенцев Ю.М.** Интегрированная интеллектуальная система ИНИС — оболочка для разработки и эксплуатации программных приложений пользователя. Информационные технологии. 1996, № 3, С. 10–13.
5. **Информационно-вычислительные** системы в машиностроении CALS-технологии // Соломенцев Ю.М., Митрофанов В.Г., Павлов В.В., Рыбаков А.В. М.: Наука, 2003. 292 с.
6. **Краснов А.А., Пичугин В.И., Чередниченко Ю.В.** Проектирование штампов листовой штамповки при работе в САПР // Автоматизация проектирования. 1998, № 3. С. 13–17.
7. **Кураксин С.А., Биколов С.А., Баранов Л.В. и др.** T-FLEX CAD — новая технология построения САПР // Автоматизация проектирования. 1996, № 1. С. 50–54.
8. **Пичугин В.И., Краснов А.А., Чередниченко Ю.В. и др.** Автоматизация проектирования штампов холодной листовой штамповки // Кузнечно-штамповочное производство. 1998, № 1. С. 25–29.
9. **Пичугин В.И., Краснов А.А.** Автоматизация деятельности конструктора при проектировании штампов листовой штамповки // САПР и графика. 1999, № 7. С. 54–57.
10. **Попов Е.А., Ковалев В.Г., Шубин И.Н.** Технология и автоматизация листовой штамповки. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. 480 с.
11. **Рыбаков А.В., Евдокимов С.А., Краснов А.А.** Создание систем автоматизации поддержки инженерных решений. Автоматизация проектирования. 1997, № 5. С. 44–51.
12. **Рыбаков А.В.** Интеллектуальная компьютерная среда // Автоматизация проектирования. 1997, № 3. С. 40–45.
13. **Рыбаков А.В., Евдокимов С.А., Мелешина Г.А.** Создание автоматизированных систем в машиностроении: учеб. пос. М.: Издательство «Станкин», 2001, 157 с.

Глава 11

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛЬНЫХ ПОКОВОК

В кузнечно-штамповочном производстве стальных заготовок применяют предварительную и окончательную термическую обработку. Целью предварительной термической обработки является повышение качества стальной продукции, подготовка металла к последующей обработке резанием или давлением, снятие наклепа, понижение уровня остаточных напряжений, предупреждение образования дефектов. Целью окончательной термической обработки является получение оптимальной структуры в изделиях для обеспечения надежной эксплуатации этих изделий.

Детали машин в основном изготавливают из конструкционных углеродистых и легированных сталей перлитного класса и сталей мартенситного класса с более высоким содержанием легирующих элементов. На долю этих конструкционных сталей приходится основная масса всех термически обрабатываемых деталей машин.

Дляковки и штамповки сталь поступает в виде слитков, непрерывно литых заготовок, поковок произвольной формы и проката: сортового проката, тонкого и толстого листа. Относительно небольшую долю имеет стальная проволока.

Исходный металл наследует особенности способа своего производства. В структуре слитков это выражается в ликвации, различии формы и размеров зерен в разных частях слитка, загрязненности неметаллическими включениями и газами — азотом и водородом. В структуре непрерывно литых заготовок вдоль осевой линии рас-

полагается зона, обогащенная различными примесями и включениями.

Сортовой прокат содержит цепочки вытянутых неметаллических частиц, нередко имеет строчечную структуру и поэтому анизотропен.

Современная технология выплавки и разливки стали обеспечивает повышенное качество металла следующими мерами: вакуумной дегазацией жидкой стали; обработкой жидкой стали в ковше различными присадками; переплавом слитков.

Слитки, полученные разливкой в изложницы, имеют неоднородную макроструктуру и более сильно выраженную ликвацию. Слитки, полученные электрошлаковым или вакуумно-дуговым, а также плазменным переплавом, имеют однородную макроструктуру и более однородный химический состав. Однако максимальная масса переплавленных слитков ограничена техническими возможностями переплава и не превышает 20...50 т.

Термическая обработка кованых и штампованных заготовок из конструкционных сталей имеет специфические особенности и разнообразие технологических операций. Это объясняется наличием большого числа марок материалов заготовок и деталей и различными требованиями к комплексу свойств материала, исходя из условий эксплуатации.

Доля высоколегированных сталей со специальными свойствами в производстве машин относительно мала по сравнению с низко- и среднелегированными конструкционными сталями. Особенности термической обработки аустенитных и ферритных сталей отмечены в гл. 1. Инструменталь-

ные стали практически не используют как материал деталей машин. Особенности термической обработки инструментальных сталей приведены в гл. 1.

Для кованных и штампованных заготовок и деталей используют отжиг, нормализацию, закалку с отпуском, а также нормализацию с отпуском. Специфическими особенностями ряда операций отжига являются продолжительные выдержки при температурах 1000...1200 °С. Сопутствующими процессами являются: окисление заготовок, обезуглероживание и рост зерна аустенита.

Толщину угара металла компенсируют увеличением размеров заготовок, окалину с поверхности удаляют дробеструйной или пескоструйной обработкой, используя приспособления для поворотов и перемещения очищаемой заготовки.

Обезуглероживание неизбежно при отжиге заготовок в воздушной среде без применения защитных атмосфер. Общая глубина обезуглероженного слоя (толщина слоя полного обезуглероживания + толщина слоя частичного обезуглероживания) нормируется для ряда марок сталей с повышенным содержанием углерода (до 1...1,5 % толщины или диаметра заготовки на сторону). Применение защитных атмосфер удорожает термическую обработку, но становится экономически оправданной в условиях серийного производства. Отжиг в проходных печах с активной зоной нагрева и защитной атмосферой обеспечивает защиту от окисления и обезуглероживания и постоянство свойств металла после отжига.

Перегрев сталей и образование крупнозернистого аустенита понижают механические свойства. Перегрев поковок исправляют нормализацией, которую при необходимости повторяют несколько раз (рис. 1). Перегрев при отжиге слитков устраняют последующей горячей обработкой давлением. Для со-

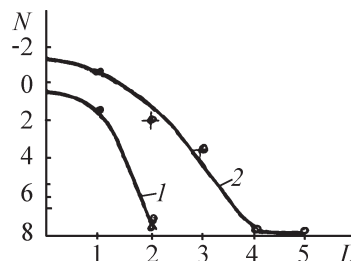


Рис. 1. Зависимость величины зерна (N — номер зерна) от числа циклов L термической обработки: 1 — перлитное превращение; 2 — бейнитное превращение

хранения мелкозернистого аустенита рекомендуют оканчивать деформирование при температурах $A_{c3} + (30...50) ^\circ\text{C}$.

Наиболее продолжительными операциями отжига являются: отжиг-гомогенизация слитков и поковок для уменьшения ликвации; отжиг поковок и заготовок на структуру зернистого перлита; отжиг для удаления водорода из поковок и предупреждения образования флокенов.

Отжиг-гомогенизацию проводят с выдержками при максимально возможных температурах около 1200 °С для ускорения диффузионного выравнивания химического состава и сокращения общей продолжительности отжига. Чем крупнее слиток, тем сильнее развита ликвация и тем больше времени займет отжиг (рис. 2). Продолжительность отжига-гомогенизации достигает 20...30 ч и более.

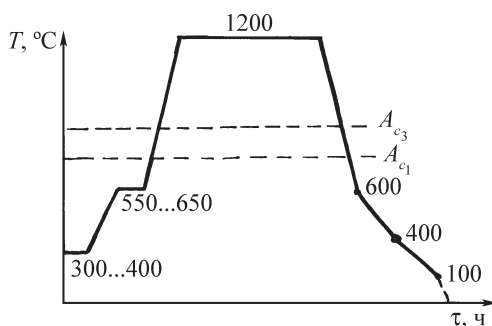


Рис. 2. Схема отжига-гомогенизации для выравнивания химического состава

Зональная ликвация в слитках способствует развитию фазовых превращений. Изменения объема при фазовых превращениях создают напряжения в металле. Другой причиной возникновения напряжений является неоднородное температурное поле при нагреве и особенно при охлаждении поковок. В последнем случае поверхностные, более холодные слои испытывают напряжения растяжения. Неблагоприятное взаимодействие структурных и термических напряжений вызывает трещины в металле. Общим правилом предупреждения трещин в поковках является регулирование скорости нагрева и охлаждения. Рекомендуется поддерживать скорость охлаждения в пределах 40...80 °С/ч, а крупные поковки после окончания деформирования помещать в печь с температурой 400...600 °С для замедленного выравнивания температуры. Уменьшение ликвации при отжиге способствует созданию более однородного поля напряжений в охлаждаемой стальной продукции и получению более однородной структуры.

Отжиг для получения структуры зернистого перлита проводят для поковок и заготовок, полученных горячим деформированием высокоуглеродистых сталей — подшипниковых и инструментальных (рис. 3). Структура зернистого перлита является для этих сталей оптимальной при обработке резанием и исходной при окончательной термической обработке изделий. Эта операция термической обработки ликвидирует карбидную сетку, если она образовалась при охлаждении заготовок после горячего деформирования. В этом способе отжига основное время обработки занимает продолжительная выдержка около A_{c_1} (см. рис. 3).

Особую сложность представляет обработка крупных поковок. При нагреве поковок для уменьшения термических напряжений поковки помещают в печь

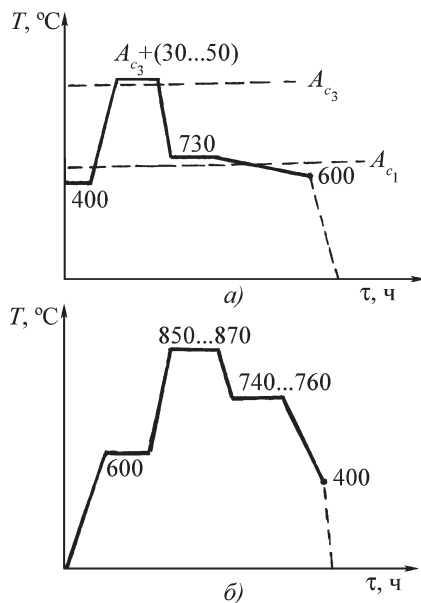


Рис. 3. Схема отжига для получения зернистого перлита:

- a* — в низко- и среднелегированных сталях;
б — в высоколегированной стали 95X18;
 — — — охлаждение на воздухе

с температурой не выше 400 °С, после выравнивания температуры нагревают медленно до 600 °С и затем до требуемой температуры со скоростью, которую может обеспечить печь.

Охлаждение поковок с печью проводят под контролем, чтобы не допустить больших термических напряжений, в среднем со скоростями 40...50 °С/ч, а от 400 °С еще медленнее, со скоростями 15...20 °С/ч и лишь со 100 °С поковки выгружают на воздух. Такой режим гарантирует получение феррито-перлитной структуры, низкой твердости и удовлетворительной обрабатываемости резанием. Этот режим охлаждения является наиболее продолжительным и поэтому неэкономичен. Охлаждение с печью и выгрузка садки на воздух до завершения превращения аустенита в смесь феррита и перлита сокращают время охлаждения. Однако такой режим способ-

1. Продолжительность охлаждения сердцевины цилиндрических поковок в различных средах

Температура аустенитизации, °C	Диаметр поковки, мм	Продолжительность охлаждения, мин, от температуры аустенитизации до температуры, °C					
		700	600	500	400	300	200
Охлаждение в воде							
870	200	4	6	8	10	12	16
850	250	5	7	9	11	14	18
850	400	14	20	27	34	44	55
880	580	30	38	45	52	60	—
Охлаждение в масле							
870	200	6	8	12	16	20	26
850	250	8	10	14	17	33	—
860	400	20	30	40	65	75	—
850	500	40	55	63	80	120	160
850	600	40	60	90	130	160	—
860	700	45	80	100	180	220	—
920	945	80	110	140	220	260	—
820	1050	90	130	170	240	290	—
850	1200	100	150	200	250	310	360
Охлаждение на воздухе							
860	250	20	40	65	100	160	—
870	300	30	60	90	150	200	300
880	520	60	90	210	260	420	—
870	600	120	210	270	360	480	720
850	800	160	240	300	360	540	—
920	920	140	250	360	480	—	—
870	1030	170	240	360	600	960	—

ствуется получению в структуре легированной стали значительной доли бейнита. Сталь приобретает повышенную твердость, и ее обрабатываемость резанием ухудшается. После дополнительного отпуска (550...700 °С) такой поковки улучшается обрабатываемость резанием. Режимы термической обработки крупных поковок разрабатывают индивидуально с учетом химического состава стали и массы поковки. При назначении нормализации или

закалки время охлаждения поковок с температуры аустенитизации определяют по экспериментальным данным, приведенным в табл. 1.

Особым видом отжига является отжиг крупных поковок для предупреждения образования флокенов. Причиной появления флокенов является загрязнение стали водородом в количествах свыше 2...4 см³ на 100 г стали. Растворимость водорода в аустените значительно превышает его раствори-

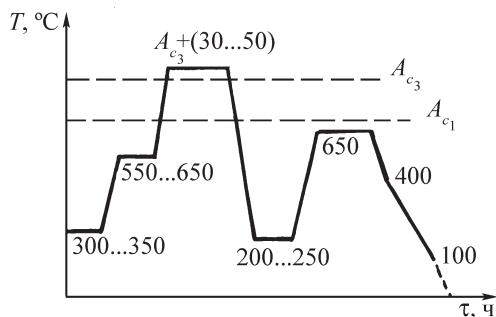


Рис. 4. Схема противфлокеной термической обработки поковок:

— — — охлаждение на воздухе

мость в феррите. При фазовом превращении аустенита в перлит возникает избыток водорода, который не может раствориться в феррите. Большая диффузионная подвижность водорода способствует его удалению в атмосферу через поверхность поковки. Однако при толщинах металла свыше 40 мм и охлаждении на воздухе весь избыточный водород не успевает уйти из поковки и выделяется в форме молекулярного водорода H_2 . Накопление H_2 в определенных участках металла и повышение давления газа способствует образованию флокенов. Преимущественными участками накопления водорода являются ликвационные зоны, обогащенные углеродом, легирующими элементами, серой и фосфором; частицы неметаллических включений, поры. Флокены образуются в центральной части поковок при недостатке времени для выделения водорода из поковок, т.е. при закалке, нормализации и обычном отжиге, когда металл охлаждается со скоростями около $100\text{ }^{\circ}\text{C/ч}$. Специфика отжига для предупреждения флокенов заключается в продолжительных выдержках металла ниже точки A_{c_1} (рис. 4).

Углеродистые стали не поражаются флокенами, лишь при содержании углерода, начиная от $0,4...0,5\%$, возникает опасность появления флокенов.

Максимальная вероятность появления флокенов отмечена у улучшаемых хромоникелевых сталей и среднелегированных сталей с высоким содержанием никеля $2...4\%$. Из таких сталей с хорошим комплексом свойств изготовляют крупные поковки для деталей ответственного назначения. Для подобных поковок необходим противфлокеновый отжиг.

Противфлокеновый отжиг включает следующие операции:

а) загрузку горячих поковок сразу после деформирования в печь с температурой $550...600\text{ }^{\circ}\text{C}$;

б) нагрев поковки до температуры $A_{c_3} + (30...50)\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выдержку в течение $2...10\text{ ч}$ для сечений соответственно $200...1300\text{ мм}$ (выдержка нужна для выравнивания температуры по сечению);

в) охлаждение поковки в печи до $200...250\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выдержка от 4 до 26 ч при сечениях соответственно $200...1300\text{ мм}$ (выдержка достаточна для превращения аустенита в бейнит и выделения водорода);

г) нагрев поковки в печи до температуры $660...680\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ниже точки A_{c_1}) и выдержка от 15 до 80 ч для сечений $200...1300\text{ мм}$ соответственно;

д) после выдержки медленное охлаждение поковки в печи (скорость около $30\text{ }^{\circ}\text{C/ч}$) до $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, затем со скоростью около $100\text{ }^{\circ}\text{C/ч}$ до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выгрузка на воздух.

В случаях когда поковки изготовлены из сталей, особенно склонных к образованию флокенов, число ступеней отжига с выдержками при $200...250\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $640...660\text{ }^{\circ}\text{C}$ увеличивают до двух и даже трех. В этих случаях общая продолжительность обработки перекрывает 1000 ч и соответственно повышается стоимость обработки.

Наиболее экономичным путем повышения качества металла поковок является понижение исходного содержания водорода до безопасного уровня.

ня. Современная технология выплавки стали успешно решила эту задачу, во-первых, за счет улучшения технологии вакуумирования стали, во-вторых, за счет повышения качества шихты для выплавки стали.

Поковки из сталей, нечувствительных к образованию флокенов, охлаждаются в зависимости от химического состава стали и массы поковки. Крупные поковки охлаждают с печью, получая металл со структурой феррит + перлит или бейнит + феррит, в зависимости от химического состава стали. Для понижения вязкости и улучшения обрабатываемости резанием поковки со структурой бейнита подвергают отпуску при 500...700 °С. Такой отпуск не вызывает обезуглероживания и окисления стали.

Небольшие поковки после деформирования охлаждают на воздухе. Так же поступают с тонкостенными поковками из флокеночувствительных сталей, когда размеры сечений не превышают 40 мм.

При нагреве поковок для деформирования или термической обработки (для закалки, например, штампового блока, для измельчения зерна и последующей нормализации, для отжига) необходимо обеспечить медленный нагрев (не более 50 °С/ч) до 650 °С, чтобы предупредить растрескивание металла, а далее вести нагрев по мощности печи. Крупные поковки помещают в печь, нагретую не выше 400 °С, поковки сечением до 600 мм подвергают низкому отпуску при 500...700 °С, помещая их в печь, нагретую до этой же температуры.

Определяющим фактором при разработке режима охлаждения является химический состав стали.

Многие легированные цементуемые и улучшаемые стали после нормализации и даже после отжига с охлаждением в печи получают бейнитную структуру. Бейнит во всем объеме за-

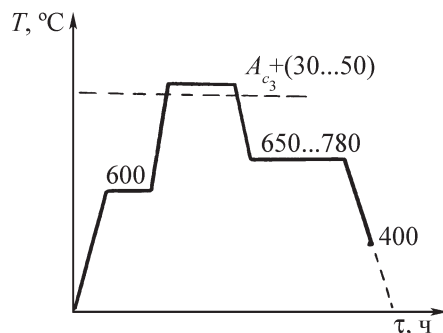


Рис. 5. Схема изотермического отжига поковок из легированных цементуемых сталей

готовки или в ее поверхностных слоях затрудняют обработку резанием.

Для улучшения обрабатываемости резанием выбирают или изотермический отжиг заготовок при 620...670 °С, или отпуск при 600...700 °С. При изотермическом отжиге (рис. 5) получают феррито-перлитную структуру. Для относительно небольших поковок изотермический отжиг удобно проводить в проходных печах с двумя зонами нагрева — для аустенитизации и для выдержки при 620...670 °С. После нормализации отпуск при 550...700 °С достаточен для преобразования бейнита в феррито-карбидную смесь с понижением твердости и улучшением обрабатываемости резанием.

Основную массу поковок, подлежащих термической обработке после горячего или холодного деформирования, подвергают нормализации и последующему отпуску при 550...700 °С. Эта обработка является универсальной, и ее применяют для большинства марок сталей (рис. 6).

В сталях перлитного класса эта обработка понижает твердость, существенно снижает остаточные напряжения и облегчает обработку резанием.

В поковках с повышенной твердостью из-за образования структуры мартенсита или бейнита сочетание нормализации и отпуска при 500...

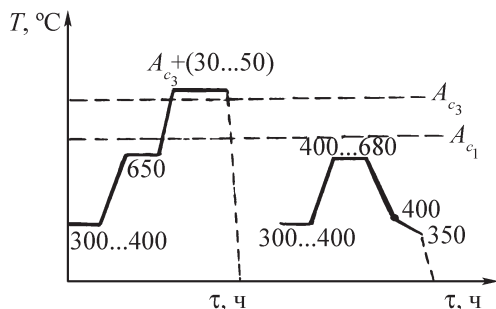


Рис. 6. Схема окончательной термической обработки поковки (нормализация + высокий отпуск)
— — — охлаждение на воздухе

700°C обеспечивает получение феррито-карбидной структуры с пониженной твердостью и улучшенной обрабатываемостью резанием. При отпуске для выравнивания температуры по сечению поковки требуется ориентировочно 2...3 ч на каждые

100 мм сечения поковки. Рекомендуемые температуры нагрева для нормализации сталей указаны в табл. 2—4. В табл. 5 указаны режимы отжига штамповых сталей и отпуска и твердость этих сталей после термической обработки.

В зависимости от требований к деталям и условий эксплуатации нормализацию с отпуском при $500...700^\circ\text{C}$ в ряде случаев используют как окончательную термическую обработку.

Термическое улучшение — закалку и отпуск при $550...650^\circ\text{C}$ — применяют как окончательную термическую обработку поковки при условии, что состояние стали после улучшения не будет помехой при обработке резанием, а прокаливаемость стали достаточна для повышения свойств во всем объеме поковки. В противном случае улучшению

2. Температура нагрева, $^\circ\text{C}$, поковки для нормализации

Марка стали	Температура, $^\circ\text{C}$	Марка стали	Температура, $^\circ\text{C}$
Нелегированные (углеродистые) стали			
10	900...920	40	880
15	910	45	850
20	910	50	830...850
25	880...910	55	830...860
30	880	58пп	850
35	880	60	780...830
Высокоуглеродистые и пружинные стали			
У7	800...820	70СЗ	850
У8	780...800	50ХГ	850
У9	760...780	55ХГР	850
У10	770...800	50ХФА	850
У12	830	50ХГФА	850
60Г	830	55С2ГФ	870
65Г	830	60С2ХФА	870
70Г	870	60С2Х	870
55С2	870	65С2В	870
60С2	870	60С2Н2А	870

3. Температура нагрева, °С, поковок и штампов инструментальных сталей для заковки или нормализации

Марка стали	Температура, °С	Марка стали	Температура, °С
13Х р	810...830	ХГС р	820...860
8ХФ р	800...820	4ХС у	860...1000
9ХФ р	850...880	ХВСГФ р	830...850
11ХФ р	840...860	ХВГ р	830...850
Х р	820...850	6ХВ2С у	860...900
9ХІ р	820...850	5ХВ2СФ шг	860...900
12ХІ р	850...870	6Х3МФС у	980...1020
6ХС у	840...860	7ХГ2ВМФ шх	840...880
9Г2Ф	780...800	9Х5ВФ р	950...100
9ХВГ	820...840	8Х6НФТ р	930...100
9ХС	840...860	6Х4М2ФС	1050...1070
В2Ф	780...840	Х6ВФ ш	980...1000

Примечание. р — сталь для режущих инструментов; ш — сталь для штампов; шх — сталь для штампов холодного деформирования; шг — сталь для штампов горячего деформирования.

4. Температура нагрева, °С, для заковки или нормализации поковок из штамповых и подшипниковых сталей

Марка стали	Температура, °С	Марка стали	Температура, °С
5ХНМ шг	850...870	5Х3В3МФС шг	1130...1150
5ХНВ шг	840...860	05Х12Н6Д2МФСГТ	990...1020*
5ХНВС шг	860...880	6Х4М2ФС	1050...1070
4ХМФС шг	940...960	Х6ВФ шх	980...1000
5Х2МНФ шг	970...990	8Х4В2МФС2 р	1060...1090
3Х2МНФ шг	920...940	11Х4В2МФС3С2 р	1000...1030
7Х3 шг	850...880	6Х6В3МФС шх	1055...1075
8Х3 шг	850...880	Х12 шх	950...1000
4Х5МФС шг	1000...1020	Х12МФ шх	1000...1020
4Х5МФ1С шг	1020...1040	Х12Ф1 шх	1020...1050
4Х5В2ФС шг	1030...1050	Х12ВМФ шх	970...1000
4Х4ВМФС шг	1050...1070	Подшипниковые стали	
3Х3М3Ф шг	1030...1050	ШХ15	820...860
4Х3ВМФ шг	1120...1140	ШХ15СГ	810...840
4Х2В6МФ шг	1080...1100	95Х18	1000...1050

* Твердость после заковки или нормализации 28 HRC, сталь упрочняется старением при 480...500 °С, 4 ч.

Примечание. шг — сталь для штампов горячего деформирования; шх — сталь для штампов холодного деформирования; р — сталь для режущих инструментов.

5. Температурные режимы термической обработки и твердость поковок из штамповых сталей

Сталь	Изотермический отжиг			Отжиг с непрерывным охлаждением		Высокий отпуск	
	Нагрев	Изотермическая выдержка	Твердость НВ, не более	Температура нагрева, °С	Твердость НВ, не более	Температура нагрева, °С	Твердость НВ, не более
5ХНМ	760...790	650...660	197...229	760...790	197...241	680...700	207...241
5ХНВ	760...790	650...660	207...229	760...790	207...241	700...720	207...241
5ХНВС	780...820	650...660	207...255	780...820	207...255	680...720	255
8ХЗ	—	—	—	800...820	207...229	680...710	229...255
4ХМФС	810...830	670...700	197...241	810...820	197...255	700...755	241
4ХЗВМФ	850...860	650...660	197...229	850...860	197...229	740...760	269
4Х4ВМФС	880...900	660...680	229...241	880...900	241	750...780	269
3ХЗМЗФ	860...880	660...680	197...229	860...880	229...241	760...780	255
4Х5МФС	840...860	670...690	197...241	840...860	229...241	760...780	241...255
3Х2МНФ	780...810	650...660	197...229	780...810	197...241	690...700	229...241
5ХЗВЗМФС	840...880	690...700	229...255	840...880	229...255	750...780	269
X12ВМ	830...850	700...720	241...255	830...850	255	750...780	255
X12	840...860	700...740	207...255	840...860	241...255	—	—
X12М	850...870	700...720	207...255	850...870	241...255	750...780	255
X12Ф1	850...870	680...700	207...255	850...870	241...255	750...780	255
X6ВФ	830...850	700...720	207...241	830...850	207...241	760...790	241
9Х5ВФ	820...840	700...720	229...241	820...840	229...241	750...770	241
6Х6ВЗМФС	860...880	760...780	241...255	860...880	255	760...780	269

подвергают деталям после обработки резанием. Температуры нагрева сталей для закалки, как правило, совпадают с температурами нагрева при нормализации.

Отжиг-рекристаллизацию применяют для штамповок и другой продукции, полученной холодным деформированием. Этот отжиг понижает твердость, снижает полностью остаточные

напряжения и улучшает штампуемость металла. Как правило, отжиг-рекристаллизацию применяют для продукции из низкоуглеродистых сталей, которые не упрочняются термической обработкой. Этот отжиг проводят при температурах ниже точки A_{c1} при 600...700 °С с выдержкой 1 ч. Отжиг-рекристаллизация более экономичен, чем полный отжиг или нормализация.

Глава 12

КОВКА НА МОЛОТАХ И ПРЕССАХ

1. ИНСТРУМЕНТ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ КОВКИ НА МОЛОТАХ И ПРЕССАХ

Инструмент для ковки подразделяют на три группы:

1) основной технологический инструмент: бойки, плиты для осадки, оправки, прошивни, кольца, раскатки, уголки, пережимки, обжимки, топоры;

2) поддерживающий инструмент: клещи, стойки, патроны;

3) мерительный инструмент: кронциркули, угольники, нутромеры, линейки, калибры, шаблоны.

Инструмент подразделяют на универсальный и специализированный.

Технологический инструмент для ковки на молотах (табл. 1–53)

Бойки для молотов. Высоту бойков для молотов определяют конструктивно с учетом высоты подшаботника и нижнего положения бабы молота.

Размеры зеркала бойка (см. табл. 1) регламентированы ГОСТ 9752–75*.

Поддерживающий инструмент для ковки на прессах приведен в табл. 54–57.

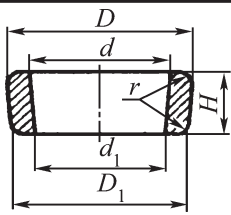
1. Размеры зеркала бойков паровоздушных молотов

Номинальная масса падающих частей, кг	Размеры зеркала бойка, мм	Номинальная масса падающих частей, кг	Размеры зеркала бойка, мм
1000	400×240	5000	710×400
2000	530×300	8000	800×480
3150	600×340		

2. Размеры зеркала бойков пневматических молотов

Номинальная масса падающих частей, кг	Размеры зеркала бойка, мм	Номинальная масса падающих частей, кг	Размеры зеркала бойка, мм
75	145×65	400	265×100
150	200×85	750	345×130
250	225×30	1000	390×150

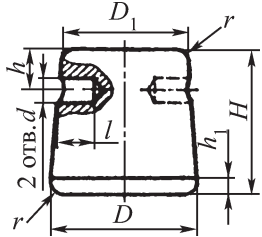
3. Кольца оправочные кузнечные

 <p>Размеры, мм</p>	D	H	D_1	d	d_1	r
	90	50	70	50	30	2,0
	95		75	55	35	
	100		80	60	40	
	105		85	65	45	
	110		90	70	50	

Окончание табл. 3

<i>D</i>	<i>H</i>	<i>D</i> ₁	<i>d</i>	<i>d</i> ₁	<i>r</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>D</i> ₁	<i>d</i>	<i>d</i> ₁	<i>r</i>
115	60	95	65	45	2,5	260	80	240	180	160	4,0
120		100	70	50		280		260	200	180	
125		105	75	55		300		280	220	200	
130		110	80	60		320	100	300	240	220	5,0
140		120	90	70		340		320	260	240	
150	80	130	100	80	3,0	360		340	280	260	
160		140				380		360	300	280	
170		150	110	90		400		380	320	300	
180		160	100	80		420		400	340	320	
190		170	110	90		450		430	370	350	
200		180	120	100	4,0	480		460	400	380	
210		190	130	110		500		480	420	400	
220		200	140	120		530		510	450	430	
240		220	160	140		560		540	480	460	
250		230	170	150		600		580	520	500	

4. Прошивни кузнечные для молотовых и прессовых работ

								<i>D</i>	<i>H</i>	<i>D</i> ₁	<i>d</i>	<i>h</i>	<i>h</i> ₁	<i>l</i>	<i>r</i>
Размеры, мм								60	80	52	—	—	10	—	3
									100	50					
								65	80	57			12		
									100	55					
								70	80	62					
									100	60					
								75	80	67			12		
									100	65					
<i>D</i>	<i>H</i>	<i>D</i> ₁	<i>d</i>	<i>h</i>	<i>h</i> ₁	<i>l</i>	<i>r</i>	80	100	70	—	—	16	—	4
32	50	27	—	—	10	—	3		125	68					
36	60	30						80	100	70					
40		34							125	68					
45		39						85	100	75					
50	60	44							125	73					
	80	42						90	100	80					
55	60	49							125	78					
	80	47						95	100	85					5

Продолжение табл. 4

D	H	D_1	d	h	h_1	l	r	D	H	D_1	d	h	h_1	l	r
95	125	83	—	—	16	—	5	200	160	184	20	50	20	40	
100	125	88			200				200	180		60			
	160	84							250	175					
105	125	93			210			200	190	22	60	25	100		
	160	89						250	186		80				
110	125	98						320	178		100				
	160	94			220			200	200	60					
115	125	108						250	195	80					
	160	99						320	188	100					
120	125	108			240		200	220	60	25	100				
	160	104					250	215	80						
125	125	110					320	208	100						
	160	109			250		200	230	60	25	50				
130	125	118					250	225	80						
	160	114	320	218		100									
140	125	128	12	50	32	—	260	200	240	60	25	50	10		
	160	124	14	50				250	235	80					
	200	120		60				320	228	100					
150	125	138	16	40	32	8	280	200	260	60	28	60	12		
	160	134		50				250	255	80					
	200	130		60				320	248	100					
160	160	144	18	50	40	8	300	200	280	60	32	80	16		
	200	140		60				250	275	80					
	250	135		80				320	268	100					
170	160	154	20	50	40	10	340	200	300	60	32	80	16		
	200	150		60				250	295	80					
	250	145		80				320	288	100					
180	160	164	20	50	20	40	340	200	300	60	32	80	16		
	200	160		60				250	295	80					
	250	155		80				320	288	100					
190	160	174	20	50	20	40	340	200	300	60	32	80	16		
	200	170		60				250	315	80					
	250	165		80				320	308	100					

6. Раскатки полукруглые (по ГОСТ 11421–75*)

Для раскаток $r > 32$ мм

Размеры, мм

r	B	H	L	L_1	l	h	$\alpha, ^\circ$
10	20	16	200	1210	50	8	—
16	32	20	250			10	
20	40	25	320	1260	60	12	10
32	50	32		1380		20	
40	60	40	400	1340	80	25	
50	80	50	500	1540		32	
60	100	60	630	1670		40	
80	120	80	710	1730		50	

Примечание. Здесь и далее в таблицах этого раздела 1 — инструменты; 2 — ручка, знак п. 5 или п. 14 — места маркировки.

7. Раскатки клиновые (по ГОСТ 11422–75*)

Полукруглые

Размеры, мм

Плоские

Размеры, мм

B	b	L	L_1	H	h	h_1	r
280	100	500	1820	100	75	50	—
320	80	450	1770	80	60	40	15
400	100	630	2050	100	75	50	20

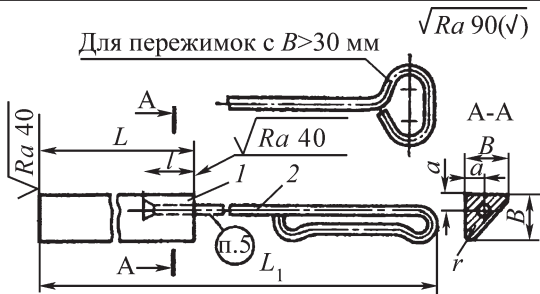
8. Пережимки круглые (по ГОСТ 11423–75*)

Для пережимок $D > 32$ мм

Размеры, мм

D	L	L_1	l	D	L	L_1	l
10	800	—	—	50	100	970	30
16				50	200	1050	50
20	100	870	30	60	160	1030	30
	200	950	50		250	1100	50
32	100	870	30	75	200	1050	
	200	950	50		310	1230	80
40	100	1190	30	100	400	1320	
	200	1270	50				

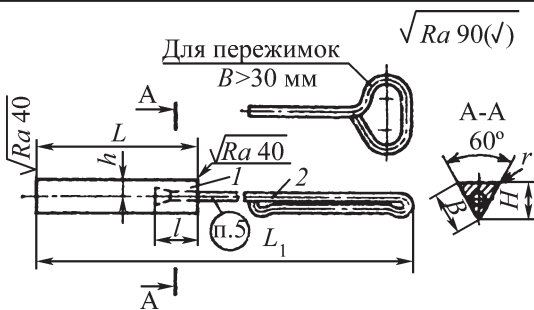
9. Пережимки треугольные (по ГОСТ 11424–75*)



Размеры, мм

B	L	L_1	l	a	r
20	125	900	25	7	2
	175	1000			
30	150	1025	25	10	3
	200	1175			
40	150	1020	30	13	4
	200	1170		16	
50	250	1280	30	20	4
		1220			
70	300	1330	35	23	5
		1385			
85	350	1435	35	25	5
	400	1425			

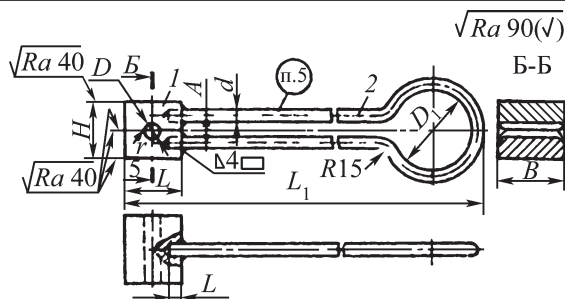
10. Пережимки треугольные равносторонние (по ГОСТ 11425–75*)



Размеры, мм

H	h	B	L	L_1	l	r
20	7,5	23	100	930	20	2
30	10,0	35	200	1180		3
40	13,0	46	250	1230	20	4
50	17,0	58				
60	20,0	70	300	1270	30	6
75	25,0	86		1390		
100	33,0	116	400	1420	40	

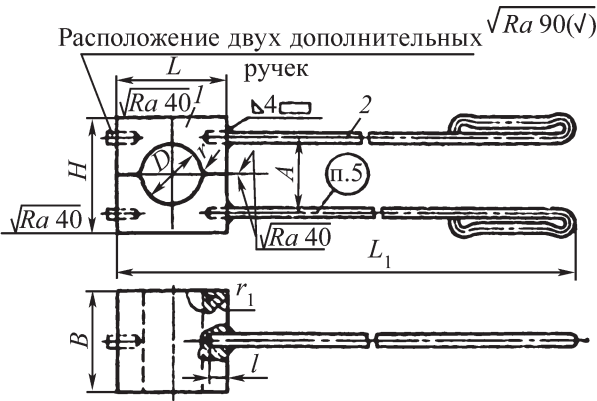
11. Обжимки круглые пружинные (по ГОСТ 11426–75*)



Размеры, мм

D	D_1	d	H	B	L	L_1	l	A	r	r_1
8	80	12	60	40	70	630	25	32	4	5
10				5						
12			50		80	750		40	7	
14			120	80						
16	15	90			120	100	45			
18				100				130		110
20		125			140	125	855		60	
22				140				150		160
25		160			180	950	30		70	
28				150				18		140
30										
32										
36										
38										
40										
45										
50										
55										
60										
65										
70										
75										

12. Обжимки круглые разъемные (по ГОСТ 11427–75*)



Размеры, мм

D	B	H	L	L_1	l	A	r	r_1	
80	160				30	100		10	
85		160	170	1040		120	15		
90		180	180	1050			16		
95		200	190			1170	130	18	12
100				220				200	
105		170	240	220		40	160	22	
110									
115									
120									
125	180	260	220	1180	40	160	25	14	
130									
135									
140	200	280	240	60	180	26			
145									
150	220	300	260	1190	70	200	30		16
160									
170									
180									
200	300	360	320	1370					

13. Подкладки клиновые (откосы) (по ГОСТ 11428–75*)

<p>Размеры, мм</p>	H	h	h ₁	L	L ₁	l	l ₁
	20	10	8	100	870	36	30
	32	16	10	125	895	40	
	40	20	16	140	1110	50	
	55	32	20	160	1230	60	50
	80	40	32	220	1170	85	
	105	50	40	260	1210	120	

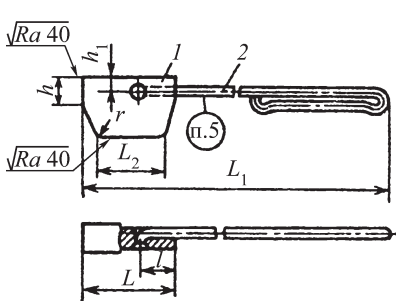
14. Топоры двусторонние (по ГОСТ 11429–75*)

<p>Размеры, мм</p>	B	B ₁	L	L ₁	l	H	h	
	18	6	100	950	30	36	12	
	20	7	160			50	16	
	25	9	180	1000	50	75	18	
	32	14	200	1200		100		
	36		250	80	125	20		
	40	16	280		1300		150	25
	45	18	320				180	32
	50		360		1350	200		

15. Топоры односторонние (по ГОСТ 11430–75*)

<p>Размеры, мм</p>	B	B ₁	L	L ₁	l	H	h	C	r
	18	14	100	950	30	36	12	12	10
	20	16	160	900		50	15	18	16
	25	18	180	1100	50	75	17	20	18
	32	20	200			100	18	25	20

16. Топоры трапецевидные (по ГОСТ 11431–75*)

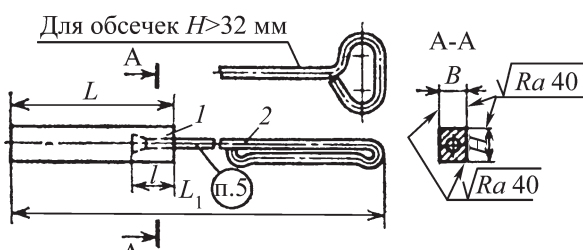
	$\sqrt{Ra\ 40}$	$\sqrt{Ra\ 90(\sqrt{J})}$	H	B	B_1	L	L_1	L_2	l	h	h_1	r
	80	20	8	125	835	90	50	32	16	10	16	10
	110	25	12	180	1035	125	80	36	20			
	140	32	16	220	1182	140		45	25	16	36	16
	200	36	20	280	1300	160		70	36			
Размеры, мм												

17. Топоры полукруглые (по ГОСТ 11432–75*)

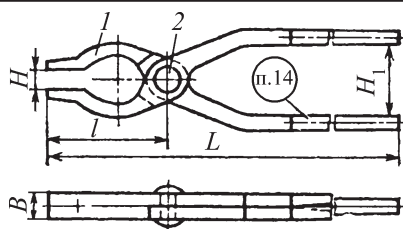
Размеры, мм

r	r_1	H	h	B	B_1	L	l	l_1	l_2	d	a	C	$\alpha, ^\circ$			
16	32	32	10	16	3	900	50	30	13	16	10	12	10			
20	36	40		18					14	18		16				
25	40	50	12	20	5				15	20	12	20				
32		60		22					16	22		25				
36	45	70	14	24	6				17	24	16	32				
40	50	80		26					18	26		40				
50		90	16	30	8	1000	80	50	20	30	20	45				
65	60	100		32					21	32	25					
75		65	125	18	34				10				22	34	32	50
80	140		38		24								38	40	55	
100	70	160	20	40	12				25	40	45	65				
160	140	125	24	38					24	38	40	55				
180	160	140	26	40					25	40	45	65				

18. Обсечки (по ГОСТ 11433–75*)

 <p>Для обсечек $H > 32$ мм</p> <p>Размеры, мм</p>	H	B	L	L_1	l
	20	18	160	985	25
	25	20	200	1150	
	32	25	250	1100	50
	36	32	320	1360	80
	40		360	1400	
	50	40	400	1440	
	60		450	1490	
	70	50		1540	
	80	60	500	1160	100
	90	70	560	1520	
	100	80	630	1590	
710			1670		

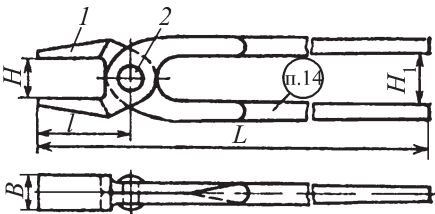
19. Клещи продольно-поперечные плоские (по ГОСТ 11384–75*)



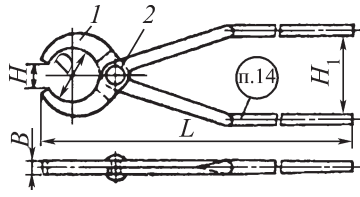
Размеры, мм

H	H_1	L	B	l
12	50	630	20	70
16	55		20	90
20	60	710	25	110
32	70	800	28	160

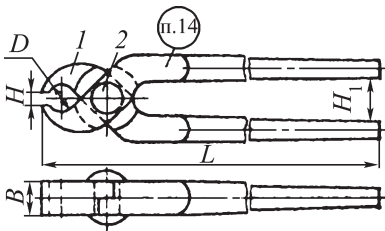
20. Клещи с плоскими губками (по ГОСТ 11385–75*)

 <p>Размеры, мм</p>	H	H_1	B	L	l
	3	20	16	340	40
	5	32	20	450	60
	10				
	20	36	25	500	70
	30			560	
	45		32	600	80
	60	40		630	90
	75	45	40	670	100
	90			710	110

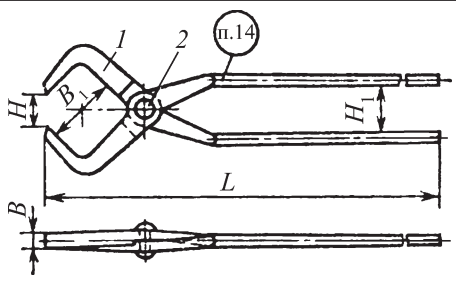
21. Клещи поперечные с круглыми губками (по ГОСТ 11386–75*)

 <p>Размеры, мм</p>	H	H_1	B	L	D
	25	70	12	710	50
	32	80	16		75
	50	90	25		100
	60	100	25	800	125
	75	110	32	900	150
	90	120	36		175
	110	130	36	950	200
	125	140			250

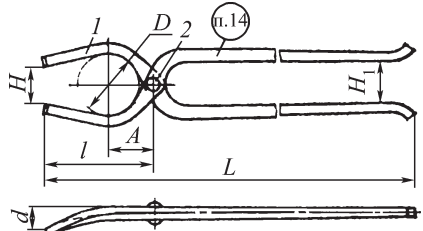
22. Клещи поперечные с полукруглыми губками (по ГОСТ 11387–75*)

 <p>Размеры, мм</p>	B	L	H	H_1	D
	12	320	6	16	10
	16			20	12
	18			25	14
	20	450	10	28	16
	24	500	12	30	18
	26	560		34	20
	30	16	40	25	

23. Клещи поперечные с квадратными губками (по ГОСТ 11388–75*)

 <p>Размеры, мм</p>	H	H_1	B	L	B_1
	40	80	18	800	70
	50	90	20	900	100
	80	100	24	1000	140
	100	120	25	1250	180

24. Клещи выгнутые (по ГОСТ 11389–75*)

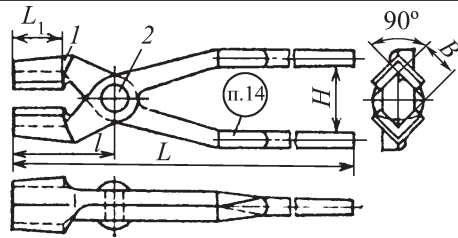
 <p>Размеры, мм</p>	H	H_1	a	L	D	l	A
	50	60	40	1000	75	140	55
	60	70	40	1120	100	180	70
	80	80	40	1180	125	220	85
	100		50	1250	150	280	100
	110		60	1320	175	320	110
	125		60	1400	200	360	125
	140		65	1500	225	400	140
	155		75	1600	250	450	150

25. Клещи продольные с круглыми губками (по ГОСТ 11390–75*)

Размеры, мм

D	L	H	l	l_1
10	530	50	70	35
15	560			40
20	600	55	85	45
30	630			
40	670	60	90	50
50	710		95	
60		70	100	
75	750	80	125	60
90	800	85	140	75
100		90		80
125	850	100	160	85
140	900		180	

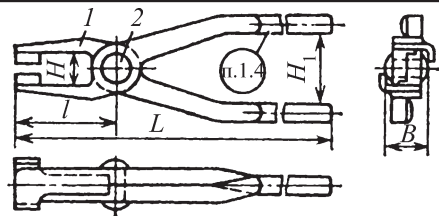
26. Клещи продольные с квадратными губками (по ГОСТ 11391–75*)



Размеры, мм

<i>B</i>	<i>L</i>	<i>H</i>	<i>l</i>	<i>l</i> ₁
25	630	40	80	40
30		50		
40	710	60	100	50
50		70	110	55
60	800	75	125	60
70		80		
80	850	90	140	70
100		100	160	80
125	900	110	180	100
150	1000		200	120

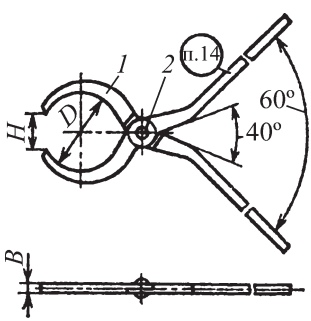
27. Клещи продольные с прямоугольными губками (по ГОСТ 11392–75*)



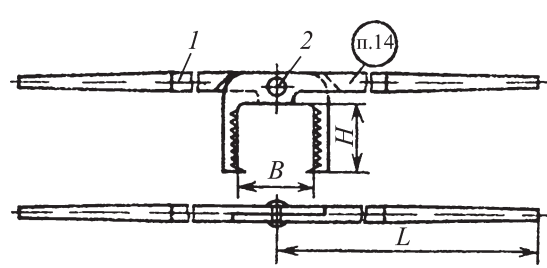
Размеры, мм

<i>B</i>	<i>H</i>	<i>H</i> ₁	<i>L</i>	<i>l</i>
25	25	50	560	80
30	28	60	630	90
40	38		710	100
50	46	70	750	110
60	52		800	125
80	65	90	850	140
100	75	100	900	160
125	115	120	950	200
150	125	130	1000	220

28. Клещи вспомогательные для заготовок цилиндрических (по ГОСТ 11393–75*)

 <p>Размеры, мм</p>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>H</i>
	100	12	50
	125	14	60
	150		80
	175	16	90
	200		100
	220	18	110
	250	20	125
	300		

29. Клещи вспомогательные для заготовок прямоугольных (по ГОСТ 11394–75*)

 <p>Размеры, мм</p>	<i>B</i>	<i>L</i>	<i>H</i>
	120	800	100
	140		110
	160	850	120
	180	900	130
	200	950	140
	250	1000	160
	280	1060	170
	300	1120	

30. Клещи вспомогательные (по ГОСТ 11395–75*)

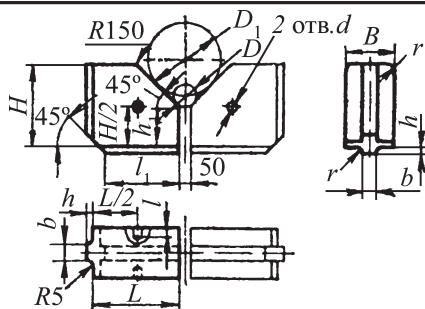
Размеры, мм

H	H_1	B	L	D	l	A
6	25	4	630	30	80	30,0
10		5		40		36,0
	32	6	750	50	90	43,0
7		60		110	50,0	
20		8	800	70	125	57,5
25				80		65,0
32	36	10	850	90	140	72,5
36	40			100	150	80,0

Окончание табл. 31

Сила пресса, МН	L	B	d	H	h	h_1	l	l_1	l_2	l_3	r
32	1250	630	50	500	108	50	900	420	80	100	50
	1120										
	1600						1500	700			
	800						710	450			
	1000						900				
	1250						1120	700			
	1600						1500				
	50						800	710			
1000		850									
1250		1060	700								
1600		1500									
800		710	650	450							
1000			850								
1250			1060	700							
1600			1450								

32. Вкладыши вырезные нижнего бойка



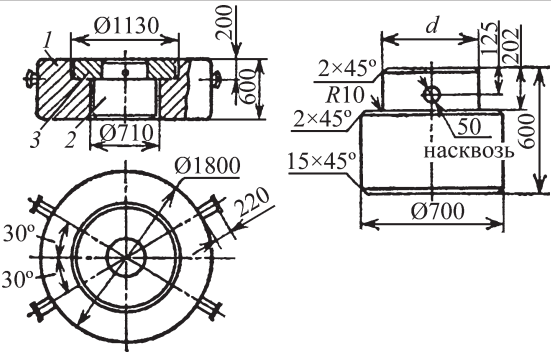
Размеры, мм

Сила пресса, МН	L	D	B	b	D_1	d	H	h	h_1	l	l_1	r
8	535	140	320		450		560		400		435	
		220			530				270			
		140			450				400			
		220			530				270			
12,5	600	200	400	90	500	50	600	30	320	100	500	50
		370			700				200			
		350			1050				190			
		200			500				320			
		370			700				200			

Окончание табл. 32

Сила пресса, МН	<i>L</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>b</i>	<i>D</i> ₁	<i>d</i>	<i>H</i>	<i>h</i>	<i>h</i> ₁	<i>l</i>	<i>l</i> ₁	<i>r</i>							
12,5	600	350	500	90	1050	50	600	30	190	100	500	50							
20	675	200	400		600				400										
		300			900				290										
		400			180				575										
		200			400														
		300	290																
		400	180																
		32	775		300				630		100		750	60	710	40	180	120	675
360	1100			110															
800	1400			60															
300	750			180															
360	1100			110															
800	1400			60															
50	710			300	120	750	60	180	60	110		120	675			70			
				360		1100		60											
				800		1400		430											
				300		900		210											
				500	1350	90													
				600	1600														

33. Плиты низкие круглые для осадки и прошивки



Размеры, мм

Сила пресса, МН	Масса плиты в сборе, кг	<i>d</i> , мм	Масса вкладыша, кг
20	12000	315	1320
32		395	1390
		495	1500
		620	1670

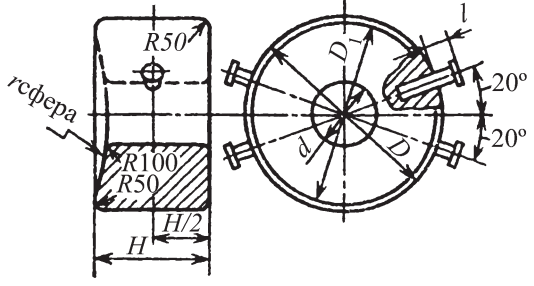
Примечание. 1 — плита; 2 — вкладыш сменный; 3 — кольцо сменное.

34. Плиты верхние плоские

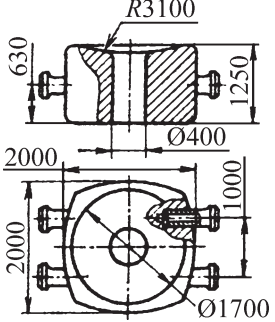
 <p>Размеры, мм</p>	Сила пресса, МН	D, мм	H, мм	α , °	Масса, кг
	20	1400	320	25	3 960
	32	1600	400	20	6410

Примечание. 1 — плита; 2 — штырь транспортный.

35. Плиты нижние литые высокие

 <p>Размеры, мм</p>							
Сила пресса, МН	d	H	D	D ₁	l	r сфера	Масса, кг
8	250	630	900	800	170	770	2780
12,5	320	710	1120	1000		1350	4830
20	400	800	1400	1250	200	1490	8640
32	500	1000	1800	1600	240	2400	13 930
50	630						16 720

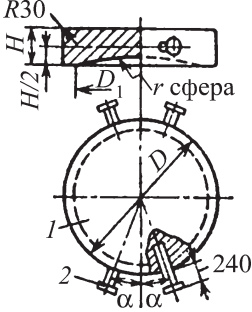
36. Плиты нижние кованные высокие

 <p>Размеры, мм</p>	Сила пресса, МН	Масса, кг
	23	32 920
	50	

37. Плиты нижние кованные низкие

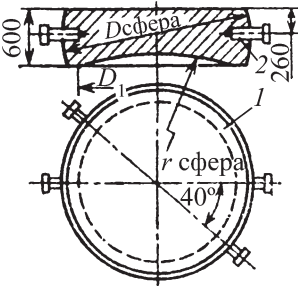
 Размеры, мм	Сила пресса, МН	d	A	D сфера	H	h	D_1	R сфера	Масса, кг
	20	400	720	1600	360	180	1400	1900	4700
	32	500	900	2000	500	250	1800	3540	11 500
	50	630	1020	2500	710	360	2240	4400	24 900

38. Плиты верхние литые

 Размеры, мм						
Сила пресса, МН	D	D_1	H	r сфера	$\alpha, ^\circ$	Масса, кг
20	1250	1120	320	2200	30	2870
32	1400	1320	400	2700	25	4570
50	1600	1500		3200	20	6000

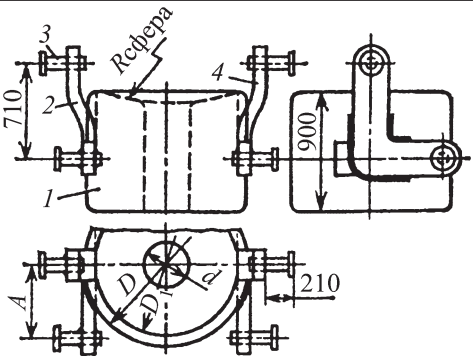
Примечание. 1 — плита; 2 — штырь транспортный.

39. Плиты верхние кованные

 Размеры, мм	Сила пресса, МН	D сфера	D	r сфера	Масса, кг
	32	2000	1700	3070	13000
	50	2500	2240	4392	20050

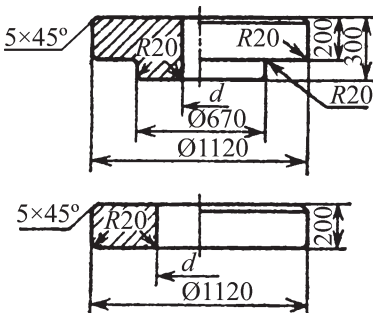
Примечание: 1 — плита; 2 — штырь транспортный.

40. Плиты нижние для осадки и кантовки слитков

 <p>Размеры, мм</p>	Сила пресса, МН	d	D	D_1	A	R сфера	Масса, кг
	20	320	1250	1120	560	2200	8470
	32	400	1400	1320	700	2700	10220

Примечание. 1 — плита; 2 — коромысло левое; 3 — цапфа; 4 — коромысло правое.

41. Кольца сменные для круглых и квадратных осадочно-прошивочных плит

 <p>Размеры, мм</p>	d , мм	Масса, кг	Вид плит
	160	1780	Квадратные
	200	1750	
	250	1700	
	320	1420	Круглые и квадратные
	400	1350	
	500	1240	
	630	1060	

42. Пережимки круглые (см. эскиз к табл. 8)

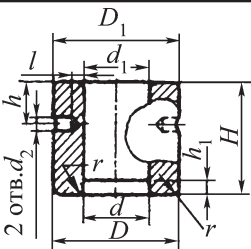
Размеры, мм

D	L	$\approx L_1$	l
55	630	3500	80
60			
70	800	3800	
80	900	4300	100
90	1000	4400	
100	1120	4500	120
		5000	
110	1250	5600	

43. Пережимки треугольные (см. эскиз к табл. 9)

Размеры, мм			
<i>B</i>	<i>L</i>	$\approx L_1$	<i>l</i>
125	800	3700	140
160	900	4300	
200	1000	4850	
250	1120	5450	180
320		5950	
400	1250	6050	

44. Прошивни пустотелые (*D* св. 350 мм)



Размеры, мм									
<i>D</i>	<i>H</i>	<i>D</i> ₁	<i>d</i>	<i>d</i> ₁	<i>d</i> ₂	<i>h</i>	<i>h</i> ₁	<i>l</i>	<i>r</i>
400	320	380	200	210	30	100	40	60	15
500		480	250	260	40		50	80	
630	400	610	320	330		150	60	100	20
710		690	360	370	60		80	120	

45. Надставки пустотелые (*D* св. 350 мм)

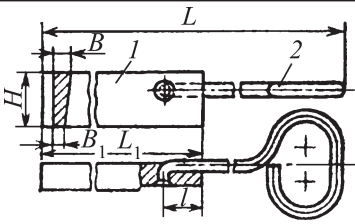
<p>Размеры, мм</p>	D	H	h	d	d_1	l
	360	250	100	220	25	50
		400	150	250		
	400	250	100	280		
		320	150	300		
		400				
	500	250	100	32	60	
		320	150			360
		400				
		500				
	630	320	125	380		
		630	150	400		

46. Топоры двусторонние (см. эскиз к табл. 14)

Размеры, мм

H	L	B	B_1	$\approx L_1$	l
200	400	50	32	2600	100
	500			2700	
	630			2800	
	800			3000	
	1000			3200	
250	630			3630	
	800			3830	
	1250			4250	
320	500	60	40	3400	120
	630			3800	
	800				
	1000			4000	
	1250			4900	140
400	630			4100	
	800			4300	
450	1000			80	
	1250	4750			

47. Топоры односторонние

	H	L	$\approx L_1$	B	B_1	l
	100	400	2400	45	32	60
	110	500	2500	50	36	80
		630	2600			
		800	2800			

48. Топоры двусторонние трапецидальные (см. эскиз к табл. 16)

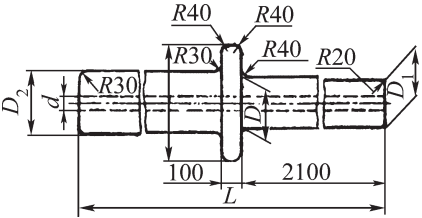
Размеры, мм

H	L	$\approx L_1$	B	B_1
160	320	3150	45	25
200	400	4000	50	32
250	500			

49. Обсечки (см. эскиз к табл. 18)

Размеры, мм			
<i>B</i>	<i>H</i>	<i>L</i>	$\approx L_1$
50	125	800	4300
60		1000	4500
70			3700
60	160	1250	5250
80			3750
90	180	1000	4350
100	200	1250	4600

50. Оправки для протяжки поковок

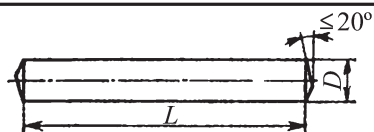
	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>D</i> ₁	<i>D</i> ₂	<i>D</i> ₃	<i>d</i>
	320	3150	279	400	600	100
	400		379		710	140
	500	3350	479	500	800	

51. Оправки удлиненные для протяжки поковок

Размеры, мм

<i>D</i>	<i>L</i>	<i>D</i> ₁	<i>D</i> ₂	<i>d</i>	<i>d</i> ₁	<i>d</i> ₂	<i>d</i> ₃	<i>d</i> ₄	<i>l</i>	<i>l</i> ₁
220	8500	160	320	190	140	90	220	200	1400	6000
250		190	380	220	180	100	250	230		
280		220	450	280	220	110	280	250		
320		260	450	300	240		300	280		
300	300	530	340	280	1920			5000	4000	
400	9000	340	560	400						340
450		390	600	420						370
500		450	670	480	420		320			300
560		8000	510	750	560	480	120	360	340	
630	580		800	600	560	380		360		
710	660		850	670	640	400		380		
800	6700	760	950	790	740				1620	4000
900		860	1060	880	840					

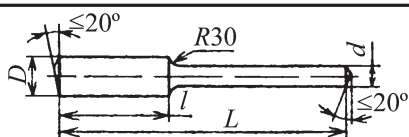
52. Оправки для раскатки



Размеры, мм

D	L	D	L
200	1250	500	3150
250	1600	630	4000
	2000		5000
320	2500	800	6300
			8000
400	3150	1000	8000

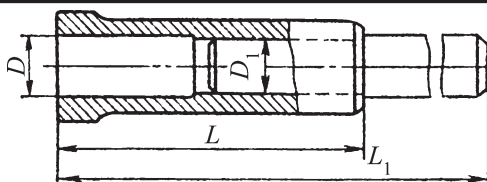
53. Оправки одноступенчатые для раскатки



Размеры, мм

D	L	d	l	D	L	d	l
200	1250	125	630	500	3150	320	1600
250	1600	160	800	630		400	
320	2000	200	1000	800	5000	500	2000
400	3150	250	1250				

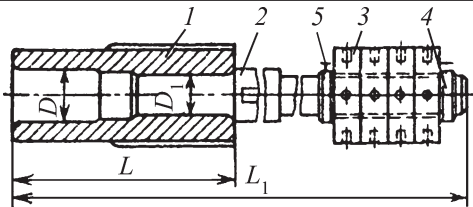
54. Патроны для ковки слитков массой до 40 т



Размеры, мм

Масса слитка, кг	Диаметр хвостовика слитка	D	L_1	D_1	L	Масса, кг
6	300	320	7180	300	2000	8510
13	380	400	9620	380	2240	14110
25	480	500	10250	450	2500	23110
40	600	630	11480	480	2800	27470

55. Патроны для ковки слитков массой св. 40 т

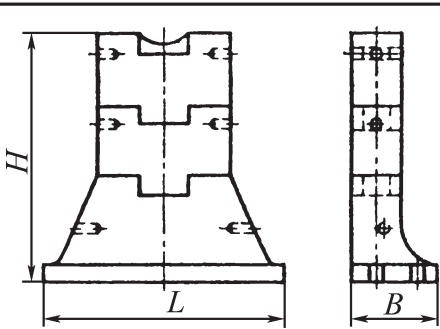


Размеры, мм

Масса слитка, т	Диаметр хвостовик слитка	D	L_1	D_1	L	Масса, кг
100	750	800	12050	710	3350	77500
160	950	1000	15050	800	3550	111360

Примечание: 1 — головка; 2 — штанга; 3 — противовес; 4 — кольцо; 5 — болт стопорный.

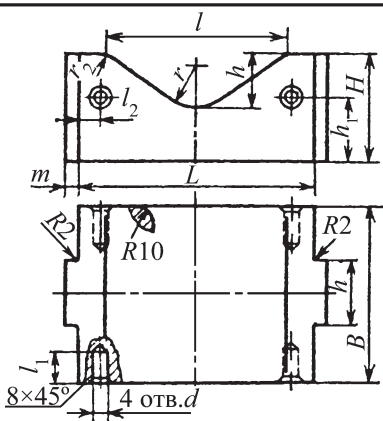
56. Стойки для раскатки



Размеры, мм

Сила пресса, МН	H	B	L
20	1400	450	1400
	1700	710	1800
32	2000	800	2120
	2360		2240
50	2500	900	2650
100	3500	1150	3500

57. Вкладыши



Размеры, мм

H	B	b	d	h	h_1	L	l	l_1	l_2	τ	r	r_1				
180	300	120	25	70	100	335	270	60	50	20	80	40				
250	400	150	50	150	120	595	500	70	80	40	150	80				
300			60	180	150	695	600	80	90		180					
320				160	200						795		700	100	200	100
340				200	795						700		100	200	100	
340				200	795						700		100	200	100	

Материал для инструмента и некоторые правила его эксплуатации. Ковочный инструмент изготавливают из стали марок, указанных в табл. 58.

Подвергаемый ударным нагрузкам инструмент рекомендуется подогреть до температуры 150...200 °С для обеспечения высокой стойкости.

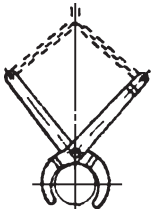
Технологический инструмент и приспособления, подвергающиеся нагреву при эксплуатации, следует периодически контролировать по твердости и при необходимости подвергать повторной термической обработке.

Приспособления. Захватные приспособления наиболее распространенных типов представлены в табл. 59.

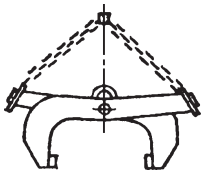
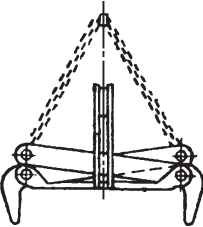
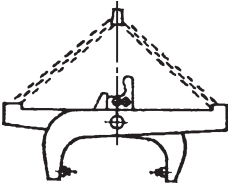
58. Сталь для инструмента

Инструмент	Марка стали	Инструмент	Марка стали
Бойки цельные, сменные надставки и вкладыши к бойкам	50, 50Г, 40ХН, 5ХНВ, 5ХГМ	Кольца:	
Плиты для осадки:		оправочные	50
кованные	Ст 3, 35	для осадки	35, 50, 5ХГМ
литые	35Л	Ручки к топорам и другому инструменту	Ст 3, 15, 20
Топоры, просечки	35ХМ, 5ХНВ, 7ХЗ, 8ХЗ, 5ХГМ, 5ХНМ	Клещи	15, 20, 25, Ст 3
Прошивки сплошные и пустотелые	40Х, 50Х, 5ХНВ, 5ХГМ	Патроны:	
Надставки к прошивкам	40, 50, 50Х	головки	35, Ст 3
Пережимки, раскатки, подкладки	40, 45, 40Х	противовес	Ст 3
Обжимки	40, 45, 50, У7, 40Х	Стойки для раскатки:	
Оправки:		основание и подставка	35
для раскатки и вытяжки	35, 40, 50, 40ХН, 5ХГМ	вкладыши	5ХНВ
калибровочные	50, 50Х, 5ХГМ		

59. Типы захватных приспособлений для транспортирования заготовок и слитков

Приспособления	Область применения
 <p>Клещи зажимные полуавтоматические</p>	Захват и транспортирование не-высоких поковок
 <p>Клещи охватывающие</p>	Захват и транспортирование поковок и слитков

Окончание табл. 59

Приспособления	Область применения
<div>Клеши зажимные:</div> <div>для легких поковок</div> <div></div>	Захват и транспортирование поковок любой формы
<div>для тяжелых поковок</div> <div></div>	
<div>Клеши зажимные с кернами и защелкой</div> <div></div>	Захват и транспортирование поковок любой формы и установка их в вертикальное положение

2. КОВОЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ

Осадкой называют формоизменяющую операцию, в процессе которой производят уменьшение высоты заготовки при увеличении площади ее поперечного сечения.

Осадку применяют, когда необходимо: получить поковку или участок ее с поперечным сечением большим, чем сечение заготовки или слитка; увеличить уковку; уменьшить анизотропию механических свойств и улучшить эти свойства в осевом и поперечных направлениях поковки; более равномерно распределить и измельчить карбиды в сталях карбидного класса; выровнять торцовые поверхности заготовки и увеличить поперечное сечение перед прошивкой.

При использовании операции осадки для увеличения уковки и уменьшения анизотропии механических свойств

следует учитывать, что уковка положительно влияет до известного предела, улучшение механических свойств в поперечных направлениях приводит к снижению их в осевом направлении.

Неравномерность нагрева способствует в процессе осадки искривлению продольной оси и смещению ликвидационных зон. Слитки с подкорковыми дефектами надо предварительно подвергать обжиму, чтобы предотвратить вскрытие дефектов в процессе осадки.

Степень деформации (%) при осадке

$$\varepsilon = \frac{H_{\text{заг}} - H_1}{H_{\text{заг}}} 100,$$

где $H_{\text{заг}}$ и H_1 — соответственно исходная и конечная высоты заготовки.

В обычных условиях осадки в результате неравномерности деформации заготовка приобретает бочкообразную форму. Повышению равно-

мерности осадки способствуют: уменьшение трения на поверхности контакта металла с инструментом путем повышения качества его обработки и применения (при осадке на прессе) смазочных материалов; использование нагретых прокладок толщиной 15...20 мм между инструментом и торцами заготовки из низкоуглеродистой стали; применение плоских выточек для удержания смазочных материалов на торцах заготовки глубиной 1...3 мм при ширине 1...2 мм.

В качестве смазочных материалов применяют сухие древесные опилки, графит с машинным маслом, водный раствор коллоидного графита (5...10 %) и жидкого стекла (15...20 %) и др.

Во избежание продольного изгиба (искривления) не рекомендуется осадка заготовок с отношением высоты к диаметру или к меньшей стороне сечения больше 2,5. В случае изгиба заготовку необходимо сразу же выправить одним из двух способов (рис. 1 и 2). Первый заключается в нажатии на искривленную заготовку по контактной поверхности со стороны, противоположной вогнутости (см. рис. 1). При этом течение металла происходит в направлении вогнутости (см. стрелку на рис. 1), в результате чего она исчезает. После устранения искривления контактную площадь, по которой прикладывается нагрузка, увеличивают осадкой до полного перекрытия всего торца. Искривление очень длинных заго-

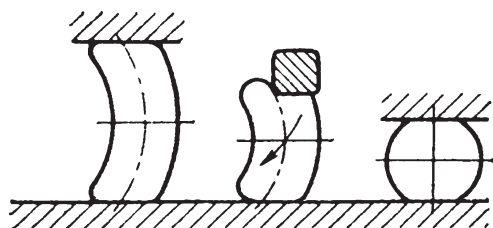


Рис. 1. Исправление прогиба при осадке коротких заготовок

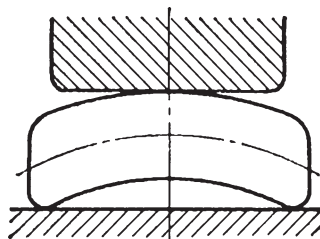


Рис. 2. Предварительное исправление прогиба при осадке длинных заготовок

товок из высокопластичных материалов исправляют вначале вторым способом (рис. 2), а затем первым способом.

Разновидности осадки. *Осадка заготовок или слитков без хвостовика* (выступа) для получения поковок типа дисков или под последующую прошивку.

Осадка заготовок или слитков с хвостовиком для получения поковок с местным утолщением (высадка) или как предварительная операция перед последующей вытяжкой. В качестве инструмента применяют плоские или вогнутые плиты, причем в нижней плите есть отверстие для хвостовика.

Осадка (высадка) в подкладных кольцах для получения поковок типа фланцев и дисков с одним или двумя выступами. Отверстия в кольцах выполняют обычно с уклоном до 7° к высаживаемой части в зависимости от сложности извлечения поковки из колец. При высадке средней части заготовки с применением двух колец уклон по внутреннему отверстию одного кольца обязателен.

Выбор молота. Массу падающих частей молота, необходимого для осадки заготовки круглого или квадратного сечения, можно определить по формуле

$$G = 0,17 \left(1 + 0,17 \frac{D_{\text{пок}}}{H_{\text{пок}}} \right) \sigma_{\text{т}} \varepsilon_{\text{к}} V_{\text{заг}}, \quad (1)$$

где $D_{\text{пок}}$ и $H_{\text{пок}}$ — соответственно диаметр и высота заготовки после осад-

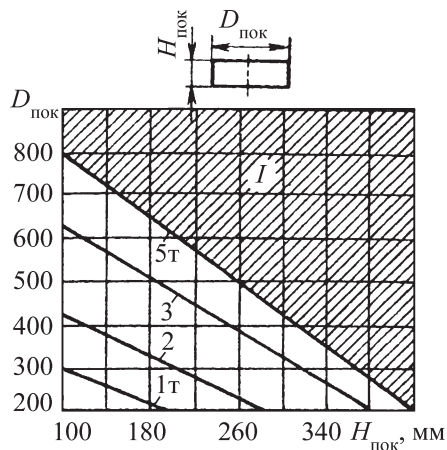


Рис. 3. Диаграмма для выбора массы падающих частей молота дляковки поковок типа зубчатых колес:

I — зона геометрических размеров поковков, изготавливаемых на гидравлических прессах;
1...5 Т — масса падающих частей молота

ки, мм; σ_T — напряжение текучести металла при температуре осадки, приблизительно равное пределу прочности при той же температуре, МПа; ε_K — степень деформации за последний удар ($\varepsilon_K = 0,025$ — для крупных и $\varepsilon_K = 0,060$ — для мелких поковков); $V_{\text{заг}}$ — объем заготовки, см^3 .

На рис. 3 приведена диаграмма для выбора массы падающих частей молота при ковке с осадкой поковков зубчатых колес (без помощи манипулятора).

Пример. Определить массу падающих частей молота для осадки заготовки из стали ($\sigma_B = 600$ МПа) с исходными размерами $D_{\text{заг}} = 160$ мм, $H_{\text{заг}} = 300$ мм до высоты $H_{\text{пок}} = 100$ мм. Временное сопротивление стали $\sigma_B = 22$ МПа; при температуре осадки 1200°C принимаем $\varepsilon_K = 0,03$.

1. Средний диаметр после осадки

$$D_{\text{пок}} = D_{\text{заг}} \sqrt{\frac{H_{\text{заг}}}{H_{\text{пок}}}} = 160 \sqrt{\frac{300}{100}} = 277 \text{ мм.}$$

2. Объем заготовки

$$V_{\text{заг}} = \frac{\pi D_{\text{заг}}^2 H_{\text{заг}}}{4} = \frac{3,14 \cdot 16^2 \cdot 30}{4} = 6050 \text{ см}^3.$$

3. Масса падающих частей молота

$$G = 0,17 \left(1 + 0,17 \frac{277}{100} \right) 22 \cdot 0,03 \cdot 6050 \approx 1000 \text{ кг.}$$

Выбор прессы. Силу прессы, необходимую для осадки заготовки круглого и квадратного сечения, можно определить по формуле

$$P = \psi \left(1 + 0,17 \frac{D_{\text{пок}}}{H_{\text{пок}}} \right) \sigma_T F \cdot 10^{-6},$$

где ψ — масштабный коэффициент; F — площадь поперечного сечения поковки после осадки, мм^2 ; остальные обозначения см. в (1).

Пример. Определить силу прессы, необходимую для осадки заготовки из стали ($\sigma_B = 600$ МПа) с исходными размерами $D_{\text{заг}} = 740$ мм, $H_{\text{заг}} = 1200$ мм до высоты $H_{\text{пок}} = 600$ мм.

Временное сопротивление стали при температуре осадки $\sigma_B = \sigma_T = 22$ МПа. Принимаем коэффициент $\psi = 0,75$.

1. Средний диаметр после осадки

$$D_{\text{пок}} = D_{\text{заг}} \sqrt{\frac{H_{\text{заг}}}{H_{\text{пок}}}} = 740 \sqrt{\frac{1200}{600}} = 1045 \text{ мм.}$$

2. Площадь поперечного сечения поковки после осадки

$$F = \frac{\pi D_{\text{пок}}^2 H_{\text{заг}}}{4} = \frac{3,14 (1045)^2}{4} = 860\,000 \text{ мм}^2.$$

3. Сила прессы

$$P = 0,75 \left(1 + 0,17 \frac{1045}{600} \right) 22 \times \\ \times 860\,000 \cdot 10^{-6} \approx 18,4 \text{ МН,}$$

т.е. необходим пресс силой 20 МН.

Протяжкой называют формоизменяющую операцию, в процессе которой получают удлинение заготовки или ее части за счет уменьшения площади поперечного сечения. Протяжка способствует устранению внутренних дефектов (пустот) и улучшает механические свойства металла в осевом направлении заготовки.

Для обеспечения при протяжке более равномерной деформации по сечению и длине, а также для более полного устранения внутренних дефектов (пустот) необходимо соблюдать следующие условия.

Относительную подачу надо принимать в пределах $0,5 < l/h < 1$, где l — подача; h — размер сечения в направлении приложения силы.

Границы подач следует смещать после каждого прохода. Более благоприятной является протяжка с последующим обжимом по всей длине перед кантовкой.

Ковку участками — поясами — при обычной конструкции бойков (с параллельными рабочими поверхностями) следует допускать только в технологических неизбежных случаях (например, при протяжке полых поковок с оправками) или при получении коротких участков.

Следует осуществлять максимально возможные обжимы, допускаемые пластичностью металла при данной схеме напряженного состояния. Исключение составляет первоначальная протяжка слитков, когда рекомендуются обжимы в пределах 20...60 мм на размер. При большей величине обжи-

ма могут вскрыться подкорковые пузыри, в результате чего на поковке окажутся поверхностные дефекты.

При отсутствии в слитках подкорковых дефектов данная предосторожность излишня.

Пластические свойства углеродистой и среднелегированной конструкционных сталей практически не ограничивают степень деформации.

Протяжку выполняют на плоских, вырезных и комбинированных бойках (верхний — плоский, нижний — вырезной). Производительность протяжки на вырезных бойках на 20...40 % выше, чем на плоских.

Разновидности протяжки. *Протяжкой с оправкой* получают полые заготовки типа цилиндров, толстостенных труб, втулок и т.д. Поковки могут быть гладкими (рис. 4) или с уступами. Длина заготовки $L_{\text{заг}}$ увеличивается до длины поковки $L_{\text{пок}}$, и площадь поперечного сечения заготовки уменьшается в данном случае практически только за счет уменьшения наружного диаметра полой заготовки $D_{\text{заг}}$. Внутренний диаметр заготовки $d_{\text{заг}}$ остается практически постоянным ($d_{\text{заг}} = d_{\text{пок}}$). Для облегчения съема поковки с оправки последнюю выполняют конической (конусность 1 : 100...1 : 150). Для повышения стойкости внутри оправки сверлят от-

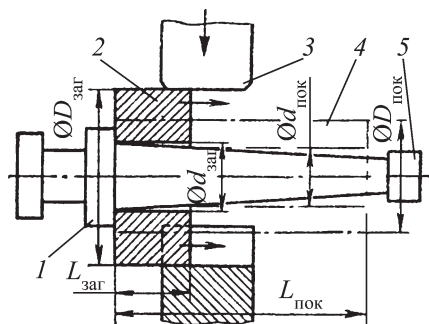


Рис. 4. Схема протяжки с оправкой:

1 — бурт оправки; 2 — заготовка; 3 — боек; 4 — поковка; 5 — оправка

верстие, по которому подают охлаждающую жидкость. Оправку перед протяжкой вводят в нагретую заготовку, диаметр отверстия в которой должен быть больше диаметра оправки. Ковку начинают с конца заготовки, обращенного к меньшему диаметру оправки. При этом в процессе ковки заготовка перемещается в сторону бурта оправки до упора в него. Вначале куют концевой пояс с одной стороны заготовки, а потом со стороны заготовки, обращенной к бурту оправки. Концевые пояса куют в первую очередь потому, что металл по краям заготовки остывает быстрее. Затем поковку куют в направлении от ее края, противоположного бурту оправки, к бурту оправки. В этом случае металл течет вдоль оси заготовки в одном направлении — от бурта оправки к ее концу. Так как диаметр конца оправки немного меньше диаметра у бурта, то между поковкой и оправкой образуется очень малый зазор, за счет которого сила съема поковки с оправки уменьшается. Оправку необходимо извлекать из поковки сразу же после окончания ковки.

При протяжке с оправкой используют вырезные бойки; при протяжке высокопластичного материала применяют вырезной (нижний) и плоский (верхний) бойки. При протяж-

ке с оправкой с использованием двух плоских бойков (рис. 5) искажается форма отверстия поковки 3 (оно становится овальным), а внутренний диаметр его будет больше диаметра оправки 1 (2 — направление течения металла).

Уковка при протяжке с оправкой

$$y = \frac{F_{\text{заг}}}{F_{\text{к}}} = \frac{D_{\text{заг}}^2 - d^2}{D_{\text{пок}}^2 - d_{\text{пок}}^2} = \frac{\delta_{\text{заг}} D_{\text{заг.ср}}}{\delta_{\text{пок}} D_{\text{пок.ср}}} = \frac{L_{\text{пок}}}{L_{\text{заг}}},$$

где $\delta_{\text{заг}}$, $\delta_{\text{пок}}$ — соответственно толщина стенки заготовки и поковки; $D_{\text{заг.ср}}$, $D_{\text{пок.ср}}$ — соответственно средний диаметр заготовки и поковки.

Раскаткой на оправке (рис. 6) получают относительно короткие тонкостенные поковки типа колец, обечаек, бандажей и т.д. При раскатке на оправке увеличиваются внутренний и наружный диаметры заготовки, а также

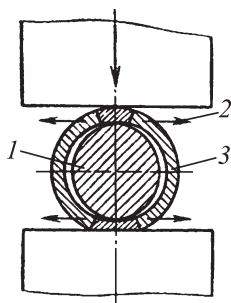


Рис. 5. Протяжка с оправкой на плоских бойках

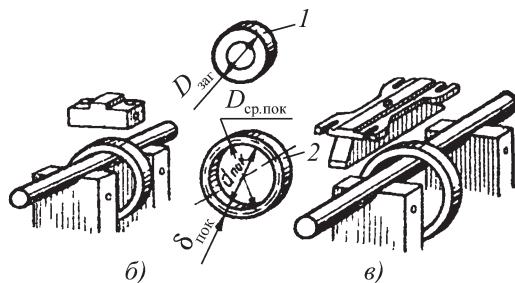
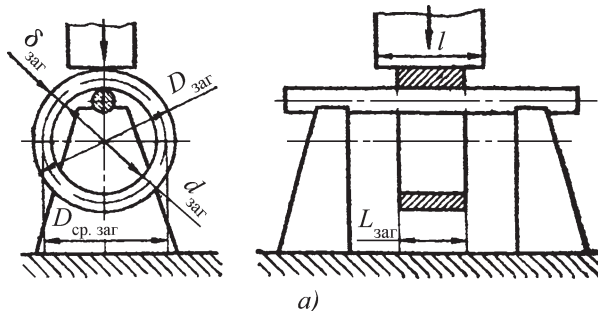


Рис. 6. Раскатка на оправке:

а — схема; б — обычным бойком; в — бойком-лягушкой

незначительно высота за счет уменьшения толщины стенки исходной заготовки. В этом случае раскатка идет вдоль касательных к среднему диаметру заготовки (увеличивается длина заготовки по среднему диаметру).

В качестве инструмента используют плоский боек (рис. 6, в) или при работе на прессах узкий боек-лягушку и цилиндрическую оправку. При раскатке в заготовке 1 выполняют отверстие, а длина бойка l (рис. 6, а) должна быть больше высоты поковки 2. Обычно диаметр оправки вначале раскатки $d_{\text{опр}} = (0,85 \dots 0,95)d_{\text{заг}}$. После подогрева поковки диаметр оправки увеличивают.

После каждого нажатия происходит вращательная подача заготовки путем поворота оправки в опорах подставок. Относительный обжим при раскатке

$$\varepsilon_{\text{н}} = \frac{\delta_{\text{заг}} - \delta_{\text{пок}}}{\delta_{\text{заг}}};$$

уковка при раскатке

$$y = \frac{F_{\text{заг}}}{F_{\text{к}}} = \frac{\delta_{\text{заг}} L_{\text{заг}}}{\delta_{\text{пок}} L_{\text{пок}}} = \frac{D_{\text{ср.пок}}}{D_{\text{заг.ср}}},$$

при этом $L_{\text{заг}} / L_{\text{пок}} \approx 1, y \approx \delta_{\text{заг}} / \delta_{\text{пок}}$. Получаемые величины будут немного завышены. Раскатку на оправке рассчитывают с помощью специальных таблиц, диаграмм (рис. 7) и формул для протяжки на плоских бойках.

Пример. Определить высоту заготовки под раскатку для поковки с размерами (см. рис. 7): $D_{\text{пок}} = 982$ мм, $d_{\text{пок}} = 822$ мм, $H_{\text{пок}} = 200$ мм, диаметр прошиваемого отверстия $d_{\text{заг}} = 200$ мм.

Требуемая высота заготовки перед раскаткой (с учетом отходов, выраженных через коэффициент 1,05) $H_{\text{заг}} = 1,05KH_{\text{пок}}$.

Коэффициент уширения K по диаграмме на рис. 7 для $\frac{d_{\text{пок}}}{d_{\text{заг}}} = \frac{822}{200} = 4,1$ и

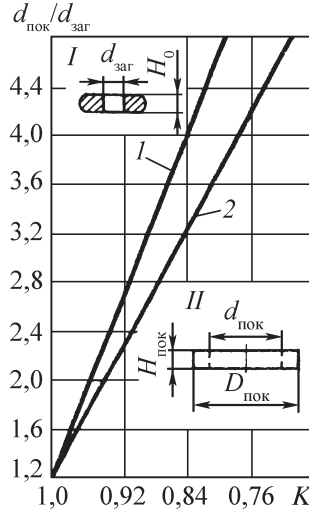


Рис. 7. Определение высоты заготовки перед раскаткой на молотах:

1 — $H_{\text{пок}} / D_{\text{пок}} > 0,3$; 2 — $H_{\text{пок}} / D_{\text{пок}} < 0,3$;
I — эскиз заготовки перед раскаткой; II — эскиз поковки (K — коэффициент уширения)

$$\frac{H_{\text{пок}}}{D_{\text{пок}}} = \frac{200}{982} (< 0,3) \text{ равен } 0,77. \text{ Тогда} \\ H_{\text{заг}} = 1,05 \cdot 0,77 \cdot 200 = 162 \text{ мм.}$$

При раскатке на прессах приближенно определить уширение — коэффициент K — можно по табл. 60.

Выбор молота. Масса падающих частей молота для протяжки может быть определена по формуле

$$G = 1,7 \sqrt{\left(1 + 0,17 \frac{l}{h_{\text{заг}}}\right) \times} \\ \times \sigma_{\text{т}} \varepsilon h_{\text{заг}} b_{\text{заг}} l \cdot 10^{-1}, \quad (2)$$

где G — масса падающих частей, кг; v — коэффициент, учитывающий форму бойков (для плоских $v = 1,0$, для круглых вырезных $v = 1,25$); l — подача, см; $h_{\text{заг}}$, $b_{\text{заг}}$ — высота и ширина заготовки, см (при протяжке круглой заготовки в круглых вырезных бойках принимают $h_{\text{заг}} = b_{\text{заг}} = d_{\text{заг}}$; $d_{\text{заг}}$ — диаметр заготовки, см); $\sigma_{\text{т}}$ — напряжение текуче-

60. Ориентировочные значения коэффициента уширения K при раскатке кольцевых поковок на гидравлических прессах

Наружный диаметр D , мм	Высота поковок $H_{\text{пок}}$, мм										
	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
До 1500	0,70	0,82	0,90	0,93	0,95	0,95	0,95	—	—	—	—
1501...2000	0,60	0,70	0,80	0,85	0,88	0,90	0,92	0,93	0,94	—	—
2001...3000	—	—	—	0,70	0,80	0,85	0,90	0,92	0,93	0,93	0,95

Примечание. Высота заготовки $H_{\text{заг}} = KH_{\text{пок}}$.

сти при температуре протяжки, приближенно равно пределу прочности σ_B при той же температуре, МПа; ε — принимаемая степень деформации за один удар (выше критической для данной стали, но не более $\sim 0,3$).

Пример. Определить массу падающих частей молота для протяжки на плоских бойках ($v = 1$) заготовки из стали с $\sigma_B = 600$ МПа с размерами $h_{\text{заг}} = b_{\text{заг}} = 10$ см при подаче $l = 10$ см и степени деформации за один удар $\varepsilon = 0,1$.

Временное сопротивление стали $\sigma_B = 36$ МПа при температуре 1100°C . Тогда

$$G = 1,7 \left(1 + 0,17 \frac{10}{10} \right) 36 \cdot 0,1 \cdot 10 \times \\ \times 10 \cdot 10 \cdot 10^{-1} \approx 700 \text{ кг.}$$

Массу падающих частей молота дляковки протяжкой, валов с уступами можно определить по диаграмме, приведенной на рис. 8.

В табл. 61 приведены данные для ориентировочного выбора массы падающих частей молота для протяжки конструкционной стали.

Выбор пресса. Сила пресса, необходимая для протяжки, может быть определено по формуле

$$P = v \psi \left(1 + 0,17 \frac{l}{h_{\text{заг}}} \right) \sigma_T b_{\text{заг}} l \cdot 10^{-5},$$

где ψ — масштабный коэффициент; l — подача, мм; $h_{\text{заг}}$, $b_{\text{заг}}$ — соответ-

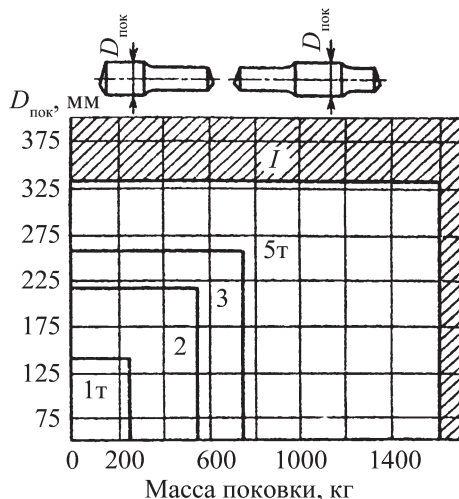


Рис. 8. Диаграмма для выбора массы падающих частей молота при ковке валов с уступами:

I — зона геометрических размеров поковок, изготавливаемых на гидравлических прессах;

1...5 т — масса падающих частей молота

венно высота и ширина заготовки, мм (при протяжке круглой заготовки в круглых вырезных бойках принимают $h_{\text{заг}} = b_{\text{заг}} = d_{\text{заг}}$, где $d_{\text{заг}}$ — диаметр заготовки, мм); остальные обозначения см. в (2).

Пример. Определить силу пресса для протяжки на плоских бойках ($v = 1$) заготовки из стали с $\sigma_B = 600$ МПа с размерами $h_{\text{заг}} = b_{\text{заг}} = 800$ мм при подаче $l = 600$ мм. Временное сопротивление стали при температуре 1000°C $\sigma_B = 36$ МПа.

Принимаем $\psi = 0,75$.

61. Ориентировочная масса падающих частей ковочного молота для протяжки в зависимости от размеров сечения заготовки

Масса падающих частей, кг	Сторона квадрата или диаметр исходной заготовки, мм, для молотов	
	паровоздушных	пневматических
150	—	40/110
250		60/140
400		75/160
500	80/180	80/180
750		—
1000		
1500		
2000		
3000	165/330	
4000	180/370	
5000	200/400	

Примечание. В числителе приведены минимальные значения стороны квадрата или диаметра заготовки, в знаменателе — максимальные.

62. Ориентировочная сила пресса для протяжки в зависимости от размеров слитка

Сила пресса, мм	Диаметр исходного слитка, мм		Сила пресса, мм	Диаметр исходного слитка, мм	
	минимальный	максимальный		минимальный	максимальный
5	200	550	32	1000	1600
8	300	800	40	1200	1900
10	400	900	50	1400	2100
12,5	500	1000	60	1600	2300
16	600	1150	80	1900	2600
20	700	1300	100	2100	2800
25	850	1500			

Тогда

$$P = 1 \cdot 0,75 \left(1 + 0,17 \frac{600}{800} \right) 36 \cdot 800 \times \\ \times 600 \cdot 10^{-5} = 14 \text{ МН.}$$

В табл. 62 приведены данные для ориентировочного выбора силы пресса для протяжки конструкционной стали в зависимости от размеров исходного слитка.

Передача — это смещение одной части заготовки относительно другой при сохранении параллельности осей или плоскостей частей заготовки.

Передача производится плоскими бойками в одной или двух плоскостях. Пережим металла делают обычно на глубину передачи. При передаче в одной плоскости (рис. 9, а) правую боковую грань верхнего бойка устанавливают в одной плоскости (линии переда-

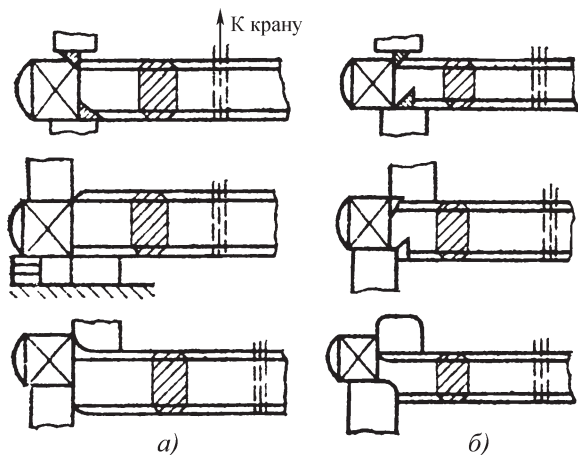


Рис. 9. Передача:

а — в одной плоскости; б — в двух плоскостях

чи) с левой боковой гранью нижнего бойка. При передаче в двух плоскостях (рис. 9, б) после пережима металла левую боковую грань верхнего бойка ставят в одной плоскости с вертикальной стенкой верхнего пережима, а правую боковую поверхность нижнего бойка — в одной плоскости с вертикальной стенкой нижнего пережима. Свободный конец заготовки во время передачи необходимо поддерживать цепью крана или опирать на подставки.

Прошивка — это получение полосей в заготовке за счет вытеснения

материала. Для прошивки применяют прошивни (рис. 10 и 11) сплошные и пустотелые. Диаметр прошивня выбирают примерно равным $1/2$ – $1/3$ наружного диаметра заготовки. Прошивку заготовок выполняют с одной стороны, без поворота на 180° , применяя кольца, аналогичные показанным на рис. 11 для полых прошивней.

Перед прошивкой заготовку осаживают, выравнивая торцы заготовки для точной установки прошивня.

При прошивке применяют смазочный материал, обычно смесь графита с

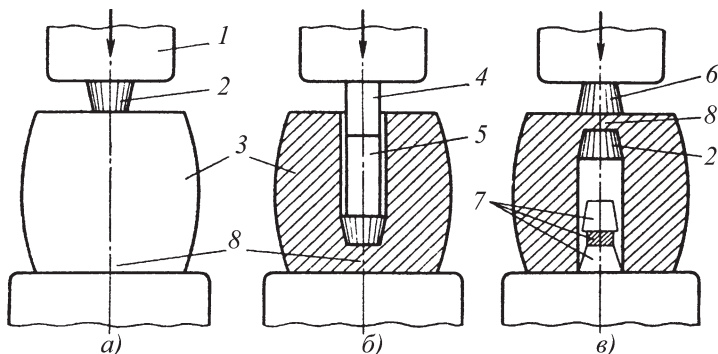


Рис. 10. Схема прошивки без подкладного кольца:

а–в — этапы прошивки; 1 — верхний боек; 2 — сплошной прошивень; 3 — заготовка; 4 и 5 — надставки; 6 — прорезной прошивень; 7 — прошивни и отход металла после прошивки; 8 — прибыльная сторона слитка

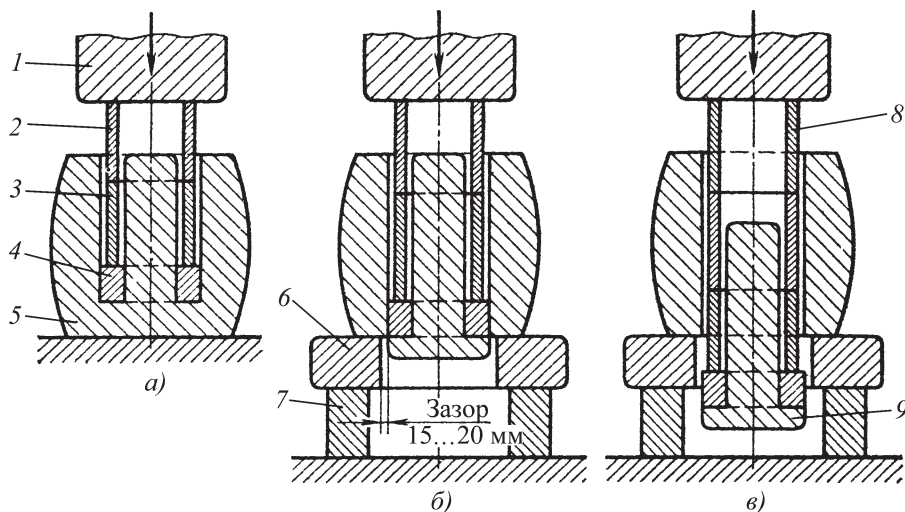


Рис. 11. Схема прошивки пустотелым прошивнем:

a–в — этапы прошивки; 1 — боек; 2, 3, 4, 8 — надставки; 4 — прошивень; 5 — прибыльная сторона слитка; 6 — кольцо; 7 — подставка; 9 — отход металла

мазутом или с машинным маслом, а также толченый уголь, порошкообразный графит или смесь графита с коксом. Для нанесения смазочного материала прошивень вдавливают в металл на глубину 10...30 мм и приподнимают. В образовавшееся углубление помещают смазочный материал и затем осуществляют дальнейшее вдавливание прошивня. Применять смазочный материал следует осторожно, так как при его горении образуются газы, стремящиеся вытолкнуть прошивень из металла.

Поэтому верхний боек не следует поднимать над прошивнем выше расстояния, на которое он углубляется в заготовку.

При высоте заготовки, большей высоты прошивня, используют надставки.

Сила при прошивке сплошным прошивнем

$$P = \frac{\pi d^2}{4} \sigma_T \left(1 + \frac{\mu d}{3h} + \beta \ln \frac{D}{d} \right),$$

где d — диаметр прошивня; μ — коэффициент трения между прошивнем

и заготовкой; h — толщина отхода; $\beta = \frac{2}{\sqrt{3}}$ — коэффициент Лодэ, учиты-

вающий влияние схемы напряженного состояния; D — наружный диаметр заготовки после прошивки.

Схема получения сквозных отверстий в низких ($H/D = 1/3 \dots 1/4$) заготовках на подкладном кольце приведена на рис. 12. В этом случае прошивень устанавливают большим диаметром вниз и заготовку фактически пробивают, т.е. вначале прошивень внедряют в металл на глубину $(0,2 \dots 0,3) H$, а затем

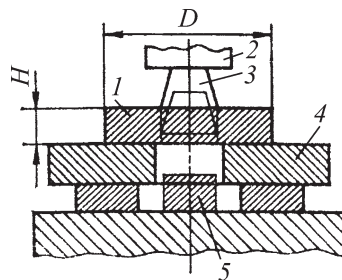


Рис. 12. Прошивка на подкладном кольце:

1 — заготовка; 2 — боек; 3 — прошивень; 4 — кольцо; 5 — отход металла

следует отделение отхода. При этом отход больше, чем при прошивке высокоих заготовок.

Сила прошивки

$$P = (0,7...0,8)\sigma_{\text{в}} \pi d H.$$

Скручивание (рис. 13) — это формирующая операция, при которой осуществляют поворот части заготовки вокруг продольной оси. Скручивание применяют при ковке многоколенных коленчатых валов, крупных сверл, бурильных инструментов и т.п.

Чтобы избежать трещин и разрывов, скручиваемую часть поковки следует гладко и без поверхностных дефектов отковать или обработать на станке с плавными переходами к смежным участкам и равномерно подогреть. При скручивании длина деформируемого участка уменьшается, поэтому для компенсации укорочения по сечению предусматривают некоторый запас металла.

Скручивание производят при помощи рычагов-вилок, поворачивае-

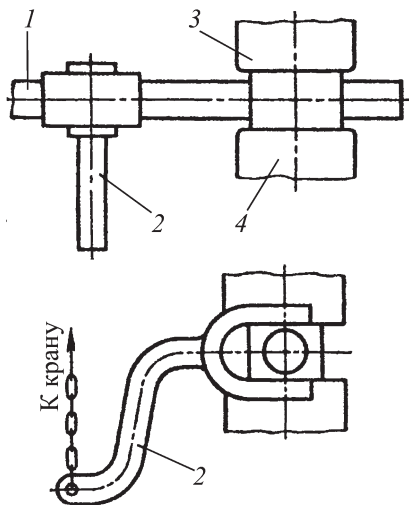


Рис. 13. Схема скручивания:

1 — груз (противовес); 2 — изогнутая вилка;
3 — верхний боек; 4 — нижний боек

мых в зависимости от требуемой силы вручную или с помощью мостовых кранов. Силу, необходимую для кручения цилиндрического участка на любой угол, можно определить по формуле

$$P = \frac{\pi d^3 \sigma_{\text{т}}}{24 l \cos \alpha \cdot 10^3},$$

где d — диаметр в месте кручения, мм; $\sigma_{\text{т}}$ — напряжение текучести металла при температуре закручивания, МПа, приблизительно равное временному сопротивлению $\sigma_{\text{в}}$ при той же температуре; l — длина плеча вилки, мм; α — угол поворота вилки от горизонтальной плоскости.

Отрубка, разрубка (рис. 14). Отрубкой называют процесс полного отделения части заготовки по незамкнутому контуру путем внедрения в заготовку деформирующего инструмента. Разделение заготовки на части по незамкнутому контуру называют разрубкой.

Разрубку поволоков круглого сечения при ковке в комбинированных или вырезных бойках обычно производят с трех сторон. Топор устанавливают на середине бойка и поковку прорубают за центром сечения. После поворота поковки на 120° тем же топором производят еще одну разрубку на ту же глубину; оставшийся участок отрубают с третьей стороны коротким трапециевидным топором. При разрубке в вырезных бойках применяют специальные топоры или накладки (рис. 15).

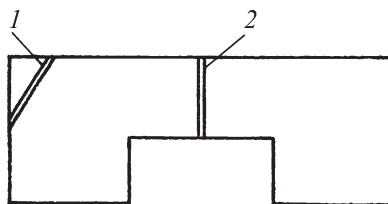


Рис. 14. Отрубка (1) и разрубка (2)

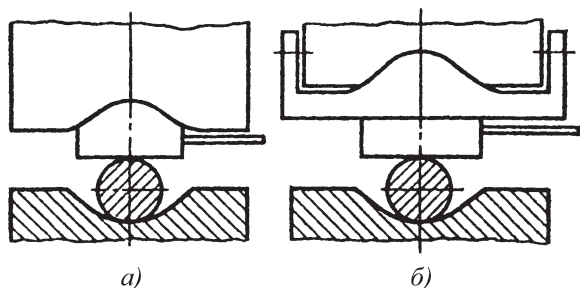


Рис. 15. Разрубка с вырезным бойком:

а — специальным топором; б — с помощью накладки

Разрубку крупных поковок под прессом с выдвижным столом можно производить высоким топором в одном направлении. Для этого топором или трехгранником предварительно делают круговую зарубку. Далее нижний боек отводят в сторону так, чтобы его боковая плоскость находилась под серединой верхнего бойка, устанавливают топор и нажимом верхнего бойка поковку прорубают до отделения металла. Если высота топора недостаточна, применяют надставки (квадраты).

При ковке на плоских бойках разрубку ведут с двух или четырех сторон. Высоким топором поковку с одной стороны прорубают на глубину несколько меньшую высоты сечения, затем поворачивают ее на 180° и производят окончательную разрубку квадратом — просечкой, что исключает образование заусенца. Поковки большого сечения при

отсутствии высоких топоров сначала надрубают глубже середины с одной стороны, поворачивают на 180° и тем же топором отрубляют остальную часть сечения.

Разрубку с четырех сторон применяют для крупных поковок и поковок, у которых торцы не подвергают в дальнейшем обработке резанием. При таком способе после надрубки топорами по двум длинным сторонам поковку поворачивают на 90° и разрубают с двух других сторон двумя квадратами, устанавливая один из них на нижнем бойке. После поворота еще на 90° топором делают окончательную разрубку.

Топор, внедряясь в металл, образует скосы, поэтому в местах отрубки предусматривают запас металла, который затем сглаживают бойками или раскатками. При разрубке крупных заготовок на прессах рекомендуется применять топоры с противовесом (рис. 16).

Гибкой называют образование или изменение углов между частями заготовки или придание ей криволинейной формы.

При гибке изменяется форма поперечного сечения заготовки за счет растяжения (утяжки) наружных и сжатия внутренних слоев металла. Растяжение происходит выше нейтрального слоя, сжатие, иногда с образованием складок, — ниже этого слоя и тем больше, чем меньше радиус закругления и больше угол загиба. Поэтому в необходимых случаях для получения одинакового сечения по всей длине предусматривают утолщение в изгибаемых местах. Длину заготовки для поковки, изготавливаемой гибкой из полосы, можно рассчитать следующим образом:

1) если внутренний радиус равен или больше $1/2$ толщины заготовки, то длину последней вычисляют по средней линии поковки (прямые участки плюс длина кривых изгиба в углах);

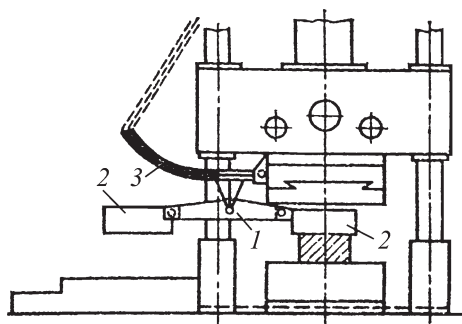


Рис. 16. Разрубка топором с противовесом:

1 — державка; 2 — топоры; 3 — монорельс

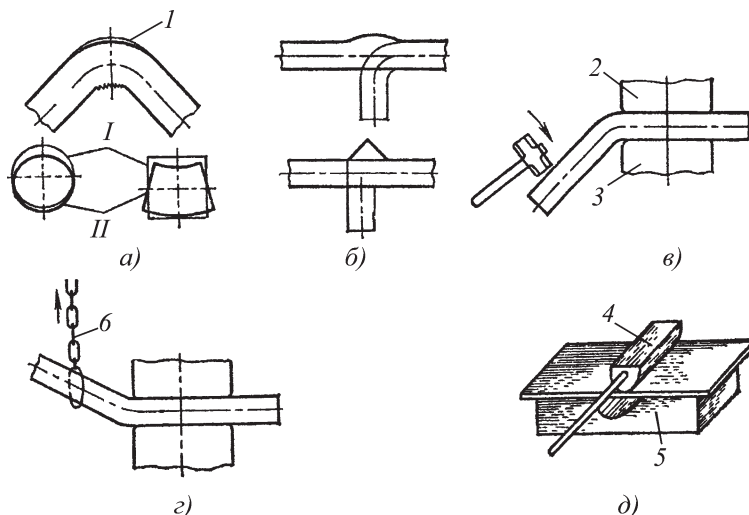


Рис. 17. Гибка:

a — искажение формы поперечного сечения; *б* — усиление места гибки; *в* — гибка заготовок кувалдой; *г* — гибка раскаткой в подкладном штампе; *д* — искажение формы сечения; *2* — верхний боек; *3* — нижний боек; *4* — раскатка; *5* — штамп; *6* — кран; *I* — форма сечения заготовки до гибки; *II* — форма сечения поковки после гибки

2) если внутренний радиус меньше $1/2$ толщины заготовки, то ее длину определяют как сумму прямоугольных участков с добавлением $1/4$ толщины полосы (или диаметра) на каждый угол изгиба.

К полученной длине прибавляют до трех толщин исходной заготовки на обрезку концов после гибки в зависимости от способа разрезки металла и последующей обработки концов.

Наиболее распространенные и простые приемы гибки: ручная при помощи вилки, с помощью крана, в штампе, на плите со штырями при помощи рычага (рис. 17).

Правкой называют устранение искажений формы заготовки путем пластического деформирования.

Необходимость правки поковок вызывается обычно следующими нарушениями технологического процесса:

несоблюдением прямолинейности в концековки;

прогибом в процессе длительного пребывания в печах при отсутствии

или редкой (более 0,5 м) укладке прокладок;

прогибом от неравномерного по сечению охлаждения поковок (например, при укладке горячей поковки на колодные плиты, сырой пол);

прогибом из-за небрежной передачи поковок на стеллажи охлаждения или укладки;

короблением (поводкой) при термообработке из-за несовершенства процесса нагрева или охлаждения.

Для исправления кривизны с целью упрощения процесса стремятся применять холодную правку. Однако холодную правку не всегда можно допускать.

Холодноправленные поковки легко изменяют свою форму, особенно если на них действуют нагрузки, противоположные по знаку тем, которые были применены при правке. В процессе эксплуатации они могут изгибаться при нагрузках значительно меньших, чем расчетные. Поэтому целесообразно производить высокий

отпуск порядка 680...700 °С или же выполнять правку в нагретом состоянии при тех же температурах. Холодная правка вызывает в металле наклеп, который при последующей термической обработке может привести к образованию зон с укрупненным зерном, что ухудшит качество детали. Для ответственных деталей, эксплуатирующихся при знакопеременных нагрузках и устанавливающихся на изделие без механической обработки, вредной является холодная правка вручную при помощи удара кувалдой или тяжелым молотком, дающим местные вмятины.

Для правки технологически неизбежных искривлений поковок или деталей применяют рихтовальные станки различных конструкций.

При правке на прессах в качестве инструмента применяют правильные плиты (снизу) и плоский боек (сверху) несколько большей ширины, чем боек, применяемый дляковки. Для повышения эффекта правки используют прокладки толщиной 8...10 мм. Расстояние между ними меняют в зависимости от размеров поковки и величины искривления. Наименьшая высота прокладок обеспечивает безопасность работы, исключая их вылетание из-под поковки. Расположение прокладки под кромками поковки не допускается.

3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Основными этапами разработки технологического процессаковки являются:

составление чертежа поковки с назначением припусков, допусков и напусков и определение массы поковки;

определение массы и размеров заготовки, установление необходимой уков-

ки и выбор слитка или проката на заготовку;

выбор основных, вспомогательных и отделочных кузнечных операций и их последовательности, а также основного и вспомогательного инструмента и приспособлений;

выбор кузнечного оборудования необходимой мощности и габаритных размеров;

установление режимов нагрева и охлаждения поковки, типов и размеров нагревательных устройств;

определение состава обслуживающего персонала и норм времени наковку;

разработка мероприятий по организации рабочего места и охраны труда.

Чертеж поковки составляют на основании чертежа готовой детали или чертежа обработанной поковки, поставляемой заказчику; при этом устанавливают припуски на обработку резанием, допуски наковку и при необходимости напуски на поковку.

На рис. 18 показана схема расположения припусков и допусков на поковке.

Контур поковки вычерчивают сплошными контурными линиями по номинальным размерам. Габаритный контур готовой детали или заготовки после обработки резанием вычерчивают на чертеже поковки тонкими линиями.

Цифры без скобок над размерной линией обозначают номинальные размеры, цифры в скобках под размерной линией — номинальные размеры детали или обдирочные размеры заготовки, если последняя непосредственно после обдирки подвергается термической обработке; цифрами со знаками плюс и минус, расположенными справа от номинального размера поковки, указывают соответ-

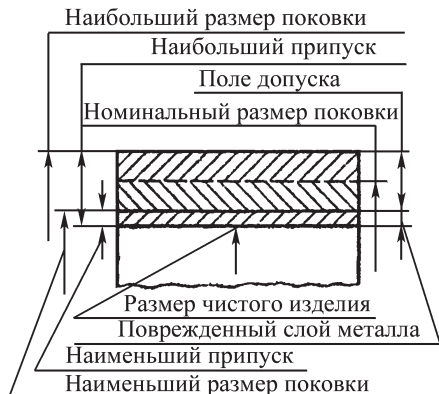


Рис. 18. Схема расположения припусков и допусков на поковке

ственно величины верхнего (положительного) или нижнего (отрицательного) отклонения.

Припуски на обработку и допуски на ковку, а также условия образования уступов, выемок, фланцев, буртов регламентированы ГОСТ 7829–70* для поковок, изготавливаемых под молотами, и ГОСТ 7062–90 для прессовых поковок массой до 100 т.

ГОСТами предусмотрены припуски и допуски для поковок различной формы, изготавливаемых из углеродистой и легированной сталей.

Примеры назначения припусков и допусков на детали круглого и прямоугольного поперечных сече-

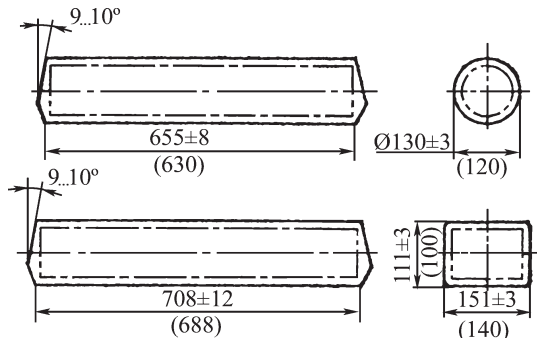


Рис. 19. Примеры назначения припусков и допусков на поковки, получаемые на молотах

ний типа валов и брусков показаны на рис. 19.

Пример чертежа поковки круглого сечения с уступами и выемками, выполненного в соответствии с ГОСТ 7062–90 из стали 35, приведен на рис. 20.

На чертеже всегда проставляется общая длина поковки. В поковках типа вала длину элемента, который куют последним (элемент диаметром 380 ± 9 мм на рис. 20), не проставляют, а определяют расчетным путем. Размеры поковок типа вала с уступами проставляют от базового сечения, являющегося торцом участка с наибольшим диаметром (правый торец участка диаметром 740 ± 11 мм).

Припуски и допуски на поковки из высоколегированных сталей и сплавов

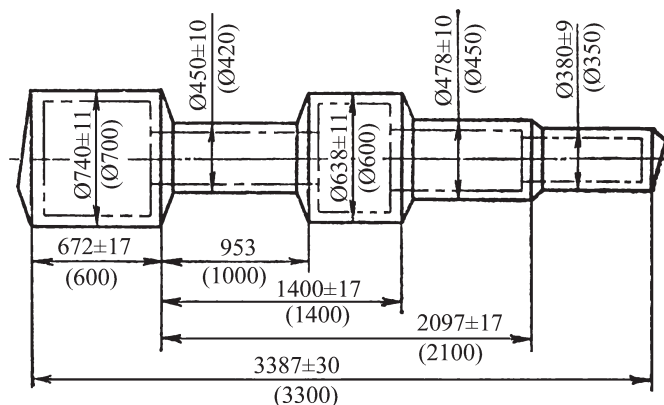


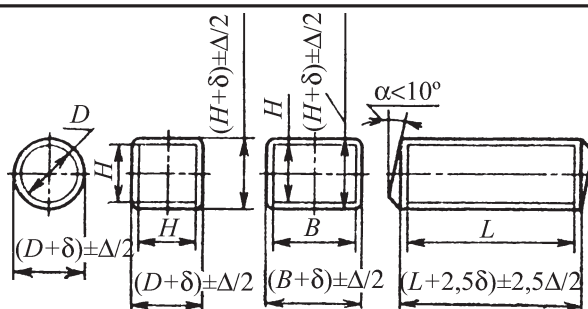
Рис. 20. Пример чертежа поковки круглого сечения с уступами и выемками, полученной ковкой на прессе

цветных металлов назначают по заводским и ведомственным нормам. Припуски и допуски на поковки из углеродистой стали, если их масса больше 100 т, также назначают по нормам.

Кроме припусков и допусков, оговоренных ГОСТ 7829–70* и ГОСТ 7062–90, есть припуски на пробы для различных испытаний и контроля макроструктуры, а также припуски под захваты для подвешивания поковок при термообработке. Как правило, их назначают на концевые части поковок,

обращенные к прибыльной части слитков. На длину пробы назначают напуск, величина которого равна ширине проточки при отрезке пробы. Так, при ковке на прессе и молоте длина пробы (припуск на пробу) равна 200 мм. Участок поковки под пробы выполняют диаметром, равным диаметру концевой части поковки, но не более 250 мм. Припуски и допуски для ряда типовых поковок из углеродистой и легированной сталей, изготавливаемых свободной ковкой на молотах и прессах, приведены в табл. 63–73.

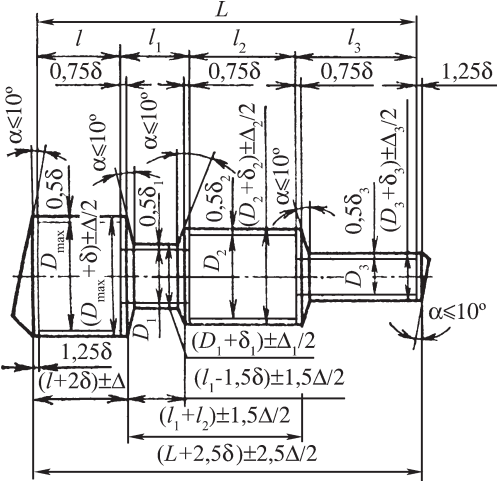
63. Припуски и предельные отклонения размеров для гладких поковок круглого, квадратного и прямоугольного сечений, изготавливаемых ковкой на молотах



Размеры, мм

Длина детали L	Диаметр детали D и размер сечения B, H								
	до 50	св. 50 до 70	св. 70 до 90	св. 90 до 120	св. 120 до 160	св. 160 до 200	св. 200 до 250	св. 250 до 300	св. 300 до 360
	Припуски ($\delta, \delta_1, \delta_2, \delta_3$) и предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}, \pm \frac{\Delta_1}{2}, \pm \frac{\Delta_2}{2}, \pm \frac{\Delta_3}{2}\right)$								
До 250	5±2	6±2	7±2	8±3	9±3	—	—	—	—
Св. 250 до 500	6±2	7±2	8±2	9±3	10±3	11±3	12±3	13±4	14±4
» 500 » 800	7±2	8±2	9±3	10±3	11±3	12±3	13±4	14±4	15±4
» 800 » 1200	8±2	9±3	10±3	11±3	12±3	13±4	14±4	15±4	16±4
» 1200 » 1700	—	10±3	11±3	12±4	13±4	14±4	15±4	16±5	17±5
» 1700 » 2300	—	11±3	12±3	13±4	14±4	15±4	16±5	17±5	18±5
» 2300 » 3000	—	—	13±4	14±4	15±4	16±5	17±5	18±5	19±5
» 3000 » 4000	—	—	—	15±5	16±5	17±5	18±5	19±5	20±6
» 4000 » 5000	—	—	—	16±5	17±5	18±5	19±5	20±6	21±6
» 5000 » 6000	—	—	—	—	18±5	19±5	20±6	21±6	22±6

64. Дополнительные припуски *S* для поковок круглого и квадратного сечений с уступами, изготавливаемых ковкой на молотах

 <p>Размеры, мм</p>	Дополнительный припуск на диаметр (размер)	Разность диаметров (размеров) наибольшего и рассматриваемого сечений	Дополнительный припуск на диаметр (размер)	Разность диаметров (размеров) наибольшего и рассматриваемого сечений
	3	До 40	7	Св. 120
	4	Св. 40 до 80	8	до 140 Св. 140
	5	Св. 80 до 100	9	до 160 Св. 160
	6	Св. 100 до 120	10	до 180 Св. 180

Примечание. По табл. 63 назначают основные припуски и предельные отклонения размеров на диаметры, общую длину и размеры от единой базы до выступов и уступов, исходя из полной длины вала и рассматриваемого сечения. За базу выбирают торец выступа наибольшего диаметра. Затем назначают по табл. 64 дополнительный припуск на диаметры всех сечений, кроме основного.

Во избежание перерезывания волокон металла при обработке резанием необходимо, чтобы контур поковки максимально соответствовал контуру детали. Количество уступов и выемок на поковке зависит от возможности их выполнения при ковке, а также от наличия соответствующего инструмента и количества однотипных поковок. Для небольшого числа поковок изготовление специального инструмента иногда обходится дороже, чем потери металла на напуски и на увеличение объема обработки резанием.

Образование уступов практически возможно при ковке только при определенной разнице диаметров выступа и уступа и достаточной длине последнего. Ковка коротких уступов с малой высотой выступа экономически нецелесообразна.

Уступы и выемки не обжимают, если разность их диаметров и диаметров прилегающих участков меньше определенной величины и если они малой длины, хотя указанная разность диаметров достаточная. Промежуточные уступы обжимают при меньшей разности их диаметров и диаметров прилегающих участков, а также при меньшей их длине по сравнению с диаметрами и длиной выемок и концевых уступов.

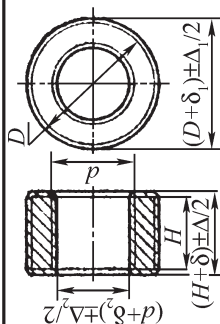
На рис. 21–23 приведены графики для определения наименьших длин буртов, уступов и выемок. При определении наименьшей высоты выступов h_1, h_2, h_5 и h_6 (см. рис. 21) и глубины выемок h_3 и h_4 исходят из общей длины поковки $L_{\text{пок}}$ и диаметров выступа D_2, D_3, D_4, D_5, D_6 (или H_2, H_3), прилегающего к уступу. Например, при определении наименьшей высоты

Окончание табл. 65

Диаметр детали <i>D</i> или размер сечения <i>L, B</i>	Размеры детали, на которые назначаются припуски и предельные отклонения	Высота <i>H</i> детали										
		св. 50 до 50	св. 50 до 65	св. 65 до 80	св. 80 до 100	св. 100 до 125	св. 125 до 150	св. 150 до 180	св. 180 до 215	св. 215 до 250	св. 250 до 300	св. 300 до 360
		Припуски (δ ; δ_1, δ_2) и предельные отклонения ($\pm \frac{\Delta}{2}, \pm \frac{\Delta_1}{2}, \pm \frac{\Delta_2}{2}$)										
Св. 110 до 150	<i>H</i>	7±2	8±2	8±2	9±2	10±3	11±3	12±3	13±4	14±5	—	—
	<i>D, L, B</i>	9±2	9±2	10±3	11±3	11±3	12±4	13±4	14±5	14±5	—	—
	<i>d</i>	15±2	16±2	16±2	17±3	17±3	18±4	19±4	20±5	20±5	—	—
Св. 150 до 200	<i>H</i>	7±2	8±2	8±2	9±2	10±3	11±3	12±3	13±4	14±5	15±5	—
	<i>D, L, B</i>	10±3	10±3	11±3	12±4	12±4	13±4	13±4	14±4	14±4	15±5	—
	<i>d</i>	16±3	17±3	17±3	18±4	18±4	19±4	19±4	20±5	21±5	22±5	—
Св. 200 до 250	<i>H</i>	8±3	9±3	9±3	10±3	11±4	12±4	13±4	14±5	15±6	16±6	17±6
	<i>D, L, B</i>	11±3	11±3	12±3	13±4	13±4	14±4	14±4	15±5	16±6	17±6	18±6
	<i>d</i>	17±3	18±3	18±3	19±4	19±4	20±5	20±5	21±5	22±6	23±6	24±6
Св. 250 до 300	<i>H</i>	9±3	10±3	10±3	11±3	12±4	13±4	14±4	15±5	16±6	17±6	18±6
	<i>D, L, B</i>	12±4	12±4	13±4	14±4	14±4	15±5	15±5	16±6	17±7	18±7	19±7
	<i>d</i>	18±4	19±4	19±4	20±5	20±5	21±5	21±5	22±6	23±7	24±7	25±7
Св. 300 до 360	<i>H</i>	9±3	10±3	10±3	11±3	12±4	13±4	14±4	15±5	16±6	17±6	18±6
	<i>D, L, B</i>	13±4	13±4	14±4	15±5	15±5	16±6	16±6	17±6	18±7	19±7	20±7
	<i>d</i>	19±4	20±4	20±4	21±5	21±5	22±5	22±5	23±6	24±7	25±7	26±7
Св. 360 до 420	<i>H</i>	10±3	11±4	11±4	12±4	13±5	14±5	15±5	16±6	17±7	18±7	19±7
	<i>D, L, B</i>	14±5	14±5	15±5	16±6	16±6	17±6	17±6	18±7	19±8	20±8	21±8
	<i>d</i>	20±5	21±5	21±5	22±6	22±6	23±6	23±6	24±7	25±8	26±8	27±8
Св. 425 до 485	<i>H</i>	10±3	11±4	11±4	12±4	13±5	14±5	15±5	16±6	17±7	18±7	19±7
	<i>D, L, B</i>	15±5	15±5	16±5	17±6	17±6	18±6	18±6	19±7	20±8	21±8	22±8
	<i>d</i>	21±5	22±5	22±5	23±6	23±6	24±6	24±6	25±7	26±8	27±8	28±8

Св. 485 до 550	H	—	12±4	12±4	12±4	13±4	14±5	15±5	16±5	17±6	18±7	19±7	20±7
	D, L, B	—	16±6	17±6	18±7	18±7	18±7	19±7	19±7	20±8	21±8	22±9	23±9
	d	—	23±6	23±6	24±7	24±7	24±7	25±7	25±7	26±8	27±9	28±9	29±9
Св. 550 до 620	H	—	13±5	13±5	14±5	14±5	15±6	16±6	17±7	18±7	19±8	20±8	21±8
	D, L, B	—	17±6	18±6	19±7	19±7	19±7	20±7	20±7	21±8	22±9	23±9	24±9
	d	—	24±6	24±6	25±7	25±7	25±7	26±7	26±7	27±8	28±9	29±9	30±9
Св. 620 до 700	H	—	14±6	14±6	15±6	15±6	16±7	17±7	18±8	19±8	20±9	—	—
	D, L, B	—	18±7	19±7	20±8	20±8	20±8	21±8	21±8	22±9	23±10	—	—
	d	—	25±7	25±7	26±8	26±8	26±8	27±8	27±8	28±9	29±10	—	—

66. Припуски и предельные отклонения размеров для поковок типа раскатных колес, изготавливаемых ковкой на молотах



Диаметр детали D	Размеры детали, на которые назначаются припуски и предельные отклонения	Размеры, мм											
		Высота H детали											
		до 50	св. 50 до 65	св. 65 до 80	св. 80 до 100	св. 100 до 125	св. 125 до 150	св. 150 до 180	св. 180 до 215	св. 215 до 250	св. 250 до 300	св. 300 до 360	
До 110	H	6±2	7±2	8±3	9±3	10±3	—	—	—	—	—	—	—
	D	9±3	10±3	11±3	12±4	12±4	—	—	—	—	—	—	—
	d	12±3	13±3	14±3	15±4	15±4	—	—	—	—	—	—	—
Св. 110 до 150	H	7±2	8±2	9±3	10±3	11±4	12±4	—	—	—	—	—	—
	D	10±3	11±3	12±4	13±4	14±4	—	—	—	—	—	—	—
	d	13±3	14±3	15±4	16±4	17±4	—	—	—	—	—	—	—

Припуски ($\delta, \delta_1, \delta_2$) и предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}, \pm \frac{\Delta_1}{2}, \pm \frac{\Delta_2}{2} \right)$

Продолжение табл. 66

Диаметр детали <i>D</i>	Размеры детали, на которые назнача- ются припуски и пре- дельные отклонения	Высота <i>H</i> детали										
		до 50	св. 50 до 65	св. 65 до 80	св. 80 до 100	св. 100 до 125	св. 125 до 150	св. 150 до 180	св. 180 до 215	св. 215 до 250	св. 250 до 300	св. 300 до 360
		Припуски (δ , δ_1 , δ_2) и предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}, \pm \frac{\Delta_1}{2}, \pm \frac{\Delta_2}{2}\right)$										
Св. 150 до 200	<i>H</i>	7±2	8±2	9±3	10±3	11±4	12±4	13±5	14±5	—	—	—
	<i>D</i>	11±3	12±3	12±3	13±4	13±4	14±4	15±5	16±6	—	—	—
	<i>d</i> при <i>D</i> — <i>d</i> до 50	14±3	15±3	15±3	16±4	16±4	17±4	18±5	19±5	—	—	—
	св. 50 до 100	15±3	16±3	16±3	17±4	17±4	18±4	19±5	20±5	—	—	—
Св. 200 до 250	<i>H</i>	7±2	8±2	9±3	10±3	11±4	12±4	13±5	14±5	15±6	±	±
	<i>D</i>	11±3	12±3	13±4	14±4	14±4	15±4	16±5	17±5	18±6	—	—
	<i>d</i> при <i>D</i> — <i>d</i> До 50	14±3	15±3	16±4	17±4	17±4	18±4	19±5	20±5	21±6	—	—
	Св. 50 до 125	15±3	16±3	17±4	18±4	18±4	19±4	20±5	21±5	22±6	—	—
Св. 250 до 300	<i>H</i>	8±2	9±2	10±2	11±3	12±4	13±4	14±5	15±5	16±6	17±6	—
	<i>D</i>	12±3	13±4	14±4	15±5	15±5	16±5	17±6	18±6	19±6	20±6	—
	<i>d</i> при <i>D</i> — <i>d</i> До 50	15±3	16±4	17±4	18±5	18±5	19±5	20±6	21±6	22±6	23±6	—
	Св. 50 до 125 » 125 » 150	16±3	17±4	18±4	19±5	19±5	20±5	21±6	22±6	23±6	24±6	—
Св. 300 до 360	<i>H</i>	9±3	10±3	11±4	12±4	13±5	14±5	15±5	16±6	17±6	18±7	19±7
	<i>D</i>	13±4	14±4	15±5	16±5	16±6	17±6	18±6	19±6	20±7	21±7	22±7
	<i>d</i> при <i>D</i> — <i>d</i> До 50	16±4	17±4	18±5	19±5	19±6	20±6	21±6	22±6	23±7	24±7	25±7
	Св. 50 до 125 » 125 » 180	17±4	18±4	19±5	20±5	20±6	21±6	22±6	23±6	24±7	25±7	26±7
		18±4	19±4	20±5	21±5	21±6	22±6	23±6	24±6	25±7	26±7	27±7

Св. 360 до 420	H D d при $D - d$ До 50 Св. 50 до 125 » 125 » 215	10±4	11±4	12±4	13±5	14±5	15±5	16±6	17±7	18±7	19±7	20±8
		14±5	15±5	16±8	17±6	17±6	18±6	19±7	20±7	21±7	22±7	23±7
		17±5	18±5	19±5	20±6	20±6	21±6	21±6	23±7	24±7	25±7	26±7
		18±5	19±5	20±5	21±6	21±6	22±6	23±6	24±7	25±7	26±7	27±7
Св. 420 до 485	H D d при $D - d$ До 50 Св. 50 до 125 » 125 » 250	19±5	20±5	21±5	22±6	22±6	23±6	24±7	25±7	26±7	27±7	28±7
		10±4	11±4	12±4	13±5	14±5	15±6	16±6	17±7	18±7	19±7	20±8
		15±6	16±6	17±6	18±6	18±6	19±7	20±7	21±7	22±8	23±8	24±8
		18±6	19±6	20±6	21±6	21±6	22±7	23±7	24±7	25±8	26±8	27±8
Св. 485 до 550	H D d при $D - d$ До 50 Св. 50 до 125 » 125 » 250	19±6	20±6	21±6	22±6	23±6	24±7	25±7	26±7	27±8	28±8	29±8
		19±6	20±6	21±6	22±6	23±6	24±7	25±7	26±7	27±8	28±8	29±8
		20±6	21±6	22±6	23±6	23±6	24±7	25±7	26±7	27±8	28±8	29±8
		11±4	12±4	13±4	14±5	15±5	16±6	17±6	18±7	19±7	20±8	21±8
Св. 550 до 620	H D d при $D - d$ До 50 Св. 50 до 125 » 125 » 250 » 250 » 310	16±6	17±6	18±7	19±7	19±7	20±7	21±8	22±8	23±8	24±8	25±8
		19±6	20±6	21±7	22±7	22±7	23±7	24±7	25±8	26±8	27±8	28±8
		20±6	21±6	22±7	23±7	23±7	24±7	25±7	26±8	27±8	28±8	29±9
		21±6	22±6	23±7	24±7	24±7	25±7	26±7	27±8	28±8	29±8	30±8
	H D d при $D - d$ До 50 Св. 50 до 125 » 125 » 250 » 250 » 310	11±4	12±4	13±4	14±5	15±5	16±6	17±6	18±7	19±7	20±8	21±8
		17±7	18±7	19±7	20±7	20±7	21±8	22±8	23±8	24±9	25±9	26±9
		20±7	21±7	22±7	23±7	23±7	24±8	25±8	26±8	27±9	28±9	29±9
		21±7	22±7	23±7	24±7	24±7	25±8	26±8	27±8	28±9	29±9	30±9
	H D d при $D - d$ До 50 Св. 50 до 125 » 125 » 250 » 250 » 310	22±7	23±7	24±7	25±7	25±7	26±8	27±8	28±8	29±9	30±9	31±9
		23±7	24±7	25±7	26±7	26±7	27±8	28±8	29±8	30±9	31±9	32±9
		24±7	25±7	26±7	27±7	27±7	28±8	29±8	30±8	31±9	32±9	33±9
		25±7	26±7	27±7	28±7	28±7	29±8	30±8	31±8	32±9	33±9	34±9

Окончание табл. 66

Диаметр детали <i>D</i>	Размеры детали, на которые назнача- ются припуски и пре- дельные отклонения	Высота <i>H</i> детали										
		до 50	св. 50 до 65	св. 65 до 80	св. 80 до 100	св. 100 до 125	св. 125 до 150	св. 150 до 180	св. 180 до 215	св. 215 до 250	св. 250 до 300	св. 300 до 360
		Припуски (δ , δ_1 , δ_2) и предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}, \pm \frac{\Delta_1}{2}, \pm \frac{\Delta_2}{2}\right)$										
Св. 620 до 690	<i>H</i>	12±5	13±5	14±5	15±6	16±6	17±7	18±7	19±8	20±8	21±8	22±8
	<i>D</i>	18±8	19±8	20±8	21±8	21±8	22±8	22±8	23±8	24±9	25±9	26±9
	<i>d</i> при <i>D</i> — <i>d</i> До 50	21±8	22±8	23±8	24±8	24±8	25±8	25±8	26±8	27±9	28±9	29±9
	Св. 50 до 125	22±8	23±8	24±8	25±8	25±8	26±8	26±8	27±8	28±9	29±9	30±9
	» 125 » 250	23±8	24±8	25±8	26±8	26±8	27±8	27±8	28±8	29±9	30±9	31±9
Св. 690 до 765	<i>H</i>	24±8	25±8	26±8	27±8	27±8	28±8	28±8	29±8	30±9	31±9	32±9
	<i>D</i>	—	13±5	14±5	15±6	16±6	17±7	18±7	19±8	20±8	21±8	22±9
	<i>d</i> при <i>D</i> — <i>d</i> До 50	—	20±8	21±9	22±9	22±9	23±9	23±9	24±9	25±9	26±9	27±9
	Св. 50 до 125	—	23±8	24±9	25±9	25±9	26±9	26±9	27±9	28±9	29±9	30±9
	» 125 » 250	—	24±8	25±9	26±9	26±9	27±9	27±9	28±9	29±9	30±9	31±9
Св. 765 до 840	<i>H</i>	—	26±8	27±9	28±9	28±9	29±9	29±9	30±9	31±9	32±9	33±9
	<i>D</i>	—	14±5	15±5	16±6	17±6	18±7	19±7	20±8	21±8	22±9	23±9
	<i>d</i> при <i>D</i> — <i>d</i> До 50	—	21±9	22±9	23±9	23±9	24±9	24±9	25±9	26±10	27±10	28±10
	Св. 50 до 125	—	24±9	25±9	26±9	26±9	27±9	27±9	28±9	29±10	30±10	31±10
	» 125 » 250	—	25±9	26±9	27±9	27±9	28±9	28±9	29±9	30±10	31±10	32±10
	<i>H</i>	—	26±9	27±9	28±9	28±9	29±9	29±9	30±10	31±10	32±10	33±10
	<i>D</i>	—	27±9	28±9	29±9	29±9	30±9	30±9	31±9	32±10	33±10	34±11
	<i>d</i> при <i>D</i> — <i>d</i> До 50	—	28±9	29±9	30±9	30±9	31±9	31±9	32±10	33±10	34±11	35±12
	Св. 50 до 125	—	30±10	31±10	32±10	32±10	33±10	33±10	34±11	35±12	36±13	37±14
	» 125 » 250	—	32±10	33±10	34±11	34±11	35±12	35±12	36±13	37±14	38±15	39±16

Св. 840 до 920	H	—	15±6	16±6	17±7	18±7	19±8	20±8	21±9	22±9	23±9	—
	D	—	22±10	23±10	24±10	24±10	25±10	25±10	26±10	27±11	28±11	—
	d при $D - d$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	До 50	—	25±10	26±10	27±10	27±10	28±10	28±10	29±10	30±11	31±11	—
	Св. 50 до 125	—	26±10	27±10	28±10	28±10	29±10	29±10	30±10	31±11	32±11	—
Св. 920 до 1000	» 125 » 250	—	27±10	28±10	29±10	29±10	30±10	30±10	31±10	32±11	33±11	—
	» 250 » 400	—	28±10	29±10	30±10	30±10	31±10	31±10	32±10	33±11	34±11	—
	H	—	—	17±7	18±8	19±8	20±8	21±9	22±10	23±10	24±10	—
	D	—	—	24±11	25±11	25±11	26±11	26±11	27±11	28±11	29±11	—
	d при $D - d$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Св. 1000 до 1085	До 50	—	—	27±11	28±11	28±11	29±11	29±11	30±11	31±11	32±11	—
	Св. 50 до 125	—	—	28±11	29±11	29±11	30±11	30±11	31±11	32±11	33±11	—
	» 125 » 250	—	—	29±11	30±11	30±11	31±11	31±11	32±11	33±11	34±11	—
	» 250 » 400	—	—	30±11	31±11	31±11	32±11	32±11	33±11	34±11	35±11	—
	H	—	—	18±8	19±9	20±9	21±9	22±10	23±10	24±10	—	—
Св. 1085 до 1200	D	—	—	25±11	26±11	26±11	27±11	27±11	28±11	29±12	—	—
	d при $D - d$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	До 50	—	—	28±11	29±11	29±11	30±11	30±11	31±11	32±12	—	—
	Св. 50 до 125	—	—	29±11	30±11	30±11	31±11	31±11	32±11	33±12	—	—
	» 125 » 250	—	—	30±11	31±11	31±11	32±11	32±11	33±11	34±12	—	—
Св. 1200 до 1285	» 250 » 400	—	—	31±11	32±11	32±11	33±11	33±11	34±11	35±12	—	—
	H	—	—	—	20±9	21±9	22±10	23±10	24±11	25±11	—	—
	D	—	—	—	27±12	27±12	28±12	28±12	29±12	30±12	—	—
	d при $D - d$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	До 50	—	—	—	30±12	30±12	31±12	31±12	32±12	33±12	—	—
Св. 1285 до 1400	Св. 50 до 125	—	—	—	31±12	31±12	32±12	32±12	33±12	34±12	—	—
	» 125 » 250	—	—	—	32±12	32±12	33±12	33±12	34±12	35±12	—	—
	» 250 » 400	—	—	—	33±12	33±12	34±12	34±12	35±12	36±12	—	—
	H	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	D	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

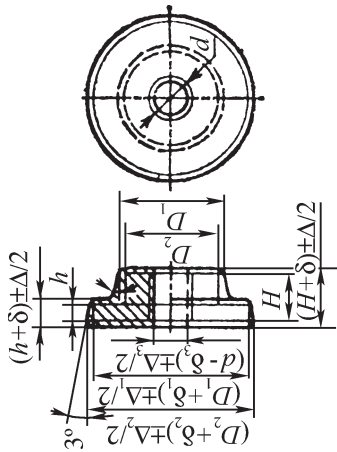
Примечание. В отверстия дополнительно к припускам допускается конусность 1 : 20.

67. Припуски и предельные отклонения размеров для поковок типа цилиндров с отверстием, изготавливаемых ковкой на молотах

Высота детали H	Наружный диаметр детали D	Припуски ($\delta, \delta_1, \delta_2$) и предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}, \pm \frac{\Delta_1}{2}, \pm \frac{\Delta_2}{2} \right)$			Высота детали H	Наружный диаметр детали D	Припуски ($\delta, \delta_1, \delta_2$) и предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}, \pm \frac{\Delta_1}{2}, \pm \frac{\Delta_2}{2} \right)$		
		на высоту H	на наружный диаметр D	на внутренний диаметр d			на высоту H	на наружный диаметр D	на внутренний диаметр d
До 80	До 80	13±4	12±3	17±3	Св. 80 до 100	Св. 120 до 150	18±6	15±5	20±5
		14±5	12±3	17±3			18±6	16±5	21±5
Св. 80 до 100	Св. 80 до 100	14±5	13±4	18±4	Св. 100 до 125	Св. 145 до 180	18±6	17±6	22±6
		15±6	13±4	18±4			19±7	16±5	21±5
Св. 100 до 125	Св. 80 до 100 » » 100 » 125	15±6	14±4	19±4	Св. 125 до 150	Св. 180 » 215	19±7	17±6	22±6
		16±6	14±4	19±4			19±7	18±6	23±6
Св. 125 до 150	Св. 80 до 125 » » 125 » 150	16±6	15±5	20±5	Св. 150 до 180	Св. 215 до 250	20±7	17±6	22±6
		17±6	15±5	20±5			20±7	18±6	23±6
Св. 150 до 180	Св. 100 до 150 » » 150 » 180	17±6	16±5	21±5	Св. 250 до 300	Св. 250 до 300	20±7	19±6	24±6
		17±6	16±5	21±5			20±7	19±6	24±6

Размеры, мм

68. Припуски и предельные отклонения размеров для поковок типа втулок с уступами, изготовляемых ковкой на молотах



Размеры, мм

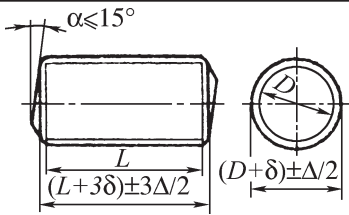
Диаметр детали <i>D</i>	Размеры детали, на которые на- значаются при- пуски и предель- ные отклонения	Высота <i>H</i> детали										
		до 50	св. 50 до 65	св. 65 до 80	св. 80 до 100	св. 100 до 125	св. 125 до 150	св. 150 до 180	св. 180 до 215	св. 215 до 250	св. 250 до 300	св. 300 до 360
		Припуски (δ , δ_1 , δ_2) и предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}, \pm \frac{\Delta_1}{2}, \pm \frac{\Delta_2}{2} \right)$										
До 80	<i>H</i> ; <i>h</i>	7±2	7±2									
	<i>D</i> ₁	7±2	7±2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	<i>D</i> ₂	5 ⁺² ₋₁	6 ⁺² ₋₁	7 ⁺³ ₋₁	7 ⁺³ ₋₁	7 ⁺³ ₋₁	—	—	—	—	—	
	<i>d</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Св. 50 до 80	<i>H</i> ; <i>h</i>	7±2	7±2	8±2	9±2	—	—	—	—	—	—	—
	<i>D</i> ₁	7±2	8±2	8±2	9±2	—	—	—	—	—	—	—
	<i>D</i> ₂	5 ⁺² ₋₁	6 ⁺² ₋₁	7 ⁺³ ₋₁	7 ⁺³ ₋₁	8 ⁺⁴ ₋₂	8 ⁺⁴ ₋₂	9 ⁺⁴ ₋₂	—	—	—	—
	<i>d</i>	13±2	14±2	14±2	15±2	—	—	—	—	—	—	—

Окончание табл. 68

Диаметр детали <i>D</i>	Размеры детали, на которые на- значаются при- пуски и предель- ные отклонения	Высота <i>H</i> детали										
		св. 50 до 50	св. 50 до 65	св. 65 до 80	св. 80 до 100	св. 100 до 125	св. 125 до 150	св. 150 до 180	св. 180 до 215	св. 215 до 250	св. 250 до 300	св. 300 до 360
		Припуски (δ , δ_1 , δ_2) и предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}, \pm \frac{\Delta_1}{2}, \pm \frac{\Delta_2}{2}\right) \delta$										
Св. 80 до 110	<i>H</i> ; <i>h</i>	7±2	8±2	9±2	10±2	10±3	11±3	—	—	—	—	—
	<i>D</i> ₁	8±2	9±2	9±2	10±3	10±3	11±3	—	—	—	—	—
	<i>D</i> ₂	6±2	7±3	7±3	8±4	8±4	9±4	9±4	10±4	10±4	—	—
	<i>d</i>	14±2	15±2	15±2	16±2	16±2	17±3	—	—	—	—	—
Св. 110 до 150	<i>H</i> ; <i>h</i>	7±2	8±2	9±2	10±3	10±3	11±3	12±3	13±4	—	—	—
	<i>D</i> ₁	9±2	10±2	10±3	11±3	11±3	12±3	13±4	13±4	—	—	—
	<i>D</i> ₂	7 $\begin{smallmatrix} +3 \\ -1 \end{smallmatrix}$	8 $\begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	8 $\begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	9 $\begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	9 $\begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	10 $\begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	10 $\begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	11 $\begin{smallmatrix} +5 \\ -2 \end{smallmatrix}$	11 $\begin{smallmatrix} +5 \\ -2 \end{smallmatrix}$	12 $\begin{smallmatrix} +5 \\ -2 \end{smallmatrix}$	13 $\begin{smallmatrix} +6 \\ -2 \end{smallmatrix}$
	<i>d</i>	15±2	16±2	16±2	17±3	17±3	18±4	19±4	20±5	—	—	—
Св. 150 до 200	<i>H</i> ; <i>h</i>	8±2	8±2	9±3	10±3	11±3	12±3	13±4	14±4	15±4	—	—
	<i>D</i> ₁	10±3	11±3	11±3	12±3	12±3	13±4	13±4	14±4	15±4	—	—
	<i>D</i> ₂	8 $\begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	8 $\begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	9 $\begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	9 $\begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	10 $\begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	11 $\begin{smallmatrix} +5 \\ -2 \end{smallmatrix}$	11 $\begin{smallmatrix} +5 \\ -2 \end{smallmatrix}$	12 $\begin{smallmatrix} +5 \\ -2 \end{smallmatrix}$	12 $\begin{smallmatrix} +5 \\ -2 \end{smallmatrix}$	13 $\begin{smallmatrix} +6 \\ -2 \end{smallmatrix}$	14 $\begin{smallmatrix} +6 \\ -2 \end{smallmatrix}$
	<i>d</i>	16±3	17±3	17±3	18±4	18±4	19±4	19±4	20±5	20±5	—	—
Св. 200 до 250	<i>H</i> ; <i>h</i>	8±2	9±2	10±3	11±3	12±3	13±4	14±4	15±5	16±6	17±6	18±6
	<i>D</i> ₁	11±3	12±3	12±3	13±4	13±4	14±4	14±4	15±5	16±6	17±6	18±6
	<i>D</i> ₂	9 $\begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	9 $\begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	10 $\begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	10 $\begin{smallmatrix} +4 \\ -2 \end{smallmatrix}$	11 $\begin{smallmatrix} +5 \\ -2 \end{smallmatrix}$	12 $\begin{smallmatrix} +5 \\ -2 \end{smallmatrix}$	12 $\begin{smallmatrix} +5 \\ -2 \end{smallmatrix}$	13 $\begin{smallmatrix} +6 \\ -2 \end{smallmatrix}$	13 $\begin{smallmatrix} +6 \\ -2 \end{smallmatrix}$	14 $\begin{smallmatrix} +6 \\ -2 \end{smallmatrix}$	14 $\begin{smallmatrix} +6 \\ -2 \end{smallmatrix}$
	<i>d</i>	17±3	18±3	18±3	19±4	19±4	20±4	20±4	21±5	22±6	23±6	24±6

Св. 250 до 300	$H; h$	9±3	10±3	11±3	12±3	13±4	14±4	15±4	16±4	17±5	18±6	19±6
	D_1	12±4	13±4	13±4	14±5	14±5	15±5	15±5	16±6	17±7	18±7	19±7
	D_2	9±2	10±2	11±2	11±2	12±2	13±2	13±2	14±2	14±2	15±2	15±2
	d	18±4	19±4	19±4	20±5	20±5	21±5	21±5	22±6	23±7	24±7	25±7
Св. 300 до 360	$H; h$	—	10±3	11±3	12±4	13±4	14±4	15±4	16±5	17±6	18±6	19±6
	D_1	—	13±4	14±4	15±5	15±5	16±5	16±5	17±6	18±7	19±7	20±7
	D_2	—	11±2	11±2	12±2	13±2	14±2	14±2	15±2	15±2	16±2	16±2
	d	—	20±4	20±4	21±5	21±5	22±5	22±5	23±5	24±6	25±7	26±7
Св. 360 до 420	$H; h$	—	11±3	12±3	13±4	14±4	15±4	16±5	17±5	18±6	19±6	20±7
	D_1	—	14±5	15±5	16±6	16±6	17±6	17±6	18±7	19±8	20±8	21±8
	d	—	21±5	21±5	22±6	22±6	23±6	23±6	24±7	25±8	26±8	27±8
Св. 420 до 485	$H; h$	—	—	12±3	13±4	14±4	15±4	16±5	17±6	18±6	19±7	20±7
	D_1	—	—	16±5	17±6	17±6	18±6	18±6	19±7	20±8	21±8	22±8
	d	—	—	22±5	23±6	23±6	24±6	24±6	25±7	26±8	27±8	28±8
Св. 485 до 550	$H; h$	—	—	13±4	13±4	14±4	15±5	16±6	17±6	18±7	19±7	20±7
	D_1	—	—	17±6	18±7	18±7	19±7	19±7	20±8	21±9	22±9	23±9
	d	—	—	23±6	24±7	24±7	25±7	25±7	26±8	27±9	28±9	29±9

69. Припуски и предельные отклонения размеров для гладких поковок круглого сечения, изготавливаемых на прессах (группа точности II)



Размеры, мм

Длина детали <i>L</i>	Диаметр детали <i>D</i>						
	до 140	св. 140 до 160	св. 160 до 180	св. 180 до 200	св. 200 до 224	св. 224 до 250	св. 250 до 280
	Припуски (δ) и предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}\right)$						
До 1000	11±4	12±5	13±5	14±5	15±6	16±6	17±6
Св. 1000 до 1250	12±5	13±5	14±5	15±6	16±6	17±6	18±7
» 1250 » 1600	13±5	14±5	15±6	16±6	17±6	18±7	19±7
» 1600 » 2000	14±5	15±6	16±6	17±7	18±7	19±7	20±7
» 2000 » 2500	15±6	16±6	17±6	18±7	19±7	20±7	21±7
» 2500 » 3150	16±6	17±6	18±7	19±7	20±7	21±7	22±8
» 3150 » 4000	17±6	18±7	19±7	20±7	21±7	22±8	22±8
» 4000 » 5000	18±7	19±7	20±7	21±7	22±8	22±8	23±8
» 5000 » 6300	19±7	20±7	21±7	22±8	22±8	23±9	24±9
» 6300 » 7100	20±7	21±7	22±8	22±8	23±8	24±9	25±9
» 7100 » 8000	21±7	22±8	22±8	23±8	24±9	25±9	26±10
» 8000 » 9000	—	22±8	23±8	24±9	25±9	26±10	27±10
» 9000 » 10000	—	—	24±9	25±9	26±10	27±10	28±10
» 10000 » 11200	—	—	—	26±10	27±10	28±10	29±11
» 11200 » 12500	—	—	—	—	28±10	29±11	30±11
» 12500 » 14000	—	—	—	—	—	31±11	32±11
» 14000 » 16000	—	—	—	—	—	—	33±12

Длина детали <i>L</i>	Диаметр детали <i>D</i>						
	св. 280 до 315	св. 315 до 355	св. 355 до 400	св. 400 до 450	св. 450 до 500	св. 500 до 560	св. 560 до 630
	Припуски (δ) предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}\right)$						
До 1000	18±7	19±7	20±7	21±7	22±8	22±8	23±8
Св. 1000 до 1250	19±7	20±7	21±7	22±8	22±8	23±8	24±9

Продолжение табл. 69

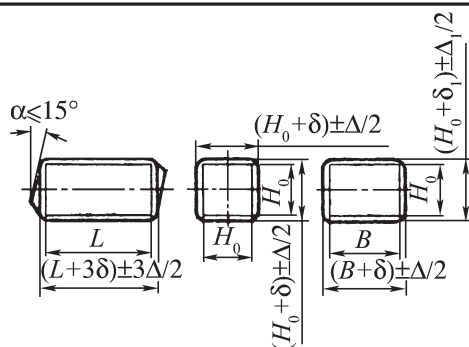
Длина детали L	Диаметр детали D						
	св. 280 до 315	св. 315 до 355	св. 355 до 400	св. 400 до 450	св. 450 до 500	св. 500 до 560	св. 560 до 630
	Припуски (δ) предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}\right)$						
» 1250 » 1600	20±7	21±7	22±8	22±8	23±8	24±9	25±9
» 1600 » 2000	21±7	22±8	22±8	23±8	24±9	25±9	26±10
» 2000 » 2500	22±8	22±8	23±8	24±9	25±9	26±10	27±10
» 2500 » 3150	22±8	23±8	24±9	25±9	26±10	27±10	28±10
» 3150 » 4000	23±8	24±9	25±9	26±10	27±10	28±10	29±11
» 4000 » 5000	24±9	25±9	26±10	27±10	28±10	29±11	30±11
» 5000 » 6300	25±9	26±10	27±10	28±10	29±11	30±11	31±11
» 6300 » 7100	26±10	27±10	28±10	29±11	30±11	31±11	32±12
» 7100 » 8000	27±10	28±10	29±11	30±11	31±11	32±12	33±12
» 8000 » 9000	28±10	29±11	30±11	31±11	32±12	33±12	34±12
» 9000 » 10000	29±11	30±11	31±11	32±12	33±12	34±12	35±13
» 10000 » 11200	30±11	31±11	32±12	33±12	34±12	35±13	36±13
» 11200 » 12500	31±11	32±12	33±12	34±12	35±13	36±13	37±13
» 12500 » 14000	32±12	33±12	34±12	35±13	36±13	37±13	37±14
» 14000 » 16000	34±12	35±13	36±13	37±13	38±13	39±13	40±14
» 16000 » 18000	35±13	37±13	38±13	39±13	40±13	41±14	42±14
» 18000 » 20000	37±13	39±13	40±13	41±14	42±14	43±14	44±14
Длина детали L	Диаметр детали D						
	св. 630 до 710	св. 710 до 800	св. 800 до 900	св. 900 до 1000	св. 1000 до 1120	св. 1120 до 1250	
	Припуски (δ) и предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}\right)$						
До 1000	24±9	25±9	26±10	28±10	—	—	
Св. 1000 до 1250	25±9	26±10	27±10	28±10	30±11	—	
» 1250 » 1600	26±10	27±10	28±10	29±11	30±11	31±11	
» 1600 » 2000	27±10	28±10	29±11	30±11	31±11	32±12	
» 2000 » 2500	28±10	29±11	30±11	31±11	32±12	33±12	
» 2500 » 3150	29±11	30±11	31±11	32±12	33±12	34±12	
» 3150 » 4000	30±11	31±11	32±12	33±12	34±12	35±13	
» 4000 » 5000	31±11	32±12	33±12	34±12	35±13	36±13	

Окончание табл. 69

Длина детали L	Диаметр детали D					
	св. 630 до 710	св. 710 до 800	св. 800 до 900	св. 900 до 1000	св. 1000 до 1120	св. 1120 до 1250
	Припуски (δ) и предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}\right)$					
» 5000 » 6300	32±12	33±12	34±12	35±13	36±13	37±13
» 6300 » 7100	33±12	34±12	35±13	36 ±13	37±13	38±14
» 7100 » 8000	34±12	35±13	36±13	37±13	38±14	40±14
» 8000 » 9000	35±13	36±13	37±13	38±14	40±14	43±14
» 9000 » 10000	36±13	37±13	38±14	40±14	43±14	46±15
» 10000 » 11200	37±13	38±14	40±14	43±14	46±15	49±15
» 11200 » 12500	38±14	40±14	43±14	46±15	49±15	51±16
» 12500 » 14000	40±14	43±14	46±15	49±15	51±16	54±16
» 14000 » 16000	43±14	46±15	49±15	51±16	54±16	57±17
» 16000 » 18000	46±15	49±15	51±16	54±16	57±17	—
» 18000 » 20000	49±15	51±16	54±16	57±17	—	—
Длина детали L	Длина детали D					
	св. 1250 до 1400	св. 1400 до 1600	св. 1600 до 1800	св. 1800 до 2100		
	Припуски (δ) и предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}\right)$					
От 1600 до 2000	33±12	—	—	—		
Св. 2000 до 2500	34±12	35±13	—	—		
» 2500 » 3150	35±13	36±13	38±14	—		
» 3150 » 4000	36±13	37±13	39±14	41±14		
» 4000 » 5000	37±13	38±14	40±14	43±14		
» 5000 » 6300	38±14	40±14	43±14	46±15		
» 6300 » 7100	40±14	43±14	46±15	49±15		
» 7100 » 8000	43±14	46±15	49±15	51±16		
» 8000 » 9000	46±15	49±15	51±16	54±16		
» 9000 » 10000	49±15	51±16	54±16	57±17		
» 10000 » 11200	51±16	54±16	57±17	—		
» 11200 » 12500	54±16	57±17	—	—		
» 12500 » 14000	57±17	—	—	—		

Примечание. Данные табл. 69 распространяются на детали, у которых $L \geq 1,2 D$.

70. Припуски и предельные отклонения размеров для гладких поковок квадратного и прямоугольного сечения, изготавливаемых на прессах (группа точности II)



Размеры, мм

Длина детали L	Размер сечения B, H_0						
	до 140	св. 140 до 160	до 160 св. 180	св. 180 до 200	св. 200 до 224	св. 224 до 250	св. 250 до 280
	Припуски (δ, δ_1) и предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}\right)$						
До 1000	15±4	16±5	17±5	18±5	19±6	20±6	21±6
Св. 1000 до 1250	16±5	17±5	18±5	19±6	20±6	21±6	22±7
» 1250 » 1600	17±5	18±5	19±6	20±6	21±6	22±7	23±7
» 1600 » 2000	18±5	19±6	20±6	21±6	22±7	23±7	24±7
» 2000 » 2500	19±6	20±6	21±6	22±7	23±7	24±7	25±8
» 2500 » 3150	20±6	21±6	22±7	23±7	24±7	25±8	26±8
» 3150 » 4000	21±6	22±7	23±7	24±7	25±8	26±8	27±8
» 4000 до 5000	22±7	23±7	24±7	25±8	26±8	27±8	28±8
» 5000 » 6300	23±7	24±7	25±8	26±8	27±8	28±8	29±9
» 6300 » 7100	—	25±8	26±8	27±8	28±8	29±9	30±9
» 7100 » 8000	—	—	27±8	28±8	29±9	30±9	31±10
» 8000 » 9000	—	—	—	31±9	32±9	33±10	34±10
» 9000 » 10000	—	—	—	—	33±10	34±10	35±10
» 10000 » 11200	—	—	—	—	—	35±10	36±11
» 11200 » 12500	—	—	—	—	—	—	37±11
Длина детали L	Размер сечения B, H_0						
	св. 280 до 315	св. 315 до 355	св. 355 до 400	св. 400 до 450	св. 450 до 500	св. 500 до 560	св. 560 до 630
	Припуски (δ, δ_1) и предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}\right)$						
До 1000	22±7	23±7	24±7	25±8	26±8	27±8	28±8

Продолжение табл. 70

Длина детали L	Размер сечения B, H_0						
	св. 280 до 315	св. 315 до 355	св. 355 до 400	св. 400 до 450	св. 450 до 500	св. 500 до 560	св. 560 до 630
	Припуски (δ, δ_1) и предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}\right)$						
Св. 1000 до 1250	23±7	24±7	25±8	26±8	27±8	28±8	29±9
» 1250 » 1600	24±7	25±8	26±8	27±8	28±8	29±9	30±9
» 1600 » 2000	25±8	26±8	27±8	28±8	29±9	30±9	31±10
» 2000 » 2500	26±8	27±8	28±8	29±9	30±9	31±10	32±10
» 2500 » 3150	27±8	28±8	29±9	30±9	31±10	32±10	33±10
» 3150 » 4000	28±8	29±9	30±9	31±10	32±10	33±10	34±11
» 4000 » 5000	29±9	30±9	31±10	32±10	33±10	34±11	35±11
» 5000 » 6300	30±9	31±10	32±10	33±10	34±11	35±11	36±11
» 6300 » 7100	31±10	32±10	33±10	34 ± 11	35 ± 11	36±11	37±12
» 7100 » 8000	32±10	33±10	34±11	35±11	36±11	37±11	38±12
» 8000 » 9000	35±10	36±11	37±11	38±11	39±12	40±12	41±12
» 9000 » 10000	36±11	37±11	38±11	39±12	40±12	41±12	42±13
» 10000 » 11200	37±11	38±11	39± 12	40±12	41±12	42±13	43±13
» 11200 » 12500	38±11	39±12	40±12	41±12	42±12	43±13	44±13
» 12500 » 14000	39±12	40±12	41± 12	42±13	43±13	44±13	45±14
» 14000 » 16000	—	42±13	43±13	44±13	45±14	46±14	48±15
» 16000 » 18000	—	—	45±14	46±14	47±14	49±15	51±15
» 18000 » 20000	—	—	—	48±15	50±15	52±16	54±17
Длина детали L	Размер сечения B, H_0						
	св. 630 до 710	св. 710 до 800	св. 800 до 900	св. 900 до 1000	св. 1000 до 1120	св. 1120 до 1250	
	Припуски (δ, δ_1) и предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}\right)$						
До 1000	29±9	30±9	31±10	—	—	—	
Св. 1000 до 1250	30±9	31±10	32±10	33±10	34±11	—	
» 1250 » 1600	31±10	32±10	33±10	34±11	35±11	36±12	
» 1600 » 2000	32±10	33±10	34±11	35±11	36±11	37±12	
» 2000 » 2500	33±10	34±11	35±11	36±1	37±12	38±12	
» 2500 » 3150	34±11	36±11	36±11	37±12	38±11	39±12	

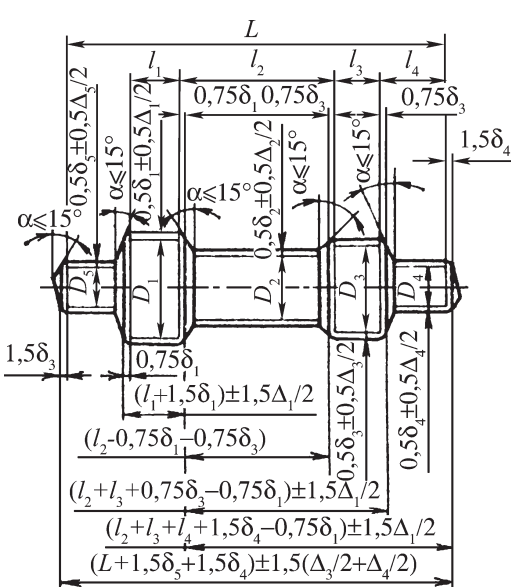
Окончание табл. 70

Длина детали L	Размер сечения B, H_0					
	св. 630 до 710	св. 710 до 800	св. 800 до 900	св. 900 до 1000	св. 1000 до 1120	св. 1120 до 1250
	Припуски (δ, δ_1) и предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}\right)$					
» 3150 » 4000	35±11	36±11	37±12	38±12	39±12	40±13
» 4000 » 5000	36±11	37±12	38±12	39±12	40±13	41±13
» 5000 » 6300	37±12	38±12	39±12	40±13	41±13	42±13
» 6300 » 7100	38±12	39±12	40±13	41±13	42 + 13	43±14
» 7100 » 8000	39±12	40±13	41±13	42±13	43± 14	45±14
» 8000 » 9000	42±13	43±13	44±13	45±14	47±14	49±15
» 9000 » 10000	43±13	44±13	45 ±14	47±14	49±15	51±16
» 10000 » 11200	44±13	45±14	47±14	49±15	51±16	53±16
» 11200 » 12500	45±14	47±14	49±15	51±16	53±16	56±17
» 12500 » 14000	47±14	49±15	51±16	53±16	56±17	—
» 14000 » 16000	50±15	52±16	54±17	57±18	—	—
» 16000 » 18000	53±16	55±17	58±18	—	—	—
» 18000 » 20000	56±17	59±18	—	—	—	—

Длина детали L	Размер сечения B, H_0			
	св. 1250 до 1400	св. 1400 до 1600	св. 1600 до 1800	св. 1800 до 2100
	Припуски (δ, δ_1) и предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}\right)$			
От 1600 до 2000	38±12	—	—	—
Св. 2000 до 2500	39±12	40±13	—	—
» 2500 » 3150	40±13	41±13	42±13	—
» 3150 » 4000	41±13	42±13	43±14	45±14
» 4000 » 5000	42±13	43±14	45±14	47±15
» 5000 » 6300	43±14	45±14	47±15	49±16
» 6300 » 7100	45±14	47±15	49±16	51±16
» 7100 » 8000	47±15	49±16	51±16	54±17
» 8000 » 9000	51±16	53±16	56±17	—
» 9000 » 10000	53±16	56±17	—	—
» 10000 » 11200	56±17	—	—	—

Примечание. Данные табл. 70 распространяются на детали, у которых $L \geq 1,5H_0$ и $H_0 \leq B \leq 1,5H_0$.

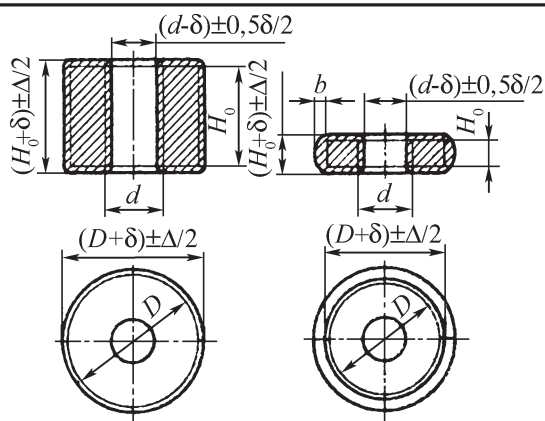
71. Дополнительный припуск для поковок круглого и квадратного сечения с уступами, изготавливаемых на прессах

	Дополни- тельный припуск на диаметр (размер)	Разность диаметра (размеров) сечений	Дополни- тельный припуск на диаметр (размер)	Разность диаметра (размеров) сечений
	2	До 56	19	Св. 500 до 530
3	3	Св. 56 до 80	20	Св. 530 до 560
4	4	Св. 80 до 112	22	Св. 560 до 600
5	5	Св. 112 до 140	23	Св. 600 до 630
7	7	Св. 140 до 180	24	Св. 630 до 670
8	8	Св. 180 до 224	25	Св. 670 до 710
9	9	Св. 224 до 250	27	Св. 710 до 750
10	10	Св. 250 до 280	29	Св. 750 до 800
12	12	Св. 280 до 315	30	Св. 800 до 850
13	13	Св. 315 до 355	32	Св. 850 до 900
14	14	Св. 355 до 400	34	Св. 900 до 950
15	15	Св. 400 до 425	36	Св. 950 до 1000
16	16	Св. 425 до 450	40	Св. 1000 до 1100
17	17	Св. 450 до 475	45	Св. 1100 до 1200
18	18	Св. 475 до 500	50	Св. 1200 до 1300

Примечание. По табл. 69 и 70 выбирают основные припуски δ и предельные отклонения $\pm \frac{\Delta}{2}$ на диаметры (размеры) рассматриваемого сечения.

Припуски и предельные отклонения на общую длину и размеры от единой базы до выступов и уступов выбирают в соответствии с эскизом к табл. 71. За базу выбирают торец выступа наибольшего диаметра. Затем назначают дополнительный припуск по табл. 71 на диаметры всех сечений, кроме основного, в зависимости от разности диаметров основного и рассматриваемого сечения детали. Для поковок с квадратными (прямоугольными) сечениями вместо диаметров принимают размеры стороны сечения.

72. Припуски и предельные отклонения размеров для поковок типа муфты и дисков сплошных и с отверстиями, изготавливаемых на прессах (группа точности II)



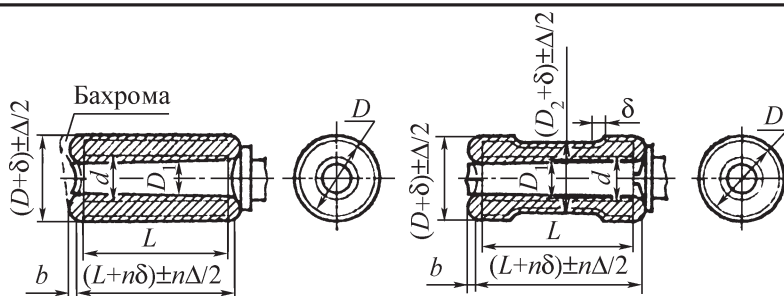
Размеры, мм

Высота детали H_0	Диаметр детали D								
	св. 200 до 224	св. 224 до 250	св. 250 до 280	св. 280 до 315	св. 315 до 355	св. 355 до 400	св. 400 до 450	св. 450 до 500	св. 500 до 560
	Припуски (δ) и предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}\right)$								
От 125 до 160	14±5	15±6	16±7	17±7	18±7	19±7	20±8	21±8	22±9
Св. 160 » 200	15±6	16±7	17±7	18±7	19±7	20±8	21 ±8	22±9	23±9
» 200 » 250	16±7	17±7	18±7	19±7	20±8	21±8	22±9	23±9	24±10
» 250 » 315	17±7	18±7	19±7	20±8	21±8	22±9	23±9	24±10	25±10
» 315 » 400	18±7	19±7	20±8	21±8	22±9	23±9	24±10	25±10	26±11
» 400 » 500	—	—	21±8	22±9	23±9	24±10	25±10	26±11	27±11
» 500 » 630	—	—	—	—	24±10	25±10	26±11	27±11	28±11
» 630 » 800	—	—	—	—	—	—	27±11	28±11	29±12
» 800 » 1000	—	—	—	—	—	—	—	—	30±12
Высота детали H_0	Диаметр детали D								
	св. 560 до 630	св. 630 до 710	св. 710 до 800	св. 800 до 900	св. 900 до 1000	св. 1000 до 1120	св. 1120 до 1250	св. 1250 до 1400	св. 1400 до 1550
	Припуски (δ) и предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}\right)$								
От 125 до 160	23±9	24±10	25±10	26±11	27±11	28±11	29±12	30±12	31±13
Св. 160 » 200	24±10	25±10	26±11	27±11	28±11	29±12	30±12	31±13	32±13
» 200 » 250	25±10	26±11	27±11	28±11	29±12	30±12	31±13	32±13	33±14

Окончание табл. 72

Высота детали H_0	Диаметр детали D								
	св. 560 до 630	св. 630 до 710	св. 710 до 800	св. 800 до 900	св. 900 до 1000	св. 1000 до 1120	св. 1120 до 1250	св. 1250 до 1400	св. 1400 до 1550
	Припуски (δ) и предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}\right)$								
» 250 » 315	26±11	27±11	28±11	29±12	30±12	31±13	32±13	33±14	35±14
» 315 » 400	27±11	28±11	29±12	30±12	31±13	32±13	33±14	35±14	37±14
Св. 400 до 500	28±11	29±12	30±12	31±13	32±13	33±14	35±15	37±15	39±16
» 600 » 630	29±12	30±12	31±13	32±13	33±14	35±14	37±15	39±16	41±17
» 630 » 800	30±12	31±13	32±13	33±14	35±14	37±15	39±16	41±17	43±18
» 800 » 1000	31±13	32±13	33±14	35±14	37±15	39±16	41±17	43±18	45±19
» 1000 » 1120	—	33±14	35±14	37±15	39±16	41±17	43±18	45±19	47±20
» 1120 » 1250	—	—	37±15	39±16	41±17	43±18	45±19	47±20	49±21
» 1250 » 1400	—	—	—	41±17	43±18	45±19	47±20	49±21	51±21
» 1400 » 1550	—	—	—	—	45±19	47±20	49±21	51±21	53±22
» 1550 » 1700	—	—	—	—	—	49±21	51±21	53±22	55±23
Высота детали H_0	Диаметр детали D								
	св. 1550 до 1700	св. 1700 до 1850	св. 1850 до 2000	св. 2000 до 2200	св. 2200 до 2400	св. 2400 до 2600			
	Припуски (δ) и предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}\right)$								
От 125 до 160	32±13	33±14	35±14	—	—	—			
Св. 160 » 200	33±14	35±14	37±15	39±16	—	—			
» 200 » 250	36±14	37±5	39±16	41±17	43±18	—			
» 250 » 315	37±15	39±16	41±17	43±18	45±19	47±20			
» 315 » 400	39±16	41±17	43±18	45±19	47±20	49±21			
» 400 » 500	41±17	43±18	45±19	47±20	49±21	51±21			
» 500 » 630	43±18	45±19	47±20	49±21	51±21	53±22			
» 630 » 800	45±19	47±20	49±21	51±21	53±22	55±23			
» 800 » 1000	47±20	49±21	51±21	53±22	55±23	57±24			
» 1000 » 1120	49±21	51±21	53±22	55±23	57±24	59±25			
» 1120 » 1250	51±21	53±22	55±23	57±24	59±25	61±25			
» 1250 » 1400	53±22	55±23	57±24	59±25	61±25	63±26			
» 1400 » 1550	55±23	57±24	59±25	61±25	63±26	65±27			
» 1550 » 1700	57±24	59±25	61±25	63±26	65±27	67±28			

73. Припуски и предельные отклонения размеров для поковок типа цилиндров с отверстиями с постоянным и переменным по длине сечением, изготавливаемых на прессах (группа точности II)



Размеры, мм

Длина детали L	Диаметр детали D							
	Св. 350 до 400	Св. 400 до 450	Св. 450 до 500	Св. 500 до 560	Св. 560 до 630	Св. 630 до 710	Св. 710 до 800	Св. 800 до 900
	Припуски (δ) и предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}\right)$							
До 1000	30±11	31±11	32±13	33±13	34±13	35±14	36±14	37±15
Св. 1000 до 1250	31±11	32±13	33±13	34±13	35±14	36±14	37±15	38±15
» 1250 » 1600	32±13	33±13	34±13	35±14	36±14	37±15	38±15	39±16
» 1600 » 2000	33±13	34±13	35±14	36±14	37±15	38±15	39±16	40±16
» 2000 » 2500	34±13	35±14	36±14	37±15	38±15	39±16	40±16	41±17
» 2500 » 3150	35±14	36±14	37±15	38±15	39±16	40±16	41±17	42±17
» 3150 » 4000	36±14	37±15	38±15	39±16	40±16	41±17	42±17	43±17
» 4000 » 5000	37±15	38±15	39±16	40±16	41±17	42±17	43±17	44±18
» 5000 » 6300	38±15	39±16	40±16	41±17	42±17	43±17	44±18	45±18
» 6300 » 8000	—	—	41±17	42±17	43±17	44±18	45±18	47±19
» 8000 » 9000	—	—	42±17	43±17	44±18	45±18	47±19	48±20
» 9000 » 10000	—	—	—	45±18	46±19	47±19	48±20	50±21
» 10000 » 11000	—	—	—	47±19	48±20	49±20	51±21	52±21
» 11000 » 12000	—	—	—	—	50±21	51±21	52±21	53±21
Длина детали L	Диаметр детали D							
	Св. 900 до 1000	Св. 1000 до 1120	Св. 1120 до 1200	Св. 1200 до 1320	Св. 1320 до 1400	Св. 1400 до 1500	Св. 1500 до 1600	Св. 1600 до 1700
	Припуски (δ) и предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}\right)$							
До 1000	—	—	—	—	—	—	—	—
Св. 1000 до 1250	39±16	40±16	—	—	—	—	—	—
» 1250 » 1600	40±16	41±17	42±17	43±17	44±18	—	—	—

Окончание табл. 73

Длина детали L	Диаметр детали D							
	Св. 900 до 1000	Св. 1000 до 1120	Св. 1120 до 1200	Св. 1200 до 1320	Св. 1320 до 1400	Св. 1400 до 1500	Св. 1500 до 1600	Св. 1600 до 1700
	Припуски (δ) и предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}\right)$							
Св. 1600 до 2000	41±17	42±17	43±17	44±18	45±18	46±19	47±19	48±20
» 2000 » 2500	42±17	43±17	44±18	45±18	46±19	47±19	48±20	49±20
» 2500 » 3150	43±17	44±18	45±18	46±19	47±19	48±20	49±20	50±21
» 3150 » 4000	44±18	45±18	47±19	48±20	49±20	50±21	51±21	52±21
» 4000 » 5000	45±18	47±19	48±20	49±20	50±21	51±21	52±21	53±22
» 5000 » 6300	47±19	48±20	50±21	51±21	52±21	53±22	54±22	55±23
» 6300 » 8000	48±20	50±21	51±21	52±21	53±22	54±22	56±23	57±25
» 8000 » 9000	50±21	51±21	52±21	53±22	54±22	56±24	58±25	59±25
» 9000 » 10000	52±21	53±22	54±22	55±23	56±24	58±25	60±25	61±26
» 10000 » 11000	53±22	54±22	55±23	56±24	58±25	60±25	62±26	63±27
» 11000 » 12000	54±22	55±23	56±24	58±25	60±25	62±26	64±27	65±27
Длина детали L	Диаметр детали D							
	Св. 1700 до 1800	Св. 1800 до 1900	Св. 1900 до 2000	Св. 2000 до 2100	Св. 2100 до 2150	Св. 2150 до 2300	Св. 2300 до 2500	
	Припуски (δ) и предельные отклонения $\left(\pm \frac{\Delta}{2}\right)$							
До 1000	—	—	—	—	—	—	—	—
Св. 1000 до 1250	—	—	—	—	—	—	—	—
» 1250 » 1600	—	—	—	—	—	—	—	—
» 1600 » 2000	49±20	50±21	51±21	52±21	53±22	55±23	56±24	
» 2000 » 2500	50±21	51±21	52±21	53±22	55±23	56±24	58±25	
» 2500 » 3150	51±21	52±21	53±22	55±23	56±24	58±25	60±25	
» 3150 » 4000	53±22	54±22	55±23	56±24	58±25	60±25	62±26	
» 4000 » 5000	54±22	55±23	56±23	58±25	60±25	62±26	64±27	
» 5000 » 6300	56±23	57±24	58±25	60±25	62±26	64±27	66±28	
» 6300 » 8000	58±25	59±25	60±25	62±26	64±27	66±28	68±29	
» 8000 » 9000	60±25	61±26	62±26	64±27	66±28	68±29	70±30	
» 9000 » 10000	62±26	63±26	64±27	66±28	68±29	70±30	—	
» 10000 » 1000	64±27	65±27	66±28	68±29	70±30	—	—	
» 11000 » 12000	66±28	67±29	69±29	—	—	—	—	

Примечание. Данные табл. 73 распространяются на детали, у которых $L > 1,2 D$ и $d > 0,5 D$. При этом минимальная толщина стенки поковки не должна быть менее 100 мм.

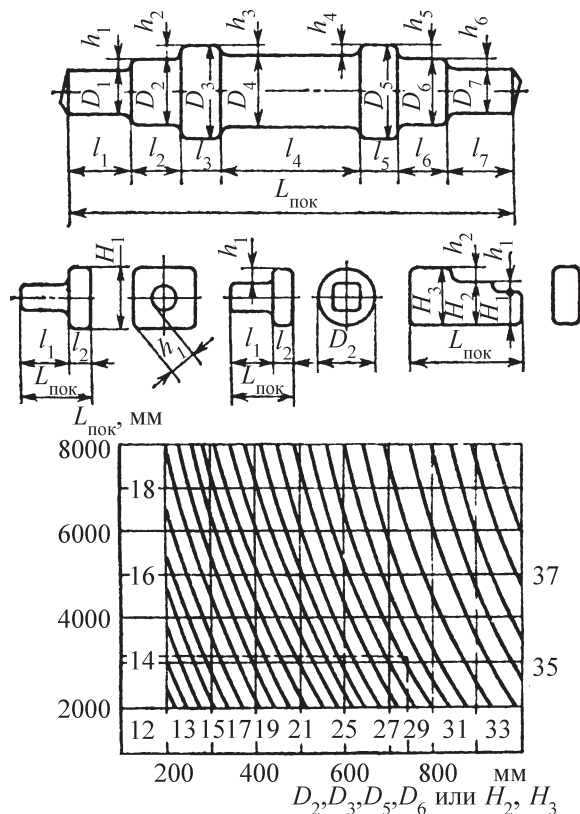


Рис. 21. К определению наименьшей высоты уступов и выемок при ковке на прессах

h_1 берут общую длину $L_{\text{пок}}$ и диаметр выступа D_2 , для h_2 принимают $L_{\text{пок}}$ и D_3 и т.д. Если $L_{\text{пок}} = 3100$ мм и $D_2 = 740$ мм (см. рис. 21), наименьшее значение h_1 составляет 30 мм. Наименьшие длины уступов l_1, l_2, l_3 и т.д. (см. рис. 21), которые могут быть получены при ковке, также определяют исходя из общей длины поковки и диаметра или высоты прилегающего выступа по зависимостям на рис. 22. Если общая длина поковки $L_{\text{пок}} = 3100$ мм, а диаметр $D_3 = 940$ мм, то наименьшая длина уступа $l_2 = 580$ мм (см. штриховую линию на рис. 22).

Наименьшую поковочную длину бурта определяют по диаграмме (см. рис. 23) исходя из его диамет-

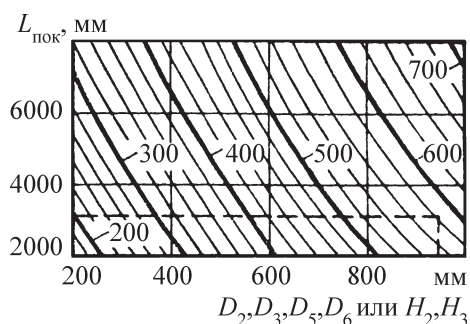


Рис. 22. К определению наименьшей длины уступов и выемок при ковке на прессах

ра (стороны квадрата H) и диаметра d прилегающего уступа или выемки.

Поковочная наименьшая длина фланца должна быть в 1,5 раза больше

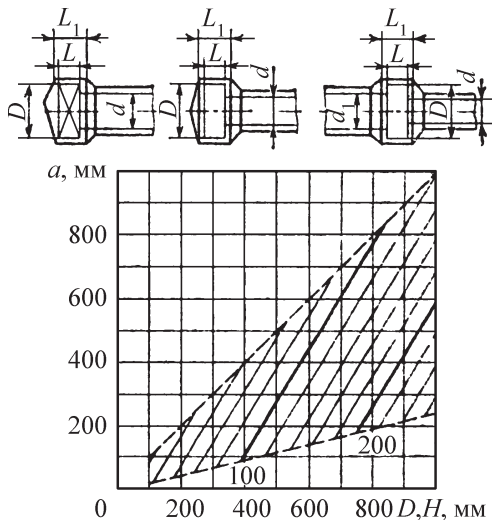


Рис. 23. К определению наименьшей длины буртов при ковке на прессах

поковочной длины бурта, определенной по рис. 23. На рис. 24 показаны места нанесения напусков на элементы поковки, которые нельзя определить по диаграммам, приведенным на рис. 21–23.

Определение массы и размеров заготовки. Основная часть массы заготовки приходится на массу поковки, которую определяют умножением объема поковки (дм³) на плотность (кг/дм³). Для подсчета объема поковки разбивают на элементарные участки и определяют их объем по геометрическим формулам. При этом в расчетах используют номинальные размеры

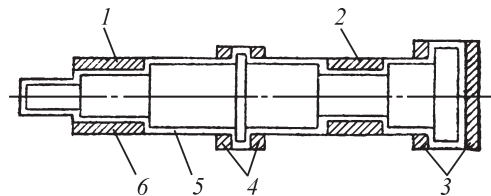


Рис. 24. Схема нанесения напусков на поковку типа вала:

1 — на уступ; 2 — на выемку; 3 — на фланец; 4 — на бурт; 5 — контур детали

поковки (без учета допусков) Массу галтелей на поковке определяют по номограммам.

Масса заготовки (слитка)

$$G_{\text{заг}} = G_{\text{пок}} + G_{\text{приб}} + G_{\text{дн}} + G_{\text{обс}} + G_{\text{уч}},$$

где $G_{\text{пок}}$, $G_{\text{приб}}$, $G_{\text{дн}}$, $G_{\text{обс}}$, $G_{\text{уч}}$ — соответственно масса поковки, прибыльной части слитка, донной части слитка, обсечек и угара (при ковке проката $G_{\text{приб}} = G_{\text{дн}} = 0$).

Для слитков, заливаемых сверху с утепленной надставкой, масса прибыльной части $G_{\text{приб}}$ составляет 20...25 % массы слитка для конструкционной углеродистой стали и 25...30 % массы слитка для конструкционной легированной стали. Для слитков, отливаемых без утепленной надставки, масса прибыльной части составляет 35...40 % массы слитка. Для инструментальной легированной стали при заливке в нормальные изложницы $G_{\text{приб}}$ может достигать 50...60 % массы слитка. Масса донной части слитка $G_{\text{дн}}$ составляет 3...5 % массы слитка для углеродистой стали и 5...7 % для легированной стали. При ковке катаной заготовки $G_{\text{приб}} = G_{\text{дн}} = 0$.

Рассчитать массу обсечек затруднительно, так как она зависит от конкретного технологического процесса. Поэтому обычно составляют нормали и диаграммы исходя из статистических данных $G_{\text{обс}}$ для поковок сходной конфигурации. Можно достаточно точно подсчитать только отход металла при прошивке и концевые отходы при отрубке концов.

Отход металла при прошивке

$$V = k \frac{\pi d^2}{4} H_{\text{заг}},$$

где k — коэффициент, учитывающий условия прошивки (при прошивку сплошным прошивком с кантовкой $k = 0,20...0,25$; при прошивке с подкладным кольцом $k = 0,70...0,75$); d — диаметр прошиваемого отверстия; $H_{\text{заг}}$ — высота заготовки перед прошивкой.

При прошивке пустотелым прошивком

$$V = (1,1...1,15) \frac{\pi d_{\text{вн}}^2}{4} H_{\text{заг}},$$

где $d_{\text{вн}}$ — внутренний диаметр прошивня.

Если при ковке длинных поковок не предусмотрен избыточный материал на отрубку концов, то не выдерживаются размеры по длине или ухудшается качество торца изделия — образуется бочка, как при протяжке. При образовании бочки или торцевой конической утяжины увеличивается объем последующей металлообработки. Длина отрубаемой части должна быть достаточной для возможности отрубки и получения торца хорошего качества.

При ковке на молоте длина на отрубку:

для круглой поковки $L = 0,36D_{\text{пок}} + 15$;

для поковки с прямоугольным сечением $L = 0,25A_{\text{пок}} + 15$.

При ковке на прессе длина на отрубку:

для круглой поковки $L = 0,25D_{\text{пок}} + 25$;

для поковки с прямоугольным сечением $L = 0,13A_{\text{пок}} + 50$.

Здесь $D_{\text{пок}}$ и $A_{\text{пок}}$ — соответственно диаметр и меньшая сторона прямоугольного сечения поковки.

Отход на угар берут в процентах от массы нагреваемого металла. При

нормальных условиях за каждый нагрев в среднем угар составляет 3 % массы нагреваемого металла. При каждом подогреве угар составляет 1,5 %. При ковке из проката угар меньше, чем при ковке из слитков (из-за меньшего времени нагрева); он составляет 2...2,5 % массы заготовки.

Расчеты массы заготовки при ковке поковок различных форм значительно упрощаются при использовании нормативных коэффициентов выхода годного.

Коэффициент выхода годного $\eta_{\text{пок}}$ определяет экономичность предложенного технологического процесса:

$$\eta_{\text{пок}} = G_{\text{пок}} / G_{\text{заг}}.$$

$$\text{Величину } k_p = \frac{1}{\eta_{\text{пок}}} = \frac{G_{\text{заг}}}{G_{\text{пок}}}, \text{ обрат-}$$

ную $\eta_{\text{пок}}$, называют коэффициентом расхода металла.

Для разного типа поковок, получаемых из слитков и проката, существуют нормативные коэффициенты выхода годного (иногда их выражают в процентах) или расхода металла. Тогда примерная масса заготовки

$$G_{\text{заг}} = \frac{G_{\text{пок}}}{\eta_{\text{пок}}} = k_p G_{\text{пок}}.$$

Массу заготовки можно определить с помощью номограмм.

При ковке рекомендуется использовать следующие значения уковки и осадки:

при билетировке нормальных слитков $y = 1,15...1,2$;

при осадке слитков для улучшения качества металла $y = 2...3$;

при протяжке слитков после улучшающей осадки $y \geq 2$;

общая уковка при протяжке нормальных слитков из углеродистой и среднелегированной сталей $y_{\text{общ}} = 2,5 \dots 3,75$ (меньшее значение для слитков массой 1 т, большее — для слитков массой 200 т; для удлиненных слитков $y_{\text{общ}} \geq 2$);

для заготовительных операций значения уковки и осадки следующие: $y \geq 2,5$ при протяжке по схеме круг—круг; $y \geq 1,8$ при протяжке по схеме круг—квадрат—круг или квадрат—квадрат; $y \geq 1,5$ при протяжке с оправкой; $y \geq 1,8$ при раскатке; $y \geq 1,8 \dots 2$ при заковке отверстий;

общая уковка при ковке легированных сталей $y_{\text{общ}} = 3 \dots 10$ ($y_{\text{общ}}$ в этом случае зависит от направлений продольных волокон в поковке и действия наибольших напряжений в детали; чем больше степень совпадения этих направлений, тем больше уковка);

при использовании проката в качестве заготовки необходимо, чтобы $y_{\text{min общ}} \geq 1,25$, так как это обеспечивает измельчение выросших при нагреве зерен металла заготовки.

Указанные степени уковки необходимо обеспечить для наибольших сечений заготовки.

Определяющими факторами при выборе проката или слитка дляковки данной поковки являются ее масса и марка материала. Если масса поковки из углеродистой стали не превышает нескольких сот килограммов, то применяют прокат. При массе поковки типа вала $>700 \dots 800$ кг и типа колец и дисков >200 кг применяют слитки. Если материал поковки — легированная сталь, то иногда применяют слитки для относительно мелких поковок (массой 100 кг и более), т.е. все зависит от марки материала.

Зная массу слитка и тип поковки, выбирают тип слитка (обычный, уд-

линенный и т.д.). Для ответственных поковок куют из отдельного слитка одну поковку. В других случаях массу слитка и число получаемых из него поковок определяют исходя из удобстваковки и наименьшей себестоимости поковки. После определения типа заготовки (слиток или прокат) устанавливают требуемую уковку для получения качественной поковки. Затем рассчитывают размеры заготовки.

Выбор размеров заготовки зависит от ее типа (слиток, прокат) и основной формоизменяющей операции при ковке (протяжки, осадки).

Пусть основной операцией является протяжка. Тогда при ковке из слитка, исходя из рассчитанной массы заготовки, находят слиток с ближайшей к ней большей массой и устанавливают его размеры. Затем по соотношениям поперечных размеров проверяют, обеспечит ли этот слиток достаточную уковку.

Если слиток данной массы не обеспечивает нужной степени уковки, то выбирают слиток большей массы по поперечному сечению с учетом уковки. В этом случае куют поковку с отходом, годным для изготовления другой поковки, или из одного слитка две или несколько одинаковых поковок.

Кроме того, если по техническим условиям допускается проводить вначале осадку, то подсчитывают уковку, исходя из площади поперечного сечения осажженной заготовки.

Для определения размеров заготовки при ковке из проката протяжкой находят площадь заготовки $F_{\text{заг}} = y_{\text{min общ}} F_{\text{max пок}}$.

Полученное значение $F_{\text{заг}}$ округляют до ближайшего большего значения по ГОСТу, длину заготовки определяют исходя из объема и площади заготовки.

74. Классификация поковок по группам (I–VII) и по подгруппам (1, 2 и т.д.)

Инструмент	I						II				III					
	Цилиндрические сплошные гладкие и с уступами						Прямоугольного сечения гладкие и с уступами				Смешанных сечений (сплошные с уступами и расположением отдельных частей в одной, двух, трех и более плоскостях)					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6
Инструмент	Протыжка	Протыжка и осадка	Протыжка и пережим уступов	Протыжка, осадка и пережим	Протыжка, осадка, пережим уступов и передача	Протыжка и осадка с образованием выступа	Протыжка	Протыжка и осадка	Протыжка, осадка и пережим уступов	Протыжка, осадка, пережим уступов и передача	Протыжка и пережим уступов	Протыжка, осадка и пережим уступов	Протыжка, пережим уступов и передача	Протыжка, осадка, пережим уступов и передача	Протыжка, пережим уступов, передача и скручивание	Протыжка, торцовая осадка, пережим уступов, передача и скручивание
	При обеспечении необходимой уковки без осадки, когда вырез бойков соответствует сечению слитка (заготовки) и не требуется раздельного инструмента						При обеспечении необходимой уковки									
Вырезные бойки																
Плоские бойки или верхний плоский боек, нижний вырезной	–	–	–	При применении раздельного инструмента			При обеспечении необходимой уковки без осадки									

Кроме того, назначают дополнительный припуск S , учитывающий эксцентриситет. При разности наибольшего (173 мм) и наименьшего (105 мм) диаметров детали, равной 68 мм, дополнительный припуск $S = 4$ мм.

Определим объем и массу поковки (см. рис. 25, б).

Объем поковки по участкам

$$V_{\text{пок}} = \frac{\pi 12^2}{4} 40,6 + \frac{\pi 18,6^2}{4} 21 + \frac{\pi 12^2}{4} 39,2 = 16250 \text{ см}^3.$$

Масса поковки

$$G_{\text{пок}} = 16250 \cdot 7,85 = 129000 \text{ г} = 129 \text{ кг}.$$

Масса заготовки из проката

$$G_{\text{заг}} = G_{\text{пок}} + G_{\text{обр}} + G_{\text{у}}.$$

Здесь масса концевых отходов

$$G_{\text{обр}} = \gamma l_{\text{обр}} \frac{\pi d_{\text{обр}}^2}{4} = 7,85 \cdot 4 \frac{\pi 12,5^2}{4} = 3,8 \text{ кг},$$

где

$$l_{\text{обр}} \approx \frac{1}{3} d_{\text{обр}} = \frac{12,5}{3} \approx 4 \text{ см}.$$

В расчет принимают массу одной обрубленной части, так как куют от прутка.

Массу угара принимаем 2,5 % массы нагреваемого металла ($G_{\text{заг}}$). Итак, масса заготовки

$$G_{\text{заг}} = \frac{129 + 3,8}{0,975} = 137 \text{ кг}.$$

Выход годного

$$\eta_{\text{пок}} = \frac{G_{\text{пок}}}{G_{\text{заг}}} 100 = \frac{129}{137} 100 = 94\%.$$

Определим размеры исходной заготовки. При ковке из проката уковка $u \geq 1,25$. Примем $u = 1,5$; тогда

$$u = \frac{F_{\text{заг}}}{F_{\text{пок}}} = \frac{D_{\text{заг}}^2}{D_{\text{пок}}^2}.$$

Отсюда найдем

$$D_{\text{пок}} = 18,6 \text{ см}; \\ D_{\text{заг}} = \sqrt{1,5 \cdot 18,6^2} = 24 \text{ см}.$$

Длина

$$L_0 \frac{4V_{\text{заг}}}{\pi D_{\text{заг}}^2} = \frac{4G_{\text{заг}}}{\pi \gamma D_{\text{заг}}^2} = \frac{4 \cdot 137}{\pi 24^2 \cdot 7,85} = 39 \text{ см}.$$

Размеры исходной заготовки $G_{\text{заг}} = 137$ кг, $L_{\text{заг}} = 39$ мм.

Для $G_{\text{пок}} = 129$ кг и $D_{\text{пок}} = 186$ мм и с учетом того, что поковку изготавливают только протяжкой (без осадки), выбираем молот с массой падающих частей 2 т.

Эскиз переходовковки показан на рис. 25, в. Куют с помощью манипулятора с одного нагрева. Температурный интервалковки 1200...700 °С. Вначале выполняют протяжку на диаметр 210 мм и $l = 480$ мм, затем размечают заготовку по эскизу (рис. 25, в) и куют вал по чертежу поковки (рис. 25, б).

2. Трехколенчатый вал. Поковка из стали Ст5 или легированной стали относится к подгруппе 5 группы III (см. табл. 74). Дляковки используют молот с массой падающих частей 3 т. Поковка и схемаковки показаны на рис. 26. Куют заготовку квадратного или круглого сечения. По схеме (рис. 26, б) выполняют следующие операции:

ковку заготовки в зоне колен до получения прямоугольного сечения (1);

разметку по шаблону, пережим колен I—III и шеек вала (2);

передачу колена II с помощью накладок (3);

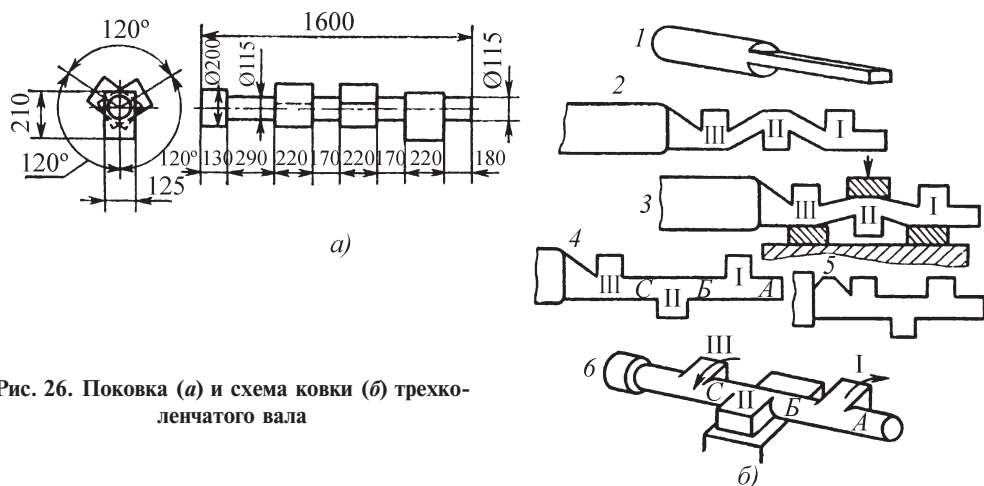


Рис. 26. Поковка (а) и схемаковки (б) трехколенчатого вала

ковку шеек *A*, *B*, *C* вала на круглое сечение и отделение ковanej заготовки от основной заготовки (4);

ковку фланца, пережим шейки у фланца и ковку шейки (5);

скручивание шейки *B* для поворота колена I и скручивание шейки *C* для поворота колена III (6). Колена I и III скручивают вилками. В это время колено II зажимается бойками молота.

Колена III и II скручивают в противоположные стороны до тех пор, пока колено I—III не будут расположены под углом 120°. В конце процесса поковку правят и маркируют.

Ковка на прессах. 1. Вал-шестерня. Чертеж поковки и размеры детали даны в технологической картековки № 1.

Масса поковки 5200 кг, материал — сталь 30X2 ГМТ. Куют на прессе с силой 25 МН. Поковка относится к подгруппе 4 группы I (см. табл. 74).

Чертеж поковки составляют по чертежу поковки, прошедшей обдирку и поступающей на термообработку. Со стороны прибыльной части предусмотрен припуск 220 мм для подвески поковки после обдирки при термообработке.

Переходыковки, расход металла на поковку и масса отходов даны в технологической картековки № 1.

2. Коленчатый вал из стали 50 имеет массу 2720 кг (рис. 27, а). Куют из слитка массой 3850 кг. Поковка относится к подгруппе 3 группы III (см. табл. 74). Переходыковки показаны на рис. 27.

За первый вынос¹ (рис. 27, б) протягивают цапфу под патрон, обжимают грани слитка на диаметр 615 мм и обрубуют донную часть.

На втором выносе (рис. 27, в) слиток осаживают до диаметра 1000 мм и протягивают на сечение 360×500 мм.

На третьем выносе (рис. 27, г) заготовку протягивают на сечение 780×410 мм и размечают на пять частей по длине поковки (I—V). Затем куют III, II и I части, размечают и пережимают части IV и V заготовки и куют окончательно части III—V. В конце процесса поковку правят, отрубают концевой остаток от части V и поковку от цапфы (прибыли).

Необходимую силу пресса определяется операцией осадки на диаметр 1000 мм (см. рис. 27, в).

¹ Вынос — время выполнения части технологического процессаковки между нагревом и подготовкой или между двумя подогревами заготовки.

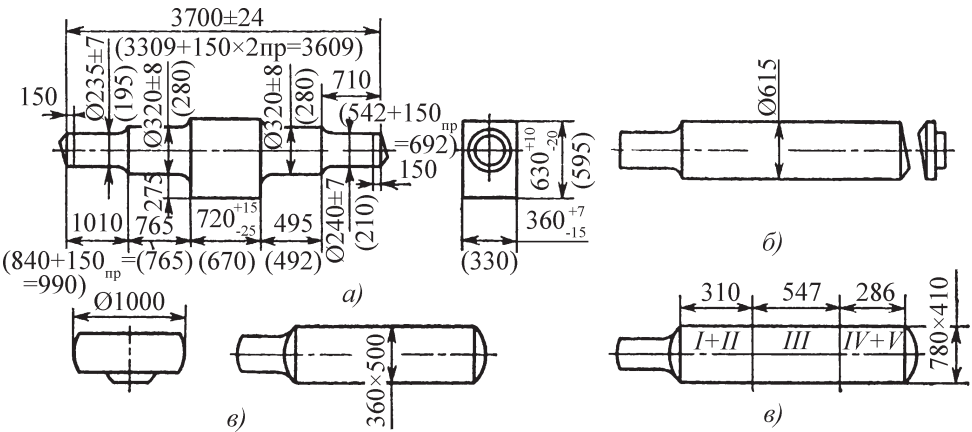


Рис. 27. Поковка (а) и переходы ковки (б–г) коленчатого вала

Определим высоту осаженной заготовки.

Масса осаженной заготовки

$$G_{\text{ос.заг}} = G_{\text{пок}} + G_{\text{приб}} + G_{\text{год.ост}} = 2720 + 106 + 81 = 2907 \text{ кг.}$$

Объем осаженной заготовки $V_{\text{ос.заг}}$ равен ее массе, деленной на плотность $(7,85 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3)$:

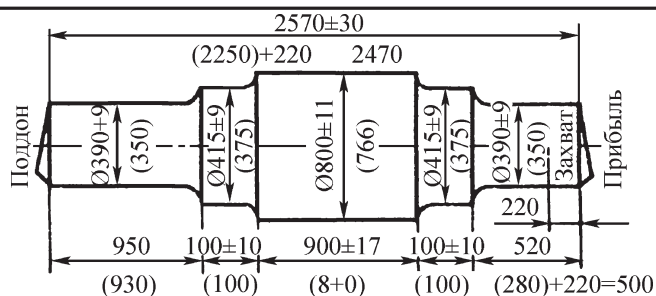
$$V_{\text{ос.заг}} = \frac{2907}{7,85 \cdot 10^{-3}} = 378 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 378\,000\,000 \text{ мм}^3.$$

Технологическая картаковки № 1

Наименование детали: вал-шестерня						
Заказ Сталь 30Х2ГМТ	Чертеж		Баланс металла			
	Механические свойства поковки	Пресс силой 23 МН				
Химический состав, %: 0,28...0,35 С; 1,0...1,3 Мн; 0,17...0,37 Si; 0,02...0,06 Ti; 1,7...2,0 Cr; 0,4...0,6 Mo; 0,04 Р; 0,04 S	Группа III; ГОСТ 8179–98** $\sigma_{\text{в}} \geq 1100 \text{ МПа};$ $\sigma_{\text{т}} \geq 900 \text{ МПа};$ $KCV \geq 800 \text{ кДж/м}^2$ HB 250...290	Число поковок	1	Составляющая:	кг	%
		Число поковок из слитка	1	Слиток	8000	100
		Норма времени на ковку	95 мин	Поковка	5200	65
		Стоимостьковки поковки	—	Прибыль	2000	25
		Температура началаковки	1230°С	Поддон	400	5
		Температура концаковки	820°С	Угар	400	5

Продолжение карты № 1

Заказ Сталь 30X2ГМТ	Чертеж		Баланс металла			
	Механические свойства поковки	Пресс силой 23 МН				
		Охлаждение по- слековки	В печи			



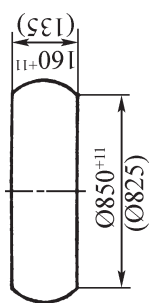
Особые замечания

1. На эскизе размеры диаметров в скобках — обдирочные (+10 мм)
2. Послековки следует изотермический отжиг
3. Отходы маркировать ХМ

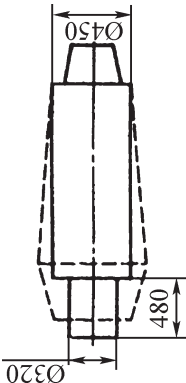
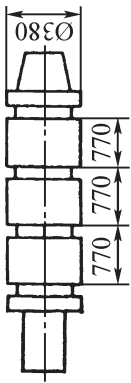
Операция	Эскизы переходов и инструмента	Норма времени и расценка
Нагрев до 1230 °С Обжатие прибыльной части слитка массой 8 т Билетировка на Ø 710 мм Посадка заготовки в печь		17 мин
Нагрев до 1230 °С Осадка до Ø1150 мм верхней осадочной плитой по чертежу Протяжка на Ø 840 мм		78 мин
Разметка и наметка по эскизу Обжатие донной и прибыльной частей на Ø 415 мм с переходом на Ø 390 мм и с разворотом слитка Правка. Отрубка донной части слитка и поков- ки. Маркировка		—

Технологический цикл

Отливка	Нагрев	Ковка	Отжиг	Обработка резанием	Термообработка
Дата	Разработал технолог	Проверил начальник бюро	Утвердил начальник отдела	Согласовано с цехом	

	Технологическая картаковки поковок из слитков № 2		Лит.																																																													
Лит.	Эскиз поковки																																																															
<table><tr><td colspan="2">Марка стали</td><td colspan="4">Технические условия на поковку</td></tr><tr><td colspan="2">Сталь 45</td><td colspan="4">Группа II</td></tr><tr><td>Количество деталей в поковке</td><td>1</td><td rowspan="2">Баланс металла</td><td rowspan="4">кг</td><td rowspan="2"></td><td rowspan="2">%</td></tr><tr><td>Количество поковок в слитке</td><td>3</td></tr><tr><td rowspan="2">Тип слитка</td><td rowspan="2">Удлинен- ный</td><td colspan="2" rowspan="2">Отходы, кг</td><td rowspan="2">Прибыль</td><td rowspan="2">13,6</td></tr><tr></tr><tr><td rowspan="2">Масса, кг</td><td>детали</td><td rowspan="2">700</td><td rowspan="2"></td><td>Поддон</td><td>2,9</td></tr><tr><td>поковки</td><td>Угар</td><td>5,5</td></tr><tr><td>слитка</td><td></td><td></td><td></td><td>Прочие отходы</td><td>8,0</td></tr><tr><td colspan="2" rowspan="2">Коэффициент использования металла</td><td colspan="2" rowspan="2">Годный остаток</td><td rowspan="5">Итого</td><td rowspan="5">100</td></tr><tr></tr><tr><td colspan="4">Профиль и размеры годного остатка</td></tr><tr><td colspan="4">Использование годного остатка</td></tr><tr><td colspan="4">Охлаждение послековки</td><td colspan="2">В печи</td></tr></table>			Марка стали		Технические условия на поковку				Сталь 45		Группа II				Количество деталей в поковке	1	Баланс металла	кг		%	Количество поковок в слитке	3	Тип слитка	Удлинен- ный	Отходы, кг		Прибыль	13,6	Масса, кг	детали	700		Поддон	2,9	поковки	Угар	5,5	слитка				Прочие отходы	8,0	Коэффициент использования металла		Годный остаток		Итого	100	Профиль и размеры годного остатка				Использование годного остатка				Охлаждение послековки				В печи		
			Марка стали		Технические условия на поковку																																																											
			Сталь 45		Группа II																																																											
			Количество деталей в поковке		1	Баланс металла	кг		%																																																							
			Количество поковок в слитке		3																																																											
			Тип слитка		Удлинен- ный	Отходы, кг		Прибыль	13,6																																																							
			Масса, кг		детали	700		Поддон	2,9																																																							
					поковки			Угар	5,5																																																							
			слитка					Прочие отходы	8,0																																																							
Коэффициент использования металла		Годный остаток			Итого	100																																																										
Профиль и размеры годного остатка																																																																
Использование годного остатка																																																																
Охлаждение послековки				В печи																																																												

Продолжение карты № 3

№ операции	Операционные эскизы поковки	Содержание операции	Уковка	Температурный интервал ковки, °С		Оборудование	Инструмент ос- новной и вспо- могательный	Норма времени	Примеча- ние
				Начало	Конец				
		Ковать цапфу Ø320 мм и длиной 480 мм с обжимом до 40 мм в начале опера- ции за ход пресса. Обжать ребра и грани слитка на Ø470 мм с об- жимом до 40 мм за ход пресса	1,1			Пресс силой 20 МН	Бойки: верх- ний — плоский, нижний — вы- резной. Кронциркуль. Измерительная линейка		Приемку слитка произво- дить по инструк- ции №
		Протянуть на Ø380 мм с обжимом до 60 мм в начале операции и до 40 мм в кон- це операции за ход пресса. Разметить согласно эскизу. Отрубить заготовки	1,4	1240	800		Бойки: верх- ний — плоский, нижний — вы- резной. Кронциркуль. Измерительная линейка. Пережимка Топор		
		Осадить до высоты 150 мм с обжимом до 100 мм в на- чале и до 20 мм в конце операции за ход пресса. Прошить отверстие Ø280 мм					Бойки: верх- ний — плоский, нижний — вы- резной. Кронциркуль. Измерительная линейка. Прошивень		Транспорт- ные рабо- тые произ- водить по инструк- ции № Нагрев произво- дить по инструк- ции № Охлажде- ние произ- водить по инструк- ции №
		Раскатать до Ø1220 мм с обжимом до 10 мм в нача- ле и 40 мм в конце за ход пресса. Править. Марки- ровать. Контроль ОТК							

Технологическая картаковки поковок из слитков № 4	Лит.		Лит.	Эскиз поковки																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									</
--	------	--	------	---------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

Высота заготовки после осадки на диаметр 1000 мм

$$H_1 = \frac{378000000}{\pi / 4 \cdot 1000000} = 485 \text{ мм.}$$

Напряжение текучести при 1100 °С для стали 50 равно 31 МПа. Коэффициент ψ примем равным 0,7.

Тогда

$$P = \psi \sigma_T \left(1 + \frac{\mu D_{\text{ос.заг}}}{3 H_1} - \frac{1}{3} \frac{H_1^2}{D_{\text{ос.заг}}^2} \right) \frac{\pi D_{\text{ос.заг}}^2}{4} =$$

$$= 0,7 \left(1 + 0,17 \frac{1}{0,485} - 0,33 \frac{0,485^2}{1^2} \right) \frac{3,14 \cdot 1^2}{4} =$$

$$= 0,7 \cdot 31(1 + 0,35 - 0,078) 0,785 = 21,7 \text{ МН.}$$

Таким образом, для осадки требуется пресс силой порядка 20 МН. Остальные операцииковки можно осуществлять на менее мощном прессе, так как они требуют меньшей силы.

Выход годного в данном процессе составляет 71 %. Отходы: 17 % на прибыль, 41 % на донную часть, 3,5 % на угар, 2,7 % на пробу. Годный остаток 1,7 %.

3. Диск. Эскиз поковки, размеры и переходы даны в технологической картековки № 2.

4. Кольцо. Эскиз поковки, размеры и переходы даны в технологической картековки № 3.

5. Кубик. Эскиз поковки, размеры и переходы даны в технологической картековки № 4.

5. КАЧЕСТВО ПОКОВОК

Качество поковок определяет точность их геометрических форм и размеров, механические свойства, структура и отсутствие поверхностных и внутренних дефектов. Получение высококачественных поковок зависит от правильной разработки их чертежей,

проектирования и выполнения технологического процессаковки, а также от организации работы технического контроля, в задачу которого входит не только выявление, но и предупреждение брака.

Наряду с производственными операциями в технологические карты вносят операции контроля, которые разрабатывают технологи, проектирующие технологический процесс. Правильная разработка технологического процесса обеспечивает наилучшие режимы обработки с учетом свойств деформируемых материалов, что исключает нарушение их сплошности или получение неоднородной структуры, ухудшающей механические свойства поковок.

В производственных условиях причинами брака могут быть дефекты исходного материала, дефекты заготовки при нагреве, а также дефекты, вызванные отклонениями от установленного технологического процесса. Таким образом, все звенья отлаженного технологического процесса необходимо постоянно контролировать.

Причиной брака кованых поковок могут быть наружные и внутренние дефекты стального слитка. Трещины и другие поверхностные дефекты при ковке не устраняются, они переходят в поковки. При нагреве в окислительной атмосфере с избытком воздуха может образоваться слой окалина большой толщины (на крупногабаритных слитках 12...15 мм), которая при ковке вдавливается в металл и образует глубокие вмятины на поверхности поковок.

На последних переходахковки при охлаждении заготовок из-за недостаточной пластичности металла могут появиться трещины. При неправильном нагреве в результате выгорания углерода на поковке из высокоуглеродистой стали может образоваться обезуглероженная поверхность, глубина которой будет превышать при-

пуск на обработку, вследствие чего снижается твердость поверхности изделия после термообработки.

При интенсивной протяжке заготовки круглого сечения, недостаточном ее нагреве или при малой массе падающих частей молота на концах поковки получаются вогнутые торцы, увеличивающие концевые припуски. При несоблюдении температурного режимаковки или недоброкачественном исходном материале образуются наружные трещины. Внутренние разрывы (свищи, расслоения) обычно возникают вследствие неправильного веденияковки. При недостаточной проковке слитков в поковке может остаться крупная кристаллическая литая структура, обуславливающая ее пониженные механические свойства.

Размеры поковок в процессековки по переходам и готовых поковок контролируют с помощью универсальных (линеек, рулеток, кронциркулей, нутромеров и др.) и специальных измерительных инструментов. Поковки, изготавливаемые повторяющимися партиями, контролируют шаблонами и скобами. Различают следующие шаблоны: прутковые — для измерения общей длины поковок или заготовок; профильные — для контроля размеров между уступами и расположения уступов в осевом направлении; контурные — для проверки габаритных размеров и внешнего контура поковок сложной формы. Толщину горячих поковок в процессековки измеряют предельными скобами, закрепляемыми на специальных державках, и регулируемыми скобами.

Из напусков, предусмотренных на кованых поковках, вырезают образцы, по которым определяют временное сопротивление, предел прочности, текучести, относительное удлинение или сужение, ударную вязкость и твердость поковок.

Приемка поковок послековки перед термообработкой осуществляют по наружному осмотру и размерам отделом технического контроля (ОТК) завода-изготовителя.

Поковки предъявляются к контролю партиями или поштучно без обработки резанием или после предварительной обработки резанием. Поковки в случае необходимости подвергаются правке. При наличии наружных дефектов небольшой глубины их вырубуют. В процессековки также вырубуют трещины.

Технические условия на поковки общего назначения диаметром (толщиной) до 800 мм из конструкционной углеродистой, низколегированной и легированной стали, изготавливаемые ковкой, регламентированы ГОСТ 8479—70*. По ГОСТ 8479—70* поковки разделены на пять групп: I группа — поковки без испытаний; II и III группы — поковки с испытаниями на твердость, причем для поковок II группы предварительную термообработку выполняют одновременно для всей партии, а для поковок III группы — термообработку делают по одинаковому режиму; IV группа — поковки с испытаниями на растяжение, ударную вязкость и твердость для поковок одной плавки стали и при совместной термообработке; V группа — принимается индивидуально каждая поковка.

Сдаточными характеристиками для поковок IV и V групп являются предел текучести и относительное сужение.

Поковку на группы распределяет потребитель, номер группы указывается на чертеже детали.

По требованию потребителя в чертеже поковки или в заказе могут быть назначены дополнительные испытания при сдаче поковок (проверка на флокены, проба по Бауману, ультразвуковой и перископический контроль, величина остаточных напряже-

ний, предел текучести при рабочих температурах, ударная вязкость при рабочих и отрицательных температурах, макро- и микроанализ структуры, проба за загиб, величина зерна и др.).

По химическому составу поковки из углеродистой, низколегированной и легированной стали должны соответствовать требованиям ГОСТ 380–94, ГОСТ 1050–88*, ГОСТ 19281–89*, ГОСТ 4543–71* и другим стандартам или техническим условиям. Допуски и технологические напуски должны соответствовать ГОСТ 7829–70* при ковке на молотах и ГОСТ 7062–90 при ковке на прессах.

Для поковок массой свыше 35 т припуски и напуски устанавливают по технологическим инструкциям, действующим на предприятии-изготовителе.

Поковки, поставляемые после окончательной термообработки, подразделяют по категории прочности. Нормы твердости для поковок II и III групп и категории прочности для поковок IV и V групп устанавливают по соглашению изготовителя с потребителем.

Категории прочности, соответствующие им нормы механических свойств, определяемые при испытании на продольных образцах, и нормы твердости приведены в ГОСТ 8479–70*. Этот ГОСТ предусматривает также рекомендуемые марки стали в зависимости от диаметра (толщины) поковок и требуемой категории прочности. При определении механических свойств на поперечных, тангенциальных или радиальных образцах ГОСТ 8479–70 регламентируется допускаемое снижение норм в процентах.

Условные обозначения для поковок разных групп следующие:

I группа — Гр. ГОСТ 8479–70*;

II–III группы с твердостью 143...179 HB:

Гр. II (III) — 143...179 HB ГОСТ 8479–70*;

IV–V группы с категорией прочности КП 50:

Гр. IV (V) — КП50 ГОСТ 8479–70*.

При особых нормах на прочностные и пластические свойства условные обозначения включают эти нормы.

На обрабатываемых поверхностях допускаются отдельные дефекты без удаления, если глубина их, определяемая контрольной вырубкой или зачисткой, не превышает 75 % фактического одностороннего припуска. Если глубина дефектов превышает односторонний припуск, то для поковок из углеродистой и низколегированной стали допускается заварка дефектов с предварительной вырубкой.

Режим термообработки устанавливает предприятие-изготовитель. Отбор проб для определения химического состава производится по ГОСТ 7565–81*, а химический анализ — по ГОСТ 22536.0–87 — ГОСТ 22536.7–88, ГОСТ 12344–2003 — ГОСТ 12365–84*.

Изготовление образцов и испытание на растяжение производят по ГОСТ 1497–84*; на ударную вязкость по ГОСТ 9454–78; на твердость по Бринеллю по ГОСТ 9012–59*.

Поковки маркируют в месте, указанном на чертеже поковки. Каждая партия поковок или поковка сопровождается документом о качестве, в котором указывается:

наименование или товарный знак предприятия-изготовителя;

номер заказа;

количество поковок в партии и их масса, номер чертежа;

марка стали и обозначение стандарта или технических условий;

химический состав;

номер плавки;

группа поковок;

категория прочности для IV и V групп или нормы твердости для II и III групп и обозначение ГОСТ 8479–70*;

вид термической обработки;

результаты дополнительных испытаний, предусмотренных чертежом поковки или условиями заказа.

Технические условия на поковки из коррозионно-стойких сталей и сплавов регламентированы ГОСТ 25054–81, а на поковки из жаропрочных и жаростойких сплавов — ГОСТ 26131–84.

При термообработке поковок (послековки или обдирки) и после нее также предусматривают контроль, который регламентируется заводскими технологическими инструкциями по

термической обработке поковок. Особое внимание при контроле обращают на температуру поковок при загрузке в печь; правильность загрузки печи; заданную скорость нагрева; температуру нагрева под отжиг, нормализацию, закалку, отпуск; температуру переохлаждения при нормализации; выравнивание температуры при перекристаллизации и отпуске, отжиге и нормализации, охлаждение с температуры отпуска и отжига; температуру поковок при выдаче из печи.

Глава 13

ОСОБЕННОСТИ КОВКИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ И ЖАРОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ, СПЛАВОВ ЦВЕТНЫХ И ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ

1. КОВКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

Правила назначения припусков, допусков и напусков для составления чертежа поковок из инструментальных сталей так же, как и для конструкционных сталей, регламентированы ГОСТ 7505–89. Однако ковка инструментальных сталей имеет свои особенности, влияющие на технологические процессы.

Ковкость инструментальных сталей зависит от металлургической природы и исходного состояния металла. Наличие в этих сталях вредных примесей (особенно серы и фосфора) приводит к понижению пластичности из-за появления красно- или синеломкости. Освободиться от вредных примесей, неметаллических включений и газов, снижающих пластичность, можно при специальных способах выплавки. Например, для инструментальных сталей наиболее оптимален способ электрошлакового переплава (ЭШП), количество неметаллических включений при котором уменьшается в 3–4 раза по сравнению со способом открытой дуговой плавки.

В качестве исходных заготовок при ковке используют слитки и заготовки, уже прошедшие первичную пластическую деформацию (прокатка, ковка). Ковкость литого металла ниже деформированного вследствие того, что в литом металле все хрупкие составляющие располагаются по границам зерен. Из-за склонности литого металла при больших степенях деформации

разрушаться, по границам зерен необходимо при первых проходах производить обжатие граней слитка с небольшой степенью деформации. С измельчением зерна и раздроблением карбидной сетки по границам зерен пластичность повышается.

Карбидная сетка в инструментальных сталях не допускается по двум основным причинам:

1) происходит выкрашивание карбидов по режущей кромке инструмента и в связи с этим преждевременный выход инструмента из строя;

2) образующиеся после закалки трещины связаны с наличием в стали карбидной сетки.

Карбидная сетка в инструментальных сталях определяется их химическим составом и структурой и зависит от температурных условий нагрева, деформации и охлаждения стали.

Нагрев слитков перед ковкой. Процессу нагрева слитков перед ковкой уделяется особое внимание, так как слитки из инструментальных сталей склонны при остывании после разлива к образованию дефектов в виде усадочных и интеркристаллических трещин. Поэтому слитки для нагрева перед ковкой, где это возможно, следует подавать в горячем состоянии, т.е. непосредственно после извлечения из изложниц с температурой на поверхности слитка порядка 700 °С.

В тех случаях когда это по каким-либо причинам невозможно, слитки высоколегированных инструментальных сталей подвергают сначала непрерывному замедленному охлаждению

1. Режимы отжига слитков инструментальных сталей

Сталь	Температура нагрева, °С	Условия охлаждения
7ХФ, 8ХФ, 9ХФ, 9Х1, 9ХВГ, ХВ4, 7ХГ2ВМ, 7Х3, 8Х3, 5ХНМ, 4ХВ2С, 5ХВ2С, 6ХВ2С	770...790	Одновременно с печью со скоростью 30...40 °С/ч до 450...500 °С, затем в охлаждаемом колодце
ШХ15, ХВГ, 9ХС, 5ХНТ, ХВ4	820...840	Одновременно с печью до 300 °С, затем на воздухе
4Х5МФС, 4ХМФС, 4Х4ВМФС, 5Х3В3МФС, 4Х3ВМФ, 3Х2В8Ф, 3Х3М3Ф	820...840	Одновременно с печью со скоростью 50...60 °С/ч до 550 °С, затем в охлаждаемом колодце
Х12, Х12Ф1, Х12М, Х6ВФ, 8Х4В3М3Ф2	860...880	Одновременно с печью со скоростью 60...70 °С/ч, затем в охлаждаемом колодце
Р9, Р18, Р18М	900	Одновременно с печью до 300 °С, затем на воздухе

в неотопливаемых колодцах до температуры 150...250 °С, а затем отжигу. В табл. 1 приведены режимы отжига слитков некоторых инструментальных сталей.

Слитки ряда инструментальных сталей обладают повышенной чувствительностью к термическим напряжениям, и при неблагоприятных условиях в них могут образовываться трещины. В связи с этим холодные слитки нагревают осторожно, причем посадку их в печи производят при сравнительно низких температурах (600...700 °С). Отожженные слитки нагревают с большей скоростью.

Нагрев заготовок сталей всех марок производят с большей скоростью, чем слитков. В некоторых случаях допускают даже посадку холодных заготовок в нагревательную печь при 1050...1100 °С.

Температуры нагрева слитков и заготовок инструментальных сталей различаются. Заготовки нагревают до более низких температур. Разница в температурах нагрева слитков и заготовок составляет порядка 100 °С. Нагрев заготовок до более низких температур обуславливается лучшей деформируемостью их по отношению к слиткам и большой склонностью инструменталь-

ных сталей к обезуглероживанию. Для уменьшения обезуглероживания, кроме нагрева до более низких температур, сокращают продолжительность пребывания заготовок при высоких температурах.

В табл. 2 приведены данные по минимальной продолжительности нагрева под ковку слитков и кованых заготовок для некоторых групп инструментальных сталей.

Температурные интервалы ковки различных инструментальных сталей приведены в гл. 5. Во избежание получения брака при ковке сталей их необходимо строго соблюдать.

Для предупреждения возникновения трещин по мере понижения температуры и, следовательно, пластичности металла в процессе ковки необходимо уменьшать значения единичных обжатий.

От правильно выбранной технологии охлаждения после ковки зависит качество металла поковок. Поэтому ускоренное охлаждение применяют только для сталей, нечувствительных к флокенообразованию и обладающих высокой теплопроводностью. Металл, чувствительный к термическим напряжениям и к образованию флокенов, подвергают замедленному охлаждению.

2. Минимальная продолжительность нагрева инструментальных сталей, ч

Сталь	Масса слитка, кг			Кованая заготовка со стороны квадрата, мм		
	1000...1400	700...1000	300...600	150...200	100...150	60...100
9Х1, 12Х1, 13Х, 9ХВГ, 7Х3, 8Х3, 9ХФ, ХВГ, 9ХС, 9Х5ВФ, ХВСГ	8	7	6	3,5	3	1,5
Х12, Х12М, Х12Ф1, Х12ВМ, 8Х4В3М3Ф2, 8Х6НФТ, 6Х6В3МФС	14	12	10	4,0	3	2,0
Х6ВФ	12	10	8	3	2,5	2,0
ХВ4, 4ХВ2С, 5ХВ2С, 5ХНМ, 3Х3М3Ф, 4ХМФС, 5ХНВ, 3Х2В8Ф, 4Х2В5МФ, 4Х2В2МФС	8	7	6	2,5	2,0	1,0
4Х5МФС, 4Х5В2ФС, 4Х3МВФ	12	8	7	3,5	3	1,0
Р18, Р18Ф2	15	13	11	7	—	—
Р9	12	10	8	5,5	—	—
Р9Ф5	—	—	9	7	—	—

Выбор схемы процесса ковки и формы бойков. При протяжке слитка в одном направлении без кантовки кристаллиты приобретают вытянутую форму. При этом исходные литые кристаллиты и легкоплавкие структурные составляющие, расположенные по их границам, разрушаются не полностью. Вследствие этого требуется применять другие схемы деформации. Для получения в поковке более оптимальных структуры и свойств ковку необходимо осуществлять с поперечной кантовкой на 90°. Такая схема ковки протяжкой в осевом направлении в вырезных или комбинированных (верхний — плоский, нижний — вырезной) бойках является наиболее распространенной.

В тех случаях когда изготавливают поковку сложной формы и действующие рабочие напряжения в детали не совпадают с направлением оси поковки, целесообразно, чтобы поковка имела анизотропные свойства с учетом направления действующих рабочих напряжений.

Деформируемость слитков при прочих равных условиях улучшается по

мере снижения доли растягивающих напряжений и приближения к схеме неравномерного объемного сжатия, уменьшения скорости деформирования и увеличения интервалов между обжатиями.

При деформации на плоских бойках наиболее рациональная ковка происходит при протяжке слитков по схеме квадрат—прямоугольник—квадрат, и наименее рациональной является ковка по схеме круг — круг. Эта схема приводит к максимальному развитию продольных трещин в середине слитка.

Степень и скорость деформации. Для определения степени деформации и температуры горячей обработки давлением инструментальных сталей диаграммы рекристаллизации с осями координат температура — размер зерна — степень деформации строят отдельно для литого и деформированного металла. Общая степень деформации выражается отношением разности площадей между сечением слитка и заготовки к площади сечения слитка.

3. Влияние скорости деформации на сопротивление деформированию при различных температурах

Ско- рость дефор- мации, с ⁻¹	Сте- пень дефор- мации, %	Темпе- ратура дефор- мации, °С	Сопро- тивле- ние де- формиро- ванию X12M, МПа	Сопро- тивление деформи- рованию P18, МПа	Ско- рость дефор- мации, с ⁻¹	Сте- пень дефор- мации, %	Темпе- ратура дефор- мации, °С	Сопро- тивле- ние де- формиро- ванию X12M, МПа	Сопро- тивление деформи- рованию P18, МПа
0,007	5	900	120	142	0,05	30	1100	62	120
0,007	5	1000	64	88	0,05	30	1200	—	80
0,007	5	1100	40	49	7,5	10	900	222	245
0,007	5	1200	24	29	7,5	10	1000	164	188
0,05	10	900	180	202	7,5	10	1100	128	140
0,05	10	1000	125	140	7,5	10	1200	100	102
0,05	10	1100	85	104	7,5	30	900	288	306
0,05	10	1200	60	68	7,5	30	1000	189	245
0,05	30	900	206	224	7,5	30	1100	160	164
0,05	30	1000	140	165	7,5	30	1200	124	—

Средние значения критических степеней деформации легированных инструментальных сталей, при которых рекристаллизация происходит с образованием крупного зерна, составляют при температуре 850 °С 5...15 %, а при 1250 °С 5...25 %. При повышении температуры деформации в процессековки рекристаллизация завершается более полно и структура стали получается крупнозернистой. Поэтому для последнего выноса необходимо применять возможно более низкие температуры начала и концаковки, так как в отдельных случаях последующая термическая обработка крупнозернистую структуру полностью не устраняет.

Легированные и высоколегированные инструментальные стали при низких температурах нагрева имеют малую скорость рекристаллизации. Поэтому в зависимости от скорости деформации может измениться характер обработки. При больших скоростях деформации обработка из горячей может обратиться в неполную горячую со снижением

пластичности металла и увеличением сопротивления его деформированию. В другом случае тепловой эффект может способствовать повышению пластичности и уменьшению сопротивления деформированию. В табл. 3 приведены данные о взаимосвязи между скоростью, степенью деформации, температурой и сопротивлением деформирования сталей X12M и P18. Анализ данных табл. 3 показывает, что повышение скорости деформации, снижение температуры и увеличение степени деформации при прочих равных условиях резко увеличивают сопротивление деформированию.

Как известно, инструментальные стали (см. гл. 1) делятся на углеродистые, быстрорежущие и легированные.

Углеродистые инструментальные стали при ковочных температурах (см. гл. 5) имеют достаточную пластичность, и их ковка не вызывает серьезных трудностей. Механические свойства этих сталей при повышенных температурах, позволяющие оп-

ределять энергосиловые параметрыковки, приведены в гл. 3.

Для получения необходимого качества деформируемых углеродистых инструментальных сталей при изменении массы слитка обычной формы от 1 до 200 т степень уковки рекомендуется применять в пределах 2,5–3,75.

Инструментальные легированные стали. Обычно чем сложнее легированы инструментальные стали, тем больше их сопротивление деформации. Представление о сопротивлении деформации легированных инструментальных сталей дают данные, приведенные в табл. 2 гл. 3. Температурные интервалыковки этих сталей представлены в табл. 1 гл. 5.

Большинство инструментальных легированных сталей являются заэвтектоидными. При нагреве перед деформацией заэвтектоидные карбиды, являющиеся избыточными, переходят в твердый раствор.

По мере охлаждения металла в процессе деформации происходит обратный процесс — выделение из твердого раствора избыточных карбидов, которое начинается при температурах примерно 800...900 °С (в зависимости от марки стали). При дальнейшем охлаждении образуется карбидная сетка по границам зерен. При температурах порядка 750 °С выделение карбидов прекращается, дальнейшее охлаждение на карбидную сетку не влияет.

Если деформация заканчивается при температурах более высоких, чем температура начала выделения карбидов, то деформация непосредственно на образование карбидной сетки не влияет. Однако чем выше температура конца деформации, тем более крупными получаются рекристаллизованные зерна. В связи с этим карбидная сетка, которая образуется по границам зерен, при определенных условиях охлаждения может получиться более грубой.

Поэтому стремятся заканчивать деформацию при возможно более низких температурах, которые ограничиваются пластичностью и сопротивлением деформированию.

Образование карбидной сетки зависит, кроме температуры металла при окончанииковки, от скорости охлаждения в интервале температур образования сетки. В зависимости от этой скорости карбидная сетка может получиться грубой или тонкой, сплошной или разорванной. Чтобы избежать образования карбидной сетки в инструментальных сталях или уменьшить ее, необходимо регулировать температуру конца деформации и скорость охлаждения стали после деформации.

Хотя инструментальные легированные стали обладают чувствительностью к напряжениям и некоторые из них флокеночувствительны, быстрое их охлаждение непосредственно послековки до температуры 650...700 °С для предотвращения образования карбидной сетки является возможным. Это связано с тем, что для предотвращения образования флокенов и трещин сталь необходимо медленно охлаждать в интервале температур 700...100 °С, т.е. в интервале температур, которые на карбидную сетку не влияют.

Для ускорения охлаждения поковки послековки обдувают воздухом или вентиляторным воздухом с распыленной водой, поступающей под давлением из форсунок. При таком охлаждении в некоторых случаях в поверхностных слоях металла карбидная сетка отсутствует, а в центральных слоях получается очень тонкой. При последующей термической обработке такая карбидная сетка уничтожается.

Высокохромистые инструментальные стали X12 и X12M и другие относятся к ледебуритному классу. Ледебуритная сетка этих сталей, обуславливающая их пониженную пластичность,

а также высокое сопротивление деформации, значительно массивнее ледебуритной сетки быстрорежущих сталей. Ледебуритная сетка увеличивается по мере приближения к центру слитка. Кроме того, ледебуритная эвтектика высокохромистых высокоуглеродистых сталей отличается от ледебуритной эвтектики быстрорежущей стали температурой плавления (1150...1160 °С для стали Х12 и свыше 1300 °С для быстрорежущей стали).

Низкая температура плавления ледебуритной эвтектики значительно уменьшает температурный интервалковки высокохромистых высокоуглеродистых сталей. При температурах свыше 1160 °С в этих сталях происходит образование новой ледебуритной эвтектики. При ковке стали в интервале температур до 1150 °С ледебуритная сетка разрушается. Однако при этом требуется достаточно большая степень уковки (табл. 4).

В случае длительного нахождения стали при температуре свыше 1150 °С происходит расплавление отдельных, распределенных по всему сечению кар-

бидов с последующим слиянием их по границам зерен, в результате чего вновь образуется ледебуритная сетка.

Большое время нагрева высокохромистых инструментальных сталей (см. табл. 2) определяется пониженной теплопроводностью.

При правильном нагреве высокохромистой стали ее пластичность высокая. На основании диаграмм пластичности можно сделать вывод, что оптимальный интервал деформации для этих сталей находится в пределах 900...1150 °С. Значительное снижение пластичности происходит при 1200 °С, что объясняется оплавлением эвтектических составляющих по границам зерен в процессе нагрева.

Однако в некоторых случаях, в рамках так называемой высокотемпературной обработки (ВТО), нагрев до 1200 °С может быть полезен [9], в частности для крупных (6,5...7,6 т) слитков стали Х12МФ. При их ковке рекомендуется следующий температурный режим. Нагрев 1180...1200 °С, выдержка в течение 1...1,5 ч, охлаждение вместе с печью до 1120...1140 °С выдержка в течение

4. Влияние массы слитка и степени уковки на карбидную эвтектику сталей Х12 и Х12Ф1

Масса слитка, кг	Сталь	Диаметр круглых заготовок, мм	Степень уковки круглых заготовок	Размеры квадратных заготовок, мм	Степень уковки квадратных заготовки	Состояние сетки карбидной эвтектики
1000	Х12Ф1	140	7,2	160	4,4	Разрушена
		130	8,3	80	17,6	Отсутствует
	Х12	130	8,5	180...160	3,5...4,4	Не разрушена
		120	9,5	140...100	5,8...11,1	Отсутствует
750	Х12Ф1	130	6,1	180...160	2,5...3,2	Разрушена не полностью
		120	7,1	140...80	4,25...13,0	Разрушена
	Х12	120	7,1	180...140	2,5...4,25	Не разрушена
		100	8,5	120...80	5,7...13,0	Отсутствует
500	Х12	120	5,5	180...120	1,9...3,8	Не разрушена
		100	7,9	100...80	6,1...9,7	Отсутствует

нии 3...5 ч. После этого слиток выдают под ковку. Данная обработка способствует повышению пластичности стали. Кроме того, при ковке указанных слитков целесообразно перед рубкой концевых отходов (прибыльной и донной частей) выполнить дополнительный подогрев до 1100...1120 °С (так как при температуре ниже 800...850 °С металл склонен к скалыванию вследствие полной потери пластичности), а осадку и прошивку осуществлять в подкладных кольцах (для снижения растягивающих напряжений и вероятности образования трещин).

Подобная высокотемпературная обработка способствует повышению пластичности и у других высокохромистых и высокоуглеродистых сталей У11, У16, ШХ15, Х5Ф, 95Х18, Х12Ф1, 160Х2Ф, Х6Ф1. Причем с повышением содержания углерода и хрома эффективность ВТО возрастает, поскольку способствует растворению и коагуляции избыточных карбидов [10]. Указанные стали следует подвергать ВТО по следующей схеме: нагрев до температур на 50...100 °С, превышающих температуру максимальной пластичности, выдержка 1...2 часа при этой температуре, охлаждение вместе с печью до температур началаковки, выдержка 1...5 ч. Уровень механических свойств поковки, откованных из слитков, прошедших ВТО, не ниже уровня свойств поковки, полученных при нагреве по стандартным режимам.

Высокохромистые инструментальные стали склонны к местному пережогу, который может, например, происходить тогда, когда в нагреваемый металл ударяет пламя от форсунок. В связи с этим слитки в процессе нагрева необходимо кантовать и следить за тем, чтобы нагрев металла был равномерным.

В некоторых случаях указанной ВТО можно восстановить пластичность,

потерянную слитком в результате перегрева.

Высокохромистые высокоуглеродистые стали как самозакаляющиеся склонны к образованию закалочных трещин, связанных с быстрым охлаждением послековки. Для предотвращения образования трещин поковки нужно охлаждать медленно. Сталь охлаждают в отопляемых или подогреваемых колодцах, проходных печах для изотермического отжига и термостатах. Температура металла при загрузке в эти устройства должна быть достаточно высокой — не ниже 700...750 °С. Сталь в термостатах охлаждают до 150... 200 °С не менее 24 ч. Не позднее чем через 48 ч после окончания охлаждения сталь должна быть подвергнута термической обработке — отжигу.

Быстрорежущая сталь всех марок обладает пониженными пластическими свойствами и большим сопротивлением деформации, превышающим сопротивление деформации низколегированных и малоуглеродистых сталей в 2—3 раза.

Наличие ледебуритной эвтектики, окружающей первичные кристаллиты, образовавшиеся при затвердевании слитков, определяет ковкость слитков. Ледебуритные оболочки дробятся в процессе горячей обработки давлением. При этом раздробленные карбиды ведут себя как посторонние включения, уменьшая пластичность стали.

Поэтому чем больше ледебуритная оболочка (ледебуритная сетка) и чем она массивнее, тем ниже ковкость стали. С ростом размеров слитков увеличиваются первичные кристаллиты и ледебуритные оболочки, окружающие эти кристаллиты. Это объясняет меньшую ковкость крупных слитков по сравнению с ковкостью небольших слитков. По мере разрушения ледебуритных карбидов, их измельчения и более равномерного распределения

ковкость стали повышается и обжатия могут увеличиваться.

После первой проковки слиток необходимо снова равномерно нагреть до температурыковки. При подогреве снимаются напряжения, которые возникают в стали вследствие разрушения ледебуритных оболочек. В процессе второй деформации начинают разрушаться ледебуритные оболочки, расположенные в центре слитка. После повторной деформации часто необходим вторичный подогрев. После повторного подогрева ковку проводят до получения требуемых размеров.

Чем больше степень пластической деформации, тем мельче и равномернее получается распределение карбидов разрушенной ледебуритной эвтектики. Для получения необходимого качества деформируемого металла степень уковки для быстрорежущих сталей может быть в пределах 10–12. При этом получаемая карбидная неоднородность поковок в значительной степени зависит от их конечного диаметра. По данным [8] необходимую карбидную неоднородность 1–3 балла по десятибалльной шкале ГОСТ 19265 на стали P18 возможно получить только на поковках с диаметром не более 30...35 мм независимо от размера исходной заготовки. Поэтому инструмент, изготовленный из поковок большего диаметра, имеет меньшую стойкость.

Вследствие низкой теплопроводности литой быстрорежущей стали слитки следует нагревать очень осторожно, особенно если их перед нагревом не подвергали отжигу. Очень важно обеспечить хороший, равномерный прогрев по всему сечению перед выдачей из печи. Это связано с тем, что быстрорежущие стали обладают повышенной чувствительностью к термическим напряжениям.

Учитывая склонность быстрорежущей стали к обезуглероживанию и ока-

линообразованию, что определяется высоким содержанием углерода и увеличивается при наличии в стали молибдена, необходимо сокращать пребывание металла при высоких температурах.

Продолжительность нагрева сокращается в первую очередь благодаря увеличению скорости нагрева при низких температурах. Температура посадки холодных слитков в печь может быть увеличена до 500...600 °С без снижения качества металла. При этом трещины не образуются.

Кованные или катаные заготовки имеют большую теплопроводность, чем слитки, чувствительность их к быстрому нагреву значительно меньше, чем у слитков, что объясняется повышением однородности металла в результате разрушения литой структуры.

Кроме того, благодаря уменьшению сечения тепловые напряжения, возникающие в металле при нагреве, также уменьшаются. Это позволяет вести нагрев заготовок значительно быстрее нагрева слитков. Поэтому температура посадки заготовок в печь может быть достаточно высокой — около 800 °С.

Температура плавления ледебуритной эвтектики быстрорежущей стали около 1300 °С. Образование новой ледебуритной сетки из раздробленных карбидов происходит при более низких температурах в зависимости от выдержки, поэтому температура нагрева слитков и заготовок не должна превышать 1200...1250 °С. При этом пластичность быстрорежущей стали достигает наивысшего значения при температуре около 1200 °С. Значения механических свойств быстрорежущих сталей при повышенных температурах представлены в табл. 5.

Температуру концаковки быстрорежущей стали ограничивают нижним пределом 950...900 °С. При более низкой температуре ковка сопряжена с появлением значительных напряжений

5. Зависимость механических свойств быстрорежущих сталей от температуры испытаний

Сталь	Температура испытаний, °С	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	Ударная вязкость (KCV), кДж/м ²
P18K5Ф2* ¹	900	163	56,6	58,1	400
	1000	93	97,4	66,6	530
	1100	61	130,4	77,0	760
	1150	46	74,0	82,5	810
	1200	35	—	—	420
	1250	28	—	—	80
P9Ф5* ²	900	153	37,8	59,2	410
	1000	82	65,6	61,9	530
	1100	55	69,0	57,1	680
	1150	48	51,2	51,4	580
	1200	38	52,8	76,3	710
	1250	26	—	—	160
P18Ф2* ³	900	189	65,6	56,6	660
	1000	141	76,0	60,3	710
	1100	82	81,2	63,7	710
	1150	56	60,0	59,9	810
	1200	40	63,4	61,9	830
	1220	31	—	—	660
P9* ⁴	800	130	—	67,5	490
	900	81	—	69,8	830
	1000	47	—	68,2	1360
	1100	27	—	68,2	1150
	1150	18	—	55	1360
	1200	15	—	—	1330

*¹ Образцы изготовлены из кованных заготовок сечением 38×38 мм.

*² Образцы изготовлены из заготовок сечением 75×75 мм после прокатки и отжига.

*³ Образцы изготовлены из заготовок сечением 75×75 мм после прокатки и отжига.

*⁴ Образцы изготовлены из кованных заготовок сечением 75×75 мм.

из-за повышенного сопротивления стали деформированию. При температурах ниже 950...900 °С сталь сильно наклепывается, что приводит к образованию трещин.

Быстрорежущая сталь обладает малой теплопроводностью и способно-

стью самозакаливаться на воздухе. Во избежание образования холодных трещин быстрорежущую сталь послековки следует подвергать медленному охлаждению или, изотермическому отжигу. Для обеспечения медленного охлаждения применяют разные сыпучие

изолирующие материалы, а также не отапливаемые и подогреваемые колодцы, выгрузку стали из которых следует производить при температуре не выше 150 °С.

2. КОВКА ЖАРОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

Жаропрочным сталям и сплавам при обработке давлением присущи следующие особенности: резко выраженная гетерофазность структуры; высокое сопротивление деформированию и большое упрочнение при высоких температурах; узкий температурный интервалковки; отсутствие фазовой перекристаллизации в процессековки и при термической обработке; низкая теплопроводность, обуславливающая особые условия нагрева и др.

Ковку высоколегированных жаропрочных сталей и сплавов целесообразно осуществлять в однофазовом состоянии, так как при гомогенной структуре деформация отдельных кристаллов происходит более равномерно. Фактически же металл слитков такого типа сталей при температурековки в большинстве случаев имеет гетерогенную структуру, которая отличается значительной неравномерностью деформаций.

Необходимая структура металла в этих сталях достигается условиямиковки. Термообработка (закалка с последующим старением), применяемая для жаропрочных аустенитных сталей, в лучшем случае может обеспечить сохранение размеров зерен, полученных при ковке. Однако чаще термообработка таких сталей приводит к росту зерен без каких-либо возможных изменений их величин другими методами теплового воздействия на металл.

Поглощение при выплавке кислорода, азота и водорода — одна из причин пониженной жаропрочности

стали и плохой деформируемости. Кислород, взаимодействуя с расплавленным металлом, образует трудно растворимые тугоплавкие оксиды хрома, алюминия и титана. Эти оксиды при застывании обволакивают кристаллы металла и снижают пластичность.

Азот в высоколегированных жаропрочных сталях вреден тем, что, взаимодействуя с хромом, титаном и алюминием, образует тугоплавкие нитриды или карбонитриды, часто в виде ликвационных скоплений, что значительно ухудшает пластичность сталей при ковке, а следовательно, и их деформируемость.

У многих жаропрочных высоколегированных аустенитных сталей разность между температурами линии ликвидуса и солидуса составляет 100... 200 °С. При кристаллизации сталей дендриты получаются обогащенными тугоплавкими составляющими. Границы же кристаллов обогащены легкоплавкими хрупкими составляющими, не входящими в состав твердого раствора. Вследствие этого с появлением растягивающих напряжений при ковке в первую очередь может наступить разрушение между кристаллами, а не пластическая деформация самих кристаллов.

Для улучшения металлургической природы слитка применяют специальные способы плавки. В слитках, полученных электрошлаковым переплавлением, вакуумно-индукционной плавкой, электронно-лучевым и плазменно-дуговым способами, можно ослабить и даже исключить дефекты, получаемые при плавке в открытых дуговых и индукционных электрических печах. Данные табл. 6 показывают, как влияют различные способы выплавки на свойства жаропрочных сталей и сплавов.

Механические свойства и структура металла, полученного дуговой плав-

6. Зависимость технологических свойств сплавов от способа выплавки

Сталь, сплав	Переplав	Температура, °C	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	K_ψ , %/МПа
10X11H20T3P	ОДП	20	980	12	14	0,01
	ВДП	20	970	18	20	0,02
	ОДП	700	—	—	—	—
XH70BMTЮ	ОДП	800	780	5,0	10	0,01
	ВДП	800	810	11,0	16	0,02
	ЭШП	800	810	7,4	14	0,017
	ОИП	800	800	13	16	0,019
	ВИП	800	800	10	15	0,019
XH55BMTКЮ	ОИП	800	850	5	11	0,013
		900	610	11	21	0,034
	ЭШП	800	850	8	12	0,014
		900	620	18	26	0,041
10XПН20T3P-Л	ОИП	20	900	7	13	0,014
	ВИП	20	900	16	24	0,038

Примечание. ОДП — открытая дуговая плавка; ВДП — вакуумно-дуговой переплав; ЭШП — электрошлаковый переплав; ОИП — открытая индукционная плавка; ВИП — вакуумная индукционная плавка.

кой, после электрошлакового переплава резко улучшаются. Макроструктура становится более плотной и однородной, поверхность слитка чистая, не требуется дополнительная зачистка, отсутствуют подкорковая и осевая рыхлости. Микроструктура металла свободна от неметаллических и строчечных оксидных включений. Электрошлаковый переплав, снижая содержание газов, способствует повышению пластичности металла при горячей обработке давлением.

Хорошее качество поковок зависит от состояния поверхности слитка, которое получается путем применения рациональных методов и оптимальных режимов разливки стали, способствующих формированию плотной макроструктуры слитка, уменьшающих содержание газов и неметаллических включений. При открытой разливке в изложницы происходит взаимодейст-

вие титана, содержащегося в жидком расплаве, с азотом и кислородом воздуха, приводящее к образованию нитридов и оксидов. Эти соединения при разливке и кристаллизации могут концентрироваться в поверхностной зоне слитка, образуя подкорковую титановую пористость. Глубина залегания подкорковой пористости составляет 10...35 мм. При разливке в инертном газе, под слоем жидкого шлака или в вакууме, глубина дефектного поверхностного слоя резко уменьшается. При ВДП (вакуумно-дуговом переплаве) зона поражения титановой пористостью практически отсутствует. Слитки из высоколегированных жаропрочных сталей, пораженные подкорковой пористостью, подвергают обработке на токарных станках до полного удаления пористой поверхностной зоны.

Для лучшего раскисления и модифицирования жаропрочных сталей аусте-

нитного класса применяют добавки редкоземельных металлов, главным образом церия. Такие добавки активно взаимодействуют с примесями металла, способствуют его очистке от неметаллических включений, растворенных газов, измельчению зерна и устранению дефектов кристаллизации.

Оптимальный температурный интервалковки жаропрочных сталей и сплавов (табл. 7) устанавливается по

данным диаграмм пластичности и рекристаллизации.

Из приведенной табл. 7 следует, что жаропрочные стали и сплавы имеют узкий температурный интервал деформирования. Для жаропрочных сталей он составляет примерно 200 °С, а для жаропрочных сплавов — 150 °С. Температуры началаковки для жаропрочных сталей и сплавов принимают на 30...40 °С выше температур, кото-

7. Температурные интервалыковки жаропрочных сталей и сплавов [1]

Материал	Марка материала	Температураковки, °С	
		Начало	Конец
Жаропрочные стали	15X18H12C4ТЮ (ЭИ654)	1160	950
	37X12H8Г8МФБ (ЭИ481)	1160	980
	10X11H20ТЗР (ЭИ696)	1100	900
	10X11H23ТЗМР (ЭП33)	1100	900
	40X15H7Г7Ф2МС (ЭИ388)	1130	980
	ХН35ВТЮ (ЭИ787)	1100	900
	ЭП105 (ЭП203)	1100	900
	ЭИ395	1100	900
	Х15Н30ВМТ (ЭП437)	1120	900
Жаропрочные сплавы	ХН78Т (ЭИ435)	1130	900
	ХН77ТЮР (ЭИ437Б)	1150	930
	ХН60ВТ (ЭИ868)	1180	1050
	ХН70МВТЮБ (ЭИ598)	1180	1050
	ХН77ТЮ (ЭИ437А)	1150	980
	ХН77ТЮРУ (ЭИ437БУ)	1150	980
	ХН70МВТЮ (ЭИ617)	1190	1060
	ХН70ВМТЮФ (ЭИ826)	1170	1060
	ХН62МВКЮ (ЭИ867)	1190	1000
	ХН56ВМКЮ (ЭП109)	1190	1070
	ХН56ВМТЮ (ЭП199)	Н80	1000
	ХН55ВМТФКЮ (ЭИ929)	П80	1060
	ЖС6-КП	1120	1050
	ХН70ВМИЮТ (ЭИ765)	1180	1050
	ХН65ВМТЮ (ЭИ893)	1180	1050

Примечание. В скобках дано старое обозначение марок материала.

рые рекомендуются для закалки. В этом случае сплав имеет однофазное состояние, что способствует улучшению качества поковок.

Дальнейший нагрев высоколегированных жаропрочных сталей ограничен тем, что при высоких температурах, вблизи верхнего интервалаковки, в таких сталях происходит интенсивный рост зерен вследствие активного развития собирательной рекристаллизации.

Нижний пределковки ограничен условием достижения необходимой пластичности, а также снижением сопротивления деформированию. При температуре ниже 1000 °С предел прочности жаропрочных сплавов резко возрастает. Одновременно при снижении температуры скорость рекристаллизации оказывается меньше скорости деформации, и обработка давлением сопровождается наклепом. Сильное упрочнение

8. Временное сопротивление σ_b , МПа, для жаропрочных сталей и сплавов при различных температурах [1]

Материал	Марка материала	20 °С	900 °С	1000 °С	1100 °С
Жаропрочные стали	15Х18Н12С4ТЮ (ЭИ654)	800	—	—	—
	37Х12Н8Г8МФБ (ЭИ481)	950	—	—	—
	10Х11Н20ТЗР (ЭИ696)	950...1100	—	—	—
	10Х11Н23ТЗМР (ЭП33)	900...1000	—	—	—
	40Х15Н7Г7Ф2МС (ЭИ388)	1000	250	160	100
	ХН35НТЮ (ЭИ787)	1050...1250	200...250	140...160	—
	ЭП105 (ЭП203)	950...1200	240	73	45
	ЭИ395	980	180	120	—
	Х15Н30ВМТ (ЭП437)	950...1070	180...200	—	—
Жаропрочные сплавы	ХН78Т (ЭИ435)	730...780	100...120	60...70	40...50
	ХН77ТЮР (ЭИ437Б)	950...1100	300	85	65
	ХН60ВТ (ЭИ868)	750...900	210...250	130...160	80...90
	ХН70МВТЮБ (ЭИ598)	1000...1100	350...400	—	—
	ХН77ТЮ (ЭИ437А)	1000	330...370	90	70
	ХН77ТЮРУ (ЭИ437БУ)	1000...1150	380	91	72
	ХН70МВТЮ (ЭИ617)	1140	490	140...180	—
	ХН70ВМТЮФ (ЭИ826)	1100...1150	500...600	150...200	—
	ХН55ВМТФКЮ (ЭИ929)	1000...1200	600...700	250...320	—
	ХН62МВКЮ (ЭИ867)	1100...1250	550...700	250...350	—
	ХН56МВКЮ (ЭП109)	1100...1300	650...800	350...450	—
	ХН56ВМТЮ (ЭП199)	1000...1150	520...650	120...160	—
	ЖС6-КП	1250...1400	750...800	470...500	270

Примечания: 1. Механические свойства жаропрочных сталей и сплавов приведены в термообработанном состоянии по ТУ.

2. Образцы для механических свойств вырезались из прутков в продольном направлении.

3. В скобках дано старое обозначение марок материала.

жаропрочных сплавов при температуре ниже 950 °С способствует образованию грубой разнотерности, от чего при последующем нагреве под термическую обработку происходит зональная рекристаллизация с образованием крупных зерен, снижающая пластичность, жаропрочность и сопротивление усталости. Обычно температура конца деформации высоколегированных жаропрочных сталей тем выше, чем более легирован сплав. Это связано с повышением у таких сплавов температуры начала рекристаллизации.

Временное сопротивление жаропрочных сталей и сплавов при температурах концаковки в 2–5 раз выше, чем углеродистых сталей (табл. 8), что необходимо учитывать при выборе оборудования.

Из-за низкой теплопроводности жаропрочных сталей и сплавов нагрев их до температуры 800...900 °С следует осуществлять медленнее, чем нагрев обычных конструкционных сталей. Начиная с 800 °С, нагрев может быть ускорен. Однако общее время нагрева заготовок из жаропрочных сталей и сплавов по сравнению с конструкционными сталями того же сечения должно быть увеличено в 2–3 раза. Это связано с тем, что из-за низкой теплопроводности и узкого температурного интервалаковки у жаропрочных

сплавов и большинства жаропрочных сталей с увеличением скорости нагрева температура начала и конца рекристаллизации возрастает. Общее время пребывания в печи нагретых до температурыковки заготовок не должно превышать 2 ч.

При ковке жаропрочных сталей и сплавов с малыми скоростями деформирования диффузионный процесс развивается наиболее полно, что обеспечивает завершение рекристаллизации и разупрочнения металла. С этих позицийковка на прессах является более предпочтительной, чемковка на молотах.

Ковка слитка протяжкой. Ковкость жаропрочных сплавов зависит от размеров слитков (табл. 9).

При протяжке плоские бойки позволяют получить относительно большой запас пластичности при ковке слитка по схеме квадрат—квадрат или квадрат—прямоугольник—квадрат.

При ковке по такой схеме обеспечивается наибольшая глубина распространения деформации по сечению заготовки и создаются благоприятные условия для интенсивной проработки центральной зоны слитка.

Применение плоских бойков при протяжке жаропрочных сталей по схеме круг—круг или при изменении схемыковки (например, с квадрата на

9. Зависимость деформируемости слитка из жаропрочных сплавов от его диаметра

Сплав	Деформируемость (условный балл) при диаметре слитков, мм							
	160	230	280	300	360	430	500	600
ХН78Т	5	5	4,5	4,5	4,0	4,0	4,0	3
ХН77ТЮ	5	4,5	4,0	4,0	3,5	3,0	3,0	3
ХН70ВМТЮ	4	4	3,5	3,0	2,5	2,0	1,0	—
ХН75ВМЮ	4	3	2,5	2,0	1,8	1,0	—	—
ХН62МВКЮ	3	2	1	—	—	—	—	—

Примечание. Деформируемость в условных баллах: 5 — очень хорошая; 4 — хорошая; 3 — удовлетворительная; 2 — плохая; 1 — очень плохая (слиток разрушается).

круг) нежелательно, так как возникающие в этом случае поперечные растягивающие напряжения приводят к образованию продольных трещин в середине слитка.

При ковке слитков жаропрочных сталей восьмигранного сечения на плоских бойках при обжатии по ребрам возможно образование внутренних разрывов. Однако если ковку такого слитка вести в ромбических бойках с углом развала 135° , в которых периметр контакта увеличивается вдвое, внутренние разрывы не возникают. Более того, такая схемаковки приводит к закрытию микротрещин, имеющихся в осевой зоне слитка.

Самым благоприятным условием при ковке в вырезных бойках является профиль, который обеспечивает контакт с заготовкой по максимальному периметру поперечного сечения, т.е. с радиусом выреза бойков, близким к радиусу слитка, что обеспечивает заготовке схему всестороннего сжатия, исключающую образование трещин в середине слитка. Однако такие бойки пригодны дляковки заготовок только одного размера (или близких к нему). При протяжке бойками, радиус выреза которых значительно (на 20...30 %) больше радиуса слитка, в середине заготовки в отдельных случаях могут образоваться трещины. Такой вариант близок к схеме протяжки круглых заготовок на плоских бойках.

В большинстве случаев после предварительного обжима слитка в бойках с вырезом по радиусу вполне допустима дальнейшая протяжка в ромбических бойках с углом выреза $90...110^\circ$.

Значение деформации за обжатие по мере проковки литой структуры слитка необходимо увеличивать. В некоторых случаях после обжима слитка на первом выносе в вырезных бойках возможен вариант перехода к дальнейшей ковке в комбинированных бойках

или даже использования схемыковки круг—квадрат—круг.

При увеличении скорости деформации выше критической, характерной для данного металла, возможно образование внутренних трещин вследствие деформационного перегрева металла в зонах наиболее интенсивной деформации. Это в наибольшей степени проявляется в сталях и сплавах с высоким сопротивлением деформации, к которым и относятся жаропрочные сплавы.

Чтобы предупредить явление возникновения деформационного перегрева и разрыхления осевой зоны заготовок, при ковке таких сталей следует: уменьшить величины обжима и скорость единичных деформаций, уменьшить частоту ударов бойка молота и темпковки, периодически в процессековки немного охлаждать разогретую заготовку.

Также целесообразно ковать высоколегированные жаропрочные стали и сплавы со скоростями деформации, обеспечивающими полное завершение процесса рекристаллизации металла. Это позволит существенно снизить сопротивление деформированию. Поэтому ковка жаропрочных сталей и сплавов на прессах предпочтительнейковки на молотах.

Плохое качество поверхности не обточенного слитка снижает пластичность. При ковке обточенных слитков возможен в 1,5–2 раза больший обжим, чем слитков, не подвергнутых обточке.

При ковке жаропрочных сталей и сплавов требуется весьма тщательно и равномерно проводить операции надрезки и пережимки. При этом для предотвращения образования поверхностных трещин заготовку следует обжимать инструментом, имеющим достаточно высокое качество поверхности рабочей части. Как правило, для выполнения этих операций применяют подогретый инструмент.

При ковке заготовок относительно большой длины для сохранения теплоты в заготовках необходимо на свободную часть поковки накладывать специальные теплоизоляционные кожухи-экраны.

На схему напряженного состояния при протяжке слитка влияет также значение относительной подачи l/h (l — подача, h — толщина заготовки). Оптимальными значениями относительной подачи при ковке независимо от формы бойков являются $0,8 > l/h > 0,5$.

Количество переходов при ковке определяется из допустимой степени деформации (табл. 10) и должно быть минимальным. Допустимые степени деформации (см. табл. 10) при ковке вдоль оси заготовки (осадка) будут больше, чем при деформировании перпендикулярно к оси круглой заго-

товки (расплющивание, протяжка). Все это необходимо учитывать при разработке технологического процесса изготовления поковок из жаропрочных материалов. Допустимые степени деформации за проход при ковке в области нижнего температурного интервала следует уменьшать.

Критические степени деформации при обработке жаропрочных сталей и сплавов находятся в пределах 1...12 % (табл. 11, 12). Однако ковка заготовок на молоте или прессе в бойках разной формы сопровождается неравномерной деформацией. В очаге деформации при каждом единичном обжиге образуются зоны, в которых фактические степени деформации могут быть ниже, равны или выше критических. Это еще больше усугубляется при ковке за несколько нагревов. После тер-

10. Допустимые степени деформации жаропрочных сплавов в зависимости от направления деформирования [1]

Марка сплава	Допустимая степень деформации, %, за один ход машины при направлении деформирования	
	вдоль оси заготовки	перпендикулярно к оси заготовки
ХН77ТЮ (ЭИ437), ХН70МВТЮБ (ЭИ598), ХН70МВТЮ (ЭИ617)	65	40...50
ХН70МВТЮФ (ЭИ820), ЭП220, ХН55ВМТФКЮ (ЭИ929)	55	35...45
ХН56ВМКЮ (ЭП109), ХН62МВКЮ (ЭИ867)	50	30...40
ЖС6-КП	40	20...30

11. Зависимость критической степени деформации от температуры сплава ХН77ТЮ

Температура деформации, °С	Интервал критической степени деформации, %	
	при статическом деформировании на прессах	при динамическом деформировании на молотах
900	1...8	3...8
950	1...6	3...10
1000	1...8	3...12
1050	1...10	1...12
1100	1...12	1...12

12. Температура начала рекристаллизации и критические степени деформации сталей и сплавов

Сталь, сплав	Температура, °С		Критическая степень деформации, %
	начала рекристаллизации	начала собирательной рекристаллизации	
12Х18Н9Т*	700...800		1...10
45Х14Н14В2	800...850	1100	0...5
ХН70Ю	950	1100...1200	1...12

* В отожженном состоянии (800...900 °С) при степени деформации 12...15 % образуется разнострунность.

мической обработки в металле такой поковки обнаруживается разнострунная структура.

Поэтому с целью получения равномерной и сравнительно мелкозернистой структуры при ковке заготовок за несколько выносов нагрев заготовок для последнего выноса следует производить до температуры, соответствующей наименее интенсивному росту зерен по диаграмме рекристаллизации. Для большего числа жаропрочных сталей и сплавов аустенитного класса такой предел температур будет соответствовать 1100...1150 °С. При этом деформация заготовки на последнем выносе должна быть выше критической в любой части деформируемого тела.

Для большинства жаропрочных сталей и сплавов механические свойства металла меняются от плавки к плавке. В табл. 13 приведены свойства сплава ХН70ВМТЮФ для нескольких плавков при различных температурах. Данные этой таблицы дают представление о возможных пределах колебания уровня механических свойств металла от плавки к плавке.

Ковка слитков осадкой. При деформировании заготовки осадкой, применяемой или в качестве вспомогательной операции для обеспечения необходимой уковки при последующей протяжке заготовок типа ва-

ла, или в качестве основной операции при изготовлении деталей типа дисков, возникают условия неравномерного течения металла по толщине заготовки. По этой причине даже после 4...5-кратной уковки при осадке жаропрочных сталей на торцах заготовок вблизи контактных поверхностей наблюдаются остатки недеформированной литой структуры. Для предотвращения этих дефектов заготовки перед осадкой подвергают протяжке. Степень уковки только за счет протяжек для заготовок ответственного назначения должна быть не менее четырех, так как даже при этой степени уковки на периферии сечения заготовки еще наблюдаются неориентированные в направлении течения металла дендриты. Это подтверждается данными, приведенными в табл. 14, в которой показано изменение макроструктуры сплава ХН77ТЮ в зависимости от степени уковки.

Волокнистое строение послековки у этих сталей наблюдается только при 10-кратной степени уковки. Поэтому осадку необходимо производить, выполнив мероприятия, способствующие повышению равномерности деформации.

При осадке дисков из жаропрочных сталей благоприятное изменение схемы напряженного состояния дос-

13. Механические свойства сплава ХН70ВМТЮФ при различных температурах

№ плав- ки	Темпера- тура испыта- ний, °С	σ _в , МПа	δ	Ψ	KCV, кДж/м ²	Kψ, %/МПа	№ плав- ки	Темпера- тура испыта- ний, °С	σ _в , МПа	δ	Ψ	KCV, кДж/м ²	Kψ, %/МПа
			%							%			
1	20	1123	17,2	16,9	340	0,01	2	1200	46	129,0	84,0	230	1,83
	900	551	23,8	27,7	800	0,05		1250	38	144,0	84,1	120	2,21
	1000	240	38,0	57,3	136	0,23	3	20	1171	17,6	21,1	360	0,02
	1100	86	95,6	82,5	220	0,96		900	501	16,4	28,0	360	0,06
	1150	58	94,4	81,9	131	1,41		1000	276	30,0	38,1	410	0,14
	1180	50	96,4	85,8	400	1,72		1100	78	85,0	87,2	103	1,12
	1200	41	116,4	87,1	140	2,12		1150	69	104,4	91,6	830	1,32
	1250	36	112,0	90,4	140	2,51		1180	61	118,4	86,5	830	1,41
2	20	1340	28,0	42,2	103	0,03	4	1200	35	98,2	84,1	210	2,40
	900	565	27,0	36,5	760	0,06		1000	245	37,8	63,8	108	—
	1000	219	53,4	57,7	109	0,26		1100	78	66,4	87,8	153	—
	1100	77	142,4	92,4	295	1,20		1150	64	98,2	94,3	283	—
	1150	57	129,2	88,5	700	1,55		1180	55	112,8	92,7	183	—
	1180	56	127,2	81,7	510	1,46		1200	43	150,0	88,5	430	—

Примечание. Образцы изготавливали из круглых заготовок диаметром 35 мм (плавки № 1 и 2) и квадратных сечением 75×75 мм (плавки № 3 и 4); заготовки получали из металла, подвергнутого прокатке (плавки № 3 и 4) и термической обработке по режиму: нагрев до 1050 °С с выдержкой 4 ч + отпуск при 800 °С с выдержкой 16 ч.

14. Зависимость макроструктуры сплава ХН77ТЮ от степени уковки

Состояние металла	Размеры слитка или заготовок, мм	Степень уковки у	Характер макроструктуры
Литой слиток	280×290	0	Литая
Кованая заготовка	120×120	4	Волокнистая в центре заготовки и дендрит на периферии
	75×75	10	Волокнистая по всему сечению

тается применением горячих прокладок из мягкой листовой стали и спаренной осадкой заготовок. Основным условием принудительного течения металла вблизи контактных поверхностей является более низкий предел текучести материала прокладки по сравнению с материалом заготовки при температурековки. Последнее достигается выбором мате-

риала прокладок, а также условиями их подогрева. Наиболее целесообразно осуществлять нагрев прокладок совместно с заготовками и подавать их под пресс в виде стопы во избежание их быстрого остывания.

При ковке заготовок за несколько нагревов осадку заготовок с прокладками целесообразно осуществлять на последнем и предпоследнем выносах.

Для жаропрочных сталей толщину прокладок S выбирают из соотношения размеров осаживаемой заготовки D/H (D — диаметр заготовки перед осадкой; H — высота заготовки перед осадкой). Для заготовок с $D/H = 1,5 \dots 3,0$ $S = (0,07 \dots 0,1) H$; для заготовок с $D/H = 3,0 \dots 5,0$ $S = (0,1 \dots 0,12) H$.

Применение прокладок обеспечивает получение поковок с меньшей выпуклостью на свободной поверхности, чем при обычной осадке.

Осадка заготовок в стопе (с кантовкой по мере осадки на 180°) применяется для повышения равномерности деформации в заготовках с большим соотношением D/H .

Повышение качества рабочей поверхности бойков в значительной степени снижает коэффициент трения и обеспечивает уменьшение зон затрудненной деформации. Это условие еще более справедливо для бойков, подогретых до $350 \dots 400^\circ \text{C}$.

Использование смазки также резко снижает коэффициент трения и уменьшает неравномерность деформации. В качестве смазочного материала при ковке жаропрочных сталей применяют смесь жидкого стекла с графитом или стеклянный порошок и стеклянную вату, которые одновременно служат и тепловой изоляцией между металлом и бойком. Для удобства пользования в производстве такие смазочные материалы наносятся на картонные прокладки, сгорающие от соприкосновения с горячим металлом.

3. КОВКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Ковка цветных металлов и сплавов применяется как предварительная обработка исходного слитка с целью повышения равномерности структуры металла, уменьшения размера зерна и повышения пластичности при после-

дующей обработке давлением, так и для получения окончательных поковок. Заготовками дляковки служат слитки или предварительно деформированные (прессованные) заготовки.

Технологические процессыковки заготовок из сплавов цветных металлов в части выбора исходных заготовок, баланса металла, содержания и последовательности операций практически ничем не отличаются от технологических процессовковки стальных заготовок. Исключение составляют потери металла на угар, которые при ковке сплавов цветных металлов не учитываются.

Исходным документом для разработки чертежа поковки является чертеж чистой детали, контуры которой наносят на чертеж поковки условным пунктиром.

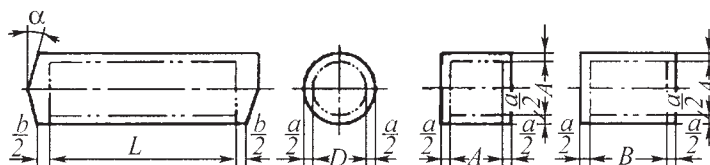
По табл. 15 в зависимости от длины детали, формы и размеров ее сечения определяют припуски на механическую обработку и допуски на размеры. Под каждым размером поковки в скобках проставляют соответствующий размер чистой детали. Если разубка является последней операцией технологического процессаковки, то торцы поковки оставляют скошенными (см. эскиз в табл. 15). Угол скоса не должен превышать 10°C . Если поковка имеет прямоугольное сечение, то припуски и допуски назначают по максимальному размеру сечения.

В чертежах на поковки для деталей ответственного назначения обычно указывают нужное направление волокна, которое должно быть обеспечено технологическим процессом.

В чертежах на поковки для особо ответственных деталей иногда предусматривают специальный технологический напуск, из которого вырезают образцы для механических испытаний и металлографических исследований.

Наибольшее применение в современном машиностроении, приборо-

15. Припуски на механическую обработку и допуски на размеры кованных поковок, изготавливаемых из цветных сплавов на молотах и прессах



Длина детали L , мм	Размеры детали, на которые назначаются припуски и допуски	Диаметр D или размеры сечений A и B , мм					
		25...50	50...80	80...120	120...180	180...260	260...360
До 250	D, A, B, L	4±1,5	5±2	6±3	—	—	—
		12±5	15±5	20±7	—	—	—
250...500	D, A, B, L	5±2	6±2	7±3	8±3	12±4	14±4
		15±5	20±6	23±8	26±8	32±10	36±10
500...800	D, A, B, L	6±2	8±2	9±3	11±3	12±4	13±4
		18±5	22±7	25±8	30±10	35±10	49±12
800...1250	D, A, B, L	7±2	9±3	11±3	12±4	14±4	15±5
		22±6	26±8	30±10	35±10	40±12	45±12
1250...2000	D, A, B, L	8±2	10±3	12±4	13±4	15±5	16±5
		26±8	30±8	36±10	38±10	45±12	45±12
2000...2500	D, A, B, L	10±3	12±3	14±4	16±5	17±5	—
		30±8	33±8	38±10	45±12	45±12	—

строении и других отраслях промышленности получили алюминиевые, магниевые, медные и титановые сплавы.

Слитки и заготовки цветных металлов перед нагревом, с целью предотвращения поверхностных дефектов при ковке, подвергают обтачиванию. Дефекты небольшой глубины (до 1 мм), как правило, удаляют абразивной зачисткой.

Основными критериями, которые определяют термомеханический режимковки, являются температура нагрева сплава, степень деформации, скорость деформации и вид напряженного состояния. Для обеспечения оптимальных условийковки и получения качественных поковок необходимо соблюдать требуемый интервал температур начала и конца деформации (см. гл. 1).

При установлении режима обработки необходимо учитывать значение допустимой степени деформации сплава, которая определяется пластическими свойствами. Допустимые степени деформации цветных металлов и сплавов меньше для литого и крупнозернистого металла, а также для металла, находящегося в многофазном состоянии и имеющего гексагональную кристаллическую решетку по сравнению с металлом, предварительно деформированным с мелкозернистой структурой, находящимся в однофазном состоянии и имеющим кубическую гранецентрированную кристаллическую решетку.

Хорошее качество металла поковок из цветных металлов и сплавов обеспечивается тогда, когда значение степени деформации, особенно на последнем переходе, не совпадает с ее

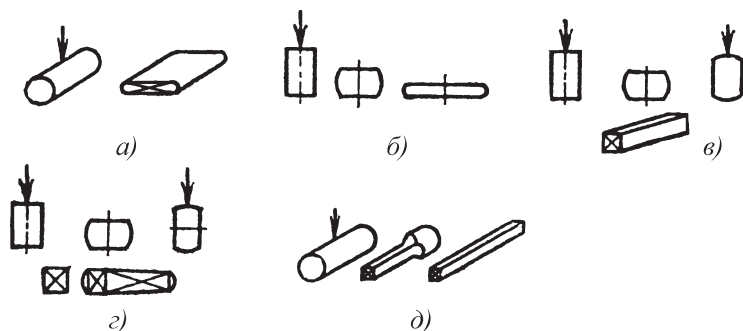


Рис. 1. Схемы ковки заготовок из сплавов цветных металлов:

а — протяжкой перпендикулярно к оси заготовки; *б* — осадкой; *в* — осадкой с последующей протяжкой поперек волокна; *г* — разносторонней ковкой; *д* — протяжкой и перековкой с большего диаметра на меньший

критическими значениями по диаграмме рекристаллизации (см. гл. 1).

Повышение скорости деформации может привести к незавершению процесса рекристаллизации и неполному разупрочнению, что вызовет рост сопротивления деформированию и уменьшение пластичности.

Ковка слитков из цветных сплавов протяжкой в одном направлении при достаточных степенях обжима приводит к измельчению зерна с образованием волокнистой структуры. При этом существенно повышаются показатели механических свойств, но одновременно возникает их анизотропия в продольном и поперечном направлении. Анизотропию свойств в слитках можно устранить ковкой слитка по схеме осадка—протяжка—осадка.

Металл в процессе ковки будет иметь большую пластичность при схеме, когда наблюдаются в большей степени сжимающие напряжения и в меньшей — растягивающие. Это достигается, в частности, применением вырезных бойков. Относительно невысокая пластичность и небольшое сопротивление деформированию наблюдается при ковке на плоских бойках и обработке в открытых ручьях штампового инструмента.

При деформировании сплавов на плоских бойках схемы ковки разделяются на простые (*а, б*), когда заготовка подвергается только осадке или протяжке, и сложные (*в—д*), представляющие собой сочетание двух простых схем (рис. 1).

Алюминиевые сплавы. Деформируемые алюминиевые сплавы делят на три группы (табл. 16).

С повышением степени легирования алюминиевого сплава пластичность уменьшается, а прочность повышается. К вредным примесям алюминиевых деформируемых сплавов относятся железо, кремний, натрий и другие элементы.

Железо обычно находится в виде соединения Al_3Fe , имеющего форму игл, а кремний в свободном виде, так как практически не растворяется в алюминии и не образует с ним химических соединений. Обе фазы имеют высокую твердость и малую пластичность, поэтому они снижают пластичность алюминиевых сплавов как при комнатной температуре, так и в условиях обработки давлением, способствуя зарождению и развитию трещин. Однако уменьшение содержания железа и кремния ниже целесообразного предела, приводит к увеличению размера зерна в слитке и понижению пластичности. Это объясня-

16. Классификация по прочности алюминия и сплавов на его основе

Прочность и пластичность	Сплав	Механические свойства	
		$\sigma_{\text{в}}$, МПа	Δ , %
1. Мягкие, пластичные	АД, АВ; АМц, АМг1; АМг2; АД31, АД33	Менее 300	5...22 (в зависимости от степени нагартовки)
2. Средней прочности и пластичности	Д1; АК2, АК4; АК4-1; АК6; АК6-1; ВД17, АМг6	30...45	10...15
3. Высокой прочности с пониженными техноло- гическими свойствами	АК8; В93; В95, В96; ВАД23	Более 45 (до 60 и более)	5

ется тем, что эти элементы являются модификаторами.

Наиболее сильное влияние на свойства сплавов при ковке оказывают температура нагрева сплава, степень и скорость деформации. Температура начала и концаковки, допустимые степени и скорости деформации для некоторых сплавов приведены в табл. 36 гл. 1. Диаграммы их деформирования представлены на рис. 1–13 гл. 1.

Нагрев заготовок из алюминиевых сплавов проводят преимущественно в электрических печах сопротивления. В связи с высокой температуропроводностью заготовки и слитки алюминиевых сплавов можно загружать в печь холодными, без снижения температуры печи для их предварительного подогрева. Допустимая скорость нагрева алюминиевых сплавов и вытекающая отсюда продолжительность нагрева определяются не опасностью возникновения термических напряжений, а необходимостью полного растворения упрочняющих фаз (CuAl_2 , Mg_5Al_8 и т.п.) и обеспечения гомогенного состояния, при котором пластичность сплавов достигает максимальной величины.

Для заготовок диаметром до 50 мм необходимая длительность нагрева составляет 1,5 мин на каждый миллиметр диаметра или толщины. Для заготовок диаметром свыше 100 мм можно принимать 2 мин на каждый миллиметр.

Охлаждение поковок из алюминиевых сплавов можно проводить на воздухе.

Диаграммы рекристаллизации алюминиевых сплавов свидетельствуют о том, что при степенях деформации за один обжим ниже и выше критических, т.е. ниже 4 % и выше 15... 20 %, зерна получаются мелкими. Более высокая температура окончанияковки способствует росту зерен вследствие протекания собирательной рекристаллизации, которая наблюдается в период остывания послековки до температуры, соответствующей прекращению процесса рекристаллизации. Следовательно, для получения меньшего размера зерна ковку надо заканчивать при температурах, близких к нижнему пределу ковочных температур.

Оптимальные показатели механических свойств и наименьшая анизотропия свойств алюминиевых сплавов достигаются при общей деформации сплавов 65...75 %.

Анализ диаграммы пластичности сплавов по изменению допустимых деформаций за один обжим в зависимости от скорости деформации показывает, что с повышением скорости деформации пластичность сплавов снижается, но не намного. В табл. 17 даны механические свойства алюминиевых сплавов при различных температурах и скоростях деформации.

17. Механические свойства алюминиевых сплавов при различных температурах и скоростях деформации

Сплав	Свойства	Скорость деформации с ⁻¹	Температура, °С									
			50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
АМг	$\sigma_{0,2}$, МПа	0,0005	99	89	87	90	93	94	90	77	53	13
		0,5	100	91	89	92	96	98	94	81	57	17
		20,0	128	126	130	136	142	144	138	122	92	45
	δ , %	0,0005	27,2	29,1	30,5	31,7	33,1	35,2	38,3	42,8	49,1	57,6
		0,5	26,7	28,3	29,4	30,4	31,6	33,5	36,4	40,8	46,9	55,3
		20,0	26,6	24,9	23,0	21,4	20,4	20,5	22,0	25,2	30,7	38,8
АМц-литой	$\sigma_{0,2}$, МПа	0,0005	81	79	76	72	67	59	50	37	22	4
		0,5	81	80	77	74	68	61	52	40	25	8
		20,0	79	78	76	74	72	69	65	60	53	44
	δ , %	0,0005	13,5	14,7	18,3	23,1	28,1	32,0	33,7	32,2	26,2	14,6
		0,5	15,6	16,7	20,1	24,9	29,7	33,6	35,4	33,9	28,0	16,6
		20,0	17,0	14,3	15,2	18,7	23,7	28,9	33,2	35,5	34,7	29,7
АМц	$\sigma_{0,2}$, МПа	0,0005	93	91	86	79	69	57	45	32	19	07
		0,5	95	93	88	81	71	60	48	35	23	11
		20,0	100	99	96	90	83	74	65	56	47	40
	δ , %	0,0005	32,8	30,4	27,2	23,9	20,9	18,8	18,1	19,5	23,4	30,5
		0,5	32,6	30,3	27,2	23,8	20,8	18,7	18,0	19,4	23,2	30,2
		20,0	36,3	36,6	35,3	33,2	30,7	28,4	26,8	26,5	28,1	32,1
АВ	$\sigma_{0,2}$, МПа	0,0005	125	115	106	97	88	77	65	51	34	14
		0,5	127	117	109	100	91	81	69	55	38	18
		20,0	114	112	110	107	104	99	93	84	72	56
	δ , %	0,0005	23,6	25,5	26,3	26,1	25,3	24,2	22,9	21,9	21,3	21,5
		0,5	24,3	26,3	27,1	27,0	26,4	25,4	24,4	23,6	23,3	23,8
		20,0	22,0	20,2	18,9	18,3	18,8	20,5	23,9	29,1	36,4	46,2
АК6-литой	$\sigma_{0,2}$, МПа	0,0005	139	124	114	106	98	90	79	65	45	18
		0,5	139	125	115	107	100	91	81	67	47	21
		20,0	160	148	139	132	126	118	107	92	71	43
	δ , %	0,0005	8,9	12,9	19,2	26,8	34,6	41,5	46,5	48,5	46,4	39,2
		0,5	8,4	12,2	18,3	25,7	33,4	40,2	45,1	47,1	45,0	37,9
		20,0	1,2	3,2	1,3	3,1	9,3	16,0	22,3	27,0	29,1	27,5
АК6	$\sigma_{0,2}$, МПа	0,0005	174	153	135	119	104	90	74	58	39	17
		0,5	169	149	132	117	103	89	75	59	41	21
		20,0	166	149	135	123	113	105	96	87	76	63

Продолжение табл. 17

Сплав	Свойства	Скорость деформации с ⁻¹	Температура, °С									
			50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
АК6	δ , %	0,0005	15,8	18,3	21,7	26,2	31,9	39,2	48,1	59,0	71,9	87,2
		0,5	15,3	17,4	20,4	24,5	29,8	36,7	45,3	55,8	68,5	83,4
		20,0	16,1	14,5	14,5	16,2	20,0	26,0	34,4	45,5	59,4	76,3
АК8-литой	$\sigma_{0,2}$, МПа	0,0005	126	118	110	100	91	80	69	58	47	35
		0,5	125	118	110	101	92	82	71	61	49	38
		20,0	128	128	125	121	15	07	97	86	73	59
	δ , %	0,0005	1,7	0,1	0,1	2,1	9,9	19,6	29,9	39,5	47,4	52,3
		0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	6,8	16,4	26,6	36,1	43,8	48,5
		20,0	0,1	0,1	0,1	0,1	4,9	12,2	19,2	24,7	27,5	26,3
АК8	$\sigma_{0,2}$, МПа	0,0005	198	172	149	127	108	89	72	55	37	19
		0,5	194	169	146	126	107	89	72	56	39	22
		20,0	174	165	157	148	138	126	113	98	79	57
	δ , %	0,0005	5,9	6,9	10,4	15,6	22,0	28,9	35,7	41,7	46,3	48,8
		0,5	5,7	6,7	10,1	15,3	21,7	28,5	35,3	41,3	45,9	48,5
		20,0	10,3	9,1	10,6	14,2	19,2	24,9	30,8	36,2	40,5	43,0
Д1-литой	$\sigma_{0,2}$, МПа	0,0005	126	122	113	101	87	71	56	41	30	22
		0,5	129	126	117	106	91	76	61	47	35	27
		20,0	136	149	153	152	145	133	119	103	86	70
	δ , %	0,0005	10,9	15,6	20,9	26,6	32,5	38,3	43,8	48,8	53,1	56,5
		0,5	10,7	15,3	20,5	26,1	31,8	37,5	43,0	47,9	52,2	55,6
		20,0	6,4	5,5	5,9	7,5	10,0	13,2	16,9	20,9	25,0	28,9
Д1	$\sigma_{0,2}$, МПа	0,0005	227	210	184	153	120	87	57	34	21	20
		0,5	227	210	185	155	122	90	61	39	25	24
		20,0	211	216	209	193	172	147	123	101	85	78
	δ , %	0,0005	16,1	18,4	21,4	25,0	29,0	33,5	38,4	43,6	49,2	54,9
		0,5	15,7	17,8	20,6	24,0	27,9	32,3	37,1	42,3	47,8	53,6
		20,0	14,9	12,2	11,4	12,5	15,4	20,0	26,2	34,1	43,5	54,5
Д16-литой	$\sigma_{0,2}$, МПа	0,0005	140	133	125	116	105	93	79	64	46	26
		0,5	143	137	129	121	111	99	86	71	54	35
		20,0	126	128	128	127	125	121	115	107	98	86
	δ , %	0,0005	0,1	0,1	4,2	14,6	27,5	40,7	52,2	59,9	61,7	55,5
		0,5	0,1	0,1	0,8	10,7	23,0	35,7	46,7	53,8	55,0	48,2
		20,0	0,0	0,1	0,1	2,6	9,9	17,0	21,6	21,8	15,5	0,4

Окончание табл. 17

[illegible]

Алюминиевые сплавы высокой и средней пластичности могут обрабатываться давлением при разных напряженных состояниях. От самых жестких схем — ковка на плоских бойках, до самых мягких механических схем деформации — ковка в вырезных бойках и ограничительных кольцах. Для обработки малопластичных алюминиевых сплавов необходимо применять закрытые и полужакрытые схемы деформации.

Магниеые сплавы. В промышленности из сплавов магния, подвергаемых пластической деформации, наиболее широко применяют сплавы МА2, МА1, МА2-1, МА3, МА5 и МА8. Сплавы МА1, МА8 обладают высокой пластичностью при горячей и холодной обработке давлением. Временное сопротивление этой группы сплавов $\sigma_B = 200...230$ МПа. Сплавы магния с различным содержанием алюминия и небольшими добавлениями цинка и марганца МА2, МА2-1, МА3, МА5 имеют более высокие прочностные свойства ($\sigma_B = 240...300$ МПа) и пониженные пластические характеристики. Детали, работающие в условиях повышенных температур, изготовляю из сплавов МА9, МА11, МА13.

Рассмотрение диаграмм рекристаллизации магниевых сплавов (см. гл. 1) при статической и динамической осадке показывает, что скорость деформации влияет на развитие процесса рекристаллизации, которая при статическом деформировании заметно проявляется уже при температуре 350 °С. При повышении скорости деформации начало процесса рекристаллизации смещается в сторону высоких температур (600 °С). Поэтому при деформировании под молотом упрочнение будет заметно во всем интервале ковочных температур, а в случае деформирования на прессе — только у нижней его границы.

Сопротивление деформированию магниевых сплавов при малой ско-

рости деформации в 1,5–2 раза меньше по сравнению с обработкой их при высоких скоростях деформации. Кроме того, для большинства магниевых сплавов допустимые степени деформации на молоте примерно в 1,5–2 раза меньше, чем на прессе.

Сплавы с повышенным содержанием легирующих элементов более чувствительны к скорости деформации, поэтому их целесообразно деформировать на прессах с малыми скоростями деформации. Малолегированные сплавы типа МА1, МА8 менее чувствительны к скорости деформации и хорошо обрабатываются как на прессах, так и на молотах со значительными степенями деформации (табл. 18).

Критические деформации магниевых сплавов, вызывающие значительный рост зерна, согласно диаграммам рекристаллизации составляют 8...10 %. Чтобы исключить получение разнотекстурности при ковке магниевых сплавов, их необходимо деформировать за проход не менее чем на 15 %.

Теплофизические свойства магниевых и алюминиевых сплавов весьма схожи. Поэтому условия посадки заготовок в печь и время нагрева для этих сплавов практически одинаковы (табл. 19). К особенностям магниевых сплавов следует отнести взрывоопасность магниевой пыли и мелкой стружки, которые перед посадкой заготовок в печь необходимо тщательно удалять. Следует также учитывать, что увеличение длительности выдержки при высокой температуре свыше необходимой (более 2...4 ч) в процессе нагрева магниевых сплавов приводит к заметному снижению механических свойств поковок. Продолжительность нагрева магниевых сплавов в зависимости от диаметра или толщины заготовки приведена в табл. 19.

18. Зависимость максимально допустимой степени деформации, %, магниевых сплавов от схемыковки на молоте

Сплав	Температурный интервалковки, °С		Схемыковки (см. рис. 1)					
	Начало	Конец	а		б	в	г	д
			Протяжка без кантовки	Протяжка на квадрат или прямоугольник				
МА2	430	350	55	25	70	80	80	50
МА8	420	340	35	15	55	—	55	—
МА14	420	300	40	20	65	—	65	—
МА5	380	300	—	—	50	—	—	—

Примечание. Менее пластичные сплавы МА8 и МА5 деформировать по схемам а, в, г и д не рекомендуется вследствие возникновения трещин (схемы а, в и д) и хрупкого разрушения (схема г).

19. Продолжительность нагрева алюминиевых, магниевых и медных сплавов

Сплавы	Время (мин) нагрева 1 мм диаметра (толщины) заготовки d, мм, при размерах (d) заготовки		
	до 50 мм	50...100 мм	св. 100 мм
Алюминиевые и магниевые	1,5	1,5 + 0,01 (d – 50)	2,0
Медные	0,75	0,75 + 0,005 (d – 50)	1,0

При разработке технологических процессовковки магниевых сплавов на прессах и молотах можно пользоваться данными о температурах и допустимых степенях деформации (см. табл. 37, гл. 1).

Пластичность магниевых сплавов резко снижается при температурах ниже 250...200 °С. Это объясняется изменением числа действующих плоскостей и направлений внутрикристаллических сдвигов. Поэтому несоблюдение температуры концаковки приводит к перенаклепу и трещинам.

Медные сплавы. Наибольшей пластичностью медь обладает в интервале температур 800...950 °С. При этих температурах медь хорошо поддается обработке всеми ковочными операциями. В зонах критических степеней деформаций, которые при этих температурах составляют 5...12 %, у меди наблюдается исключительно резкий рост

зерна. Поэтому обжатие необходимо осуществлять со степенями деформации не ниже 15...20 %.

Сплавы на медной основе (латуни и бронзы) имеют при ковке ряд особенностей, связанных с их фазовым состоянием. Согласно диаграмме состояния латуни с содержанием Zn до 39 % при температуре до 455 °С имеют однородный состав, т.е. представляют собой область твердого раствора — α-фазу. Сплавы этой области обладают высокой пластичностью и хорошо куется в горячем (при 750...850 °С) и даже в холодном состоянии.

Латуни с содержанием Zn более 39 % имеют или двухфазную (α + β), или только однофазную структуру (β-фазу). Сплавы этой группы имеют низкую пластичность и хорошо деформируются лишь в горячем состоянии.

При обработке латуней ковкой предпочтительней мелкозернистая структу-

ра. Размер зерна, а следовательно, и свойства латуней зависят от степени предшествующей деформации, температуры и продолжительности отжига. С повышением температуры отжига быстрее протекает процесс рекристаллизации. С повышением степени, предшествующей холодной деформации, зерно получается значительно мельче при снижении температуры рекристаллизации. На процесс рекристаллизации и скорость ее протекания существенно влияет также химический состав латуней. С увеличением содержания Zn температура начала рекристаллизации α -латуней снижается. При отжиге сильно деформированной двухфазной латуни рекристаллизация α -фазы начинается при температуре 300 °С. Однако β -фаза в этих условиях не изменяется, и рекристаллизация ее происходит при более высокой температуре. Неполная рекристаллизация оказывает отрицательное

влияние на пластичность медных сплавов. Процесс рекристаллизации медных сплавов с образованием наиболее крупного зерна получается при степенях деформации 10...15 %, являющихся у этих сплавов критическими. Рекристаллизация с образованием мелкого зерна происходит в том случае, когда ковку осуществляют при более высоких за критических деформациях. Поэтому деформацию этих сплавов необходимо осуществлять со степенями деформации за один обжим, превышающими 15 %, соблюдая при этом установленные температурные интервалы деформации (табл. 20).

При ковке медных сплавов у нижней границы температурного интервалаковки пластичность их резко снижается. Поэтому при обработке таких сплавов в условиях, близких к линейной схеме напряженного состояния (осадка, прошивка, протяжка) на плоских бойках, степень деформации сле-

20. Температурные интервалыковки медных сплавов

Сплав	Температурный интервалковки, °С		Сплав	Температурный интервалковки, °С	
	Начало	Конец		Начало	Конец
Латуни:			Л59	820	730
Л96	850	700	Медь:		
Л90	900	800	М1, М2, М3	950	800
Л68, Л63	850	700	Бронза:		
ЛАН59-3-2	750	700	БрА5	900	750
ЛН65-5	850	650	БрА7	900	760
ЛЖМц59-11	820	650	БрАМц9-2	960	800
ЛМц58-2	750	600	БрАЖ9-4	900	800
ЛМцА57-3-1	730	600	БрАЖМц10-3-1,5	900	800
Л090-1	900	850	БрАЖН10-4-4	900	800
Л070-1	750	650	БрБ2	800	650
Л062-1	750	680	БрКМц3-1	780	600
ЛС60-1	820	700	БрКН1-3	910	800
ЛС59-1, ЛС59-1В	780	640			

дует выдерживать в пределах 30 %, так как большие по величине степени деформации за один обжим приводят к образованию трещин.

Снижение пластичности объясняется тем, что у латуней в зоне температур 200...600 °С (в зависимости от ее химического состава) наблюдается зона хрупкости. Так, у латуней Л90, Л96 зона хрупкости находится в интервале температур 500...600 °С. Хрупкость в основном обусловлена влиянием примесей (Pb, Sn, Bi и др.), приводящих к образованию в этих условиях хрупких межкристаллитных прослоек. Кроме того, в латуни, начиная с 450 °С и ниже, происходит образование малопластичной β' -фазы, также резко снижающей пластичность сплава. Деформация при таких температурах, кроме снижения пластичности, приводит к значительному возрастанию сопротивления деформированию. Однако с повышением температуры примеси растворяются, и пластичность латуней резко повышается.

У некоторых видов бронз этот интервал зоны хрупкости значительно шире. Например, для бронзы БрАЖ9-4 он составляет 200...700 °С с резким снижением пластических свойств при температуре 400 °С.

Соблюдение верхнего температурного интервала обработки для сплавов

на медной основе также имеет существенное значение. С повышением температуры за указанные в табл. 20 пределы наблюдается резкий рост величины зерна даже при значительных степенях деформации за один удар (или нажатие), что в конечном итоге приводит к хрупкому состоянию сплава.

Представление о значениях временного сопротивления и относительного удлинения некоторых медных сплавов при температурах обработки дает табл. 21.

При сравнительно узком интервале температурковки сплавов на медной основе требуется обработка давлением с минимальным числом проходов и операций. Поэтому ковку сплавов на медной основе осуществляют преимущественно на молотах. При ковочных температурах медные сплавы обладают высокой теплопроводностью. Для увеличения времени остывания заготовки бойки целесообразно подогревать до 250...400 °С.

Для повышения пластичности медных сплавов (для достижения больших степеней деформации) рекомендуется применять осадку в ограничительном кольце. В этом случае исключается возможность свободной разгонки и создается боковое давление на осаживаемую заготовку, что повышает сжимающие напряжения и снижает растягивающие

21. Временное сопротивление и относительные удлинения некоторых медных сплавов при повышенных температурах

Марка сплава	Температура испытания, °С	σ_B , МПа	δ , %
Л62	800	14,7	50
Л69	700	13,7	38
ЛС59-1	750	9,8	55
ЛС59-1	600	24,5	65
Бр. АЖ9-4	800	29,4	54
Бр. АМц-92	850	3,9	80
Бр. Б2	750	58,8	—

напряжения и деформации. При деформации по такой схеме хрупкое состояние не наступает даже при деформации, превышающей 35...40 %. Однако такая схема деформации позволяет осуществлять ковку (осадку) при соблюдении общего правила: т.е. до момента соприкосновения с внутренней стенкой кольца деформация не должна превышать 30 %.

Для всесторонней равномерной проработки структуры металла сплава наряду с осадкой применяется протяжка. С помощью протяжки можно получить поковки заданных размеров, а также прутки и полосы мерные и немерные по длине, из которых в горячем состоянии производится отрубка заготовок заданных размеров для дальнейшейковки. Протяжку сплавов можно осуществлять на плоских бойках. Однако для малопластичных сплавов, как правило, применяют вырезные (особенно полукруглые) бойки, создающие всесторонний обжим, препятствующий возникновению боковых растягивающих (разрушающих) напряжений. Кроме того, вырезные бойки (полукруглые и ромбические с углом $\beta = 90...120^\circ$) позволяют достичь увеличения производительности протяжки (по сравнению с плоскими бойками) на 20...40 %. Необходимое качество металла при протяжке медных сплавов можно получить за счет небольших подач при каждом обжиге. Это приводит к большей степени уковки за каждый обжим и к интенсификации процесса протяжки. Операции протяжки можно осуществлять на ковочных молотах, прессах или ковочных вальцах.

В процессе нагрева до ковочных температур большинство медных сплавов претерпевают фазовые превращения, что повышает продолжительность нагрева. Однако процесс фазовых превращений протекает в медных сплавах значительно быстрее, чем растворение

упрочняющей фазы алюминиевых сплавов. Кроме того, коэффициент поглощения поверхности у них больше (0,6), чем у алюминиевых (0,11...0,19). Поэтому продолжительность нагрева медных сплавов значительно меньше по сравнению с алюминиевыми. Представление о времени нагрева некоторых заготовок из медных сплавов дает табл. 22.

Титановые сплавы. Применяемые в промышленности сплавы по уровню прочности и способности к пластической деформации подразделяют на четыре группы:

1. Сплавы повышенной пластичности — малопрочные (σ_B в отожженном состоянии не более 600 МПа) — технический титан ВТ1-00, ВТ1-0, низколегированные сплавы ОТ4-0 и ОТ4-1.

2. Сплавы средней прочности (σ_B в отожженном состоянии 600...1000 МПа) — ВТ5, ВТ5-1, ОТ4, ВТ4, ВТ20, ВТ6, ВТ6С, ВТ16. Сплавы этой группы обладают удовлетворительной технологической пластичностью.

3. Высокопрочные сплавы (σ_B выше 1000 МПа) — ВТ6, ВТ14, ВТ15, ВТ22, ВТ23. Для получения гарантированной прочности эти сплавы (за исключением ВТ22) должны подвергаться упрочняющей термообработке. Сплавы этой группы обладают сравнительно невысокой пластичностью и повышенной чувствительностью к концентраторам напряжений.

4. Жаропрочные сплавы (временное сопротивление в отожженном состоянии 1000 МПа, после ВТМО или упрочняющей термообработки — выше 1200 МПа) — ВТ3-1, ВТ8, ВТ9, ВТ18, ВТ25. Мало отличаясь от сплавов предыдущей группы по прочности при комнатной температуре, сплавы этой группы имеют более высокую прочность при температуре 400...600 °С. Основная область применения жаропрочных титановых сплавов — диски, ло-

22. Режим нагрева некоторых сплавов на медной основе

Марки цветных сплавов	Сечение слитка или заготовки, мм	Масса слитка или заготовки, кг	Температура печи при посадке, °С	Продолжительность нагрева в печи, ч	Продолжительность выдержки, ч	Общее время нагрева, ч
ЛН65-5	$d = 120$	35...50	850	0,5	0,25	0,75
	250×260	400		2,25	0,5	2,75
	300×300	700		2,75	0,5	3,25
	$d = 400$	1400		4	0,65	4,65
ЛТ90	$d = 120$	35...50	900	0,65	0,35	1
	250×250	400		2,5	0,5	3
	300×300	700		3	0,5	3,5
Л62	$d = 120$	35...50	800	0,5	0,35	0,85
	250×250	400		2,5	0,5	3
	300×300	700		3	0,5	3,5
ЛС59-1	$d = 120$	35...50	800	0,5	0,3	0,8
	250×250	400		2,5	0,5	3
	300×300	700		3	0,5	3,5
ЛМц58-2	$d = 120$	35...50	750	0,65	0,35	1
	250×250	400		2	0,5	2,5
	300×300	700		2,5	0,5	3
БрАЖ9-4	250×250	400	900	2,5	0,5	3
ЛЖМц59-1-1	$d = 120$	35...50	800	0,5	0,35	0,85
	250×250	400		2,5	0,5	3
	300×300	700		3	0,5	3,5
БрАЖМц10-3-1,5	$d = 120$	35...50	900	0,65	0,3	0,9
	250×250	400		2,5	0,5	3,25
	300×300	700		3	0,5	3,75
БрАМц 9-2	$d = 120$	35...50	1000	0,6	0,3	0,9
	250×250	400		3	0,5	3,5
	300×300	700		3,5	0,5	4

патки, кольца и другие детали компрессоров газотурбинных двигателей.

Горячая обработка давлением титановых сплавов имеет больше общего с обработкой сталей, чем с обработкой цветных сплавов. Однако имеются и некоторые существенные особенности.

При изготовлении поковок из титана используют круглые слитки диаметром 350...950 мм и массой 0,5...15 т,

получаемые вакуумно-дуговой плавкой. Использование дуговой вакуумной плавки с двумя переплавами улучшает механические и технологические свойства металла. Перед ковкой слитки подвергаются обтачиванию по наружной поверхности. Используют также заготовки, уже подвергнувшиеся пластической деформации (например, прессованием).

Режимыковки промышленных титановых сплавов выбирают по данным диаграмм пластичности с учетом скорости деформации, сопротивления деформированию, структуры металла, а также температуры полного полиморфного превращения.

Анализ характера изменения прочностных и пластических свойств технически чистого титана и его сплавов показывает, что операции обработки давлением можно выполнять при следующих температурных режимах:

1. В холодном состоянии. Применяют при изготовлении деталей простых форм, когда необходимости в повышении пластичности, а также в снижении потребной силы деформирования нет.

2. При низком подогреве, ниже интервала температур снижения пластических свойств, которое наблюдается у титановых сплавов при температурах 250...400 °С. Применяется при изготовлении деталей несложной формы, когда необходимо снизить силу деформирования.

3. При высоком подогреве (обычно 500...600 °С), т.е. выше интервала температур снижения пластических свойств. Применяют в случае изготовления деталей при значительной деформации заготовки с целью повышения пластичности, снижения силы деформирования и недопущения упрочнения, которое при этих температурах очень незначительно. Деформация титана при температуре выше 600 °С упрочнения практически не вызывает.

4. В горячем состоянии выше температуры рекристаллизации получают поковки, изготовление которых связано с большими деформациями и силами деформирования. При таком температурном режиме проводят операции свободнойковки и объемной штамповки заготовок больших сечений и размеров.

При выборе температуры нагрева слитка титанового сплава подковку и температурного интервала горячего деформирования определяющим фактором следует считать температуры рекристаллизации и полиморфного превращения (табл. 23). Чем выше эти

23. Температура фазового превращения, начала и конца рекристаллизации титановых сплавов [1]

Марка сплава	Температура фазового превращения $\alpha + \beta \leftrightarrow \beta$, °С	Температура рекристаллизации, °С		Марка сплава	Температура фазового превращения $\alpha + \beta \leftrightarrow \beta$, °С	Температура рекристаллизации, °С	
		Начало	Конец			Начало	Конец
BT 1-00	885...890	580	670	BT8	980...1020	900	980
BT 1-0	885...900	600	700	BT9	980...1020	900	980
BT5	980...1030	750	850	BT14	920...960	900	930
BT5-1	950...990	880	950	BT16	840...880	820	840
OT4-0	860...930	680	800	BT18	990...1030	900	980
OT4-1	910...950	720	840	BT20	980...1020	800	950
OT4	920...960	760	860	BT22	840...880	800	825
BT4	960...1000	780	900	BT23	880...930	—	—
BT3-1	960...1000	850	960	BT25	990...1030	900	990
BT6	980...1010	850	950	BT15	750...800	500	770
BT6C	950...990	850	950				

температуры, тем выше температурный интервал горячего деформирования. При этом следует различать первичную ковку и ковку предварительно деформированного металла. Как правило, все сплавы имеют пластичность в литом состоянии существенно ниже, чем сплавы после предварительной деформации. Поэтому ковку литых заготовок следует проводить при температурах, которые на 40...60 °С выше температурыковки заготовок предварительно деформированных. Такая разница в пластичности наблюдается примерно до температуры 1000 °С, выше которой допустимые степени деформации практически одинаковы.

Первичная ковка слитков из титановых сплавов осуществляется в три этапа. На первом этапе деформация слитка осуществляется слабыми обжатиями в однофазной β -области со степенью деформации 20...30 % за проход до раздробления первичной литой структуры при температуре, превышающей на 100...150 °С температуру полиморфного превращения. На втором этапе осуществляется деформация заготовки в однофазной β -области с применением двух-, трехкратной осадки и протяжки со сменой осей при температуре, превышающей на 50...100 °С температуру полиморфного превращения. На третьем этапе осуществляется всесторонняя проработка металла заго-

товки в двухфазной ($\alpha + \beta$)-области при температуре, не достигшей на 20...40 °С температуры полиморфного превращения. Режимы первичнойковки слитков приведены в табл. 24.

Для снижения необходимой силы деформирования при ковке сплавы целесообразно нагревать до температур, соответствующих однофазной β -области. Но при таких температурах образуется крупнозернистая структура, снижающая вследствие слабой прочности границ зерен прочностные и пластические свойства поковок. Поэтому для окончательного деформирования используются более низкие температуры, соответствующие двухфазной ($\alpha + \beta$)-области.

Оптимальной температурой для получения мелкого зерна в однофазных сплавах является 900 °С, а в двухфазных сплавах температуру началаковки выше 980 °С стараются не применять. Для сохранения хорошей пластичности сплавов не следует снижать температуру и заканчивать ковку при температуре, которая ниже температуры начала рекристаллизации.

В зоне температур 800...950 °С для большинства титановых сплавов наблюдается резкое повышение пластичности (относительного удлинения). Поэтому наибольшее формоизменение следует проводить именно при этих температурах.

24. Термомеханические параметрыковки слитков титановых сплавов

Сплав	Температурный интервалковки слитков, °С		Степень деформации слитков за один нагрев, %	Сплав	Температурный интервалковки слитков, °С		Степень деформации слитков за один нагрев, %
	Начало	Конец			Начало	Конец	
BT1-00	1050	750	20...30	BT6	1100	850	30...70
BT1-0	1050	750	20...30	BT9	1180	900	>40
OT4-0	950...1050	750	30...50	BT16	1050	850	30...60
OT4-1	950...1050	750	30...50	BT20	1180	900	20...30
BT5-1	1180	900	30...50	BT22	1080	850	30...50

Критические степени деформации, при которых происходит значительный рост зерна у титановых сплавов, находятся в пределах 2...12 %. При деформациях, равных 85 % и более, на диаграммах рекристаллизации наблюдается второй максимум роста зерна, который образуется вследствие развития процесса собирательной рекристаллизации. Для получения мелкого зерна необходимо превышать критические степени деформации за один обжим. Однако общая степень деформации при этом не должна превышать 85 %. Поэтому для получения однородной структуры и хороших показателей механических свойств металла весьма важна величина деформации за каждый нагрев. При ковке металла в двухфазной ($\alpha + \beta$)-области оптимальной является степень деформации, равная 40...50 % за каждый нагрев или подогрев, а при ковке металла в однофазной β -области — 70 %. Более легированные сплавы допускают меньшую степень деформации.

В табл. 25 для некоторых сплавов представлены значения допустимых

степеней деформации за один удар и за один вынос при динамическом деформировании.

Титановые сплавы при ковке склонны к крайне неравномерной деформации по сечению заготовки и к проявлению высокой ориентации кристаллов при односторонней деформации. Это приводит к анизотропии механических свойств. Ввиду указанного при выполнении технологических процессов и операций, для которых характерна неравномерная деформация и есть участки, не испытывающие деформаций, нагрев следует проводить до менее высоких температур.

Назначая режим и время нагрева титановых заготовок, необходимо помнить, что теплопроводность титана при температуре 20 °С примерно в 5 раз меньше, чем у углеродистой стали.

С повышением температур значения теплопроводности титановых сплавов повышаются, приближаясь к соответствующим значениям стали, оставаясь, однако, в 1,5–2 раза меньшими. Поэтому в начальный период нагрева

25. Допустимые степени деформации при ковке титановых сплавов

Сплав	Исходное состояние сплава	Допустимая степень деформации за один удар, %	Допустимая степень деформации за один вынос, %	
			наибольшая	наименьшая
BT-1-0	Слиток	80...35	80	60
	Заготовка	80...70	80	40...25
BT3-1	Слиток	70...20	70	60
	Заготовка	70...45	70	40...25
BT5	Слиток	70...10	70	60
	Заготовка	70...45	70	40...25
BT6	Слиток	70...10	70	60
	Заготовка	70...50	70	40...25

Примечания: 1. Наибольшая деформация соответствует верхнему пределу температуры деформирования, наименьшая деформация — нижнему пределу температуры обработки.

2. Допустимая деформация за нагрев менее 25 % допускается при условии хорошо продеформированного исходного материала.

титановых сплавов может возникать большой перепад температур по сечению заготовки, особенно при больших диаметрах последней. Это может вызвать термические напряжения, достаточные для образования в нагреваемом металле микро- и даже макротрещин. Чтобы избежать этого, нагрев заготовок из титановых сплавов, особенно больших сечений, до температур 800...850 °С следует проводить с большой осторожностью и с выдержкой при ковочной температуре для выравнивания температуры по сечению заготовки. Скорость нагрева до ковочных температур должна быть меньше, чем при нагреве стальной заготовки. Для заготовок с поперечным размером свыше 200 мм необходим двухступен-

чатый нагрев — подогрев до 800...850 °С и окончательный нагрев до конечной температуры. Такой нагрев наиболее удобно проводить в двухкамерных электрических печах. Режим нагрева заготовок и слитков из титановых сплавов устанавливают в соответствии с данными, приведенными в табл. 26.

Во время нагрева слитки и заготовки необходимо кантовать через каждые 15...30 мин. При перерывах в ковке титановых заготовок температуру печи необходимо снизить на 150...200 °С, а при возобновлении работы поднять до требуемой с максимальной допускаемой мощностью печи скоростью. При длительном перерыве в работе заготовки необходимо выгрузить

26. Продолжительность нагрева титановых сплавов перед ковкой

Размер слитка или заготовки, мм	Длительность выдержки при температуре загрузки, мин*	Длительность нагрева до температурыковки или штамповки, мин	Длительность выдержки при температурековки или штамповки, мин
550	150	140	65
450	120	120	55
350	90	80	45
300	75	60	40
250	60	40	35
225	55	35	30
200	50	35	30
180	—	70	25
160	—	60	20
140	—	50	20
120	—	40	15
100	—	30	15
80	—	25	10
60	—	20	10
40	—	15	8
30	—	10	5
<25	—	8	5

* Температура печи при загрузке (800 + 50) °С.

27. Допустимое время пребывания титановых заготовок в печи при ковочных температурах

Сечение заготовки, мм	30...45	50...70	75...140	150...190	200...250	260...350	360...550
Время, ч	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	4,5

на асбестовую подстилку или сухой песок. Время пребывания заготовок при ковочных температурах не должно превышать времени, указанного в табл. 27.

Для обеспечения хорошего качества металла титановых сплавов также необходимо соблюдать оптимальные скорости деформации, так как на процессе деформирования сказывается тепловой эффект. Разогрев титановых сплавов при ковке объясняется большим сопротивлением деформированию и их низкой теплопроводностью.

На пластичность титановых сплавов как литых, так и предварительно деформированных заметно влияет изменение скорости деформации, особенно в зоне температур от 800...

900 °С до 950...1000 °С. Пластичность в этой температурной зоне снижается при переходе от статического деформирования на прессе к динамическому на молоте, что можно объяснить неполной рекристаллизацией за время удара. Поэтому дляковки титановых сплавов обычно применяют гидравлические прессы, что, впрочем, не исключает использование молотов.

Временное сопротивление при растяжении некоторых марок титановых сплавов при различных температурах указано в табл. 28. При определении энергосиловых параметровковки эти данные позволяют определить необходимую силу прессы.

Массу падающих частей молотов дляковки титановых заготовок в зави-

28. Временное сопротивление титановых сплавов при различных температурах, МПа [1]

Группа сплава	Марка сплава	20 °С	700 °С	800 °С	900 °С	1000 °С
Повышенной пластичности	BT 1-0	400...550	75	35	18	16
	OT4-1	600...750	120	60	20	15
Средней прочности	BT5	750...950	250	110	70	40
	BT5-1	800...1000	210...230	90...100	70	25
	OT4	700...900	100	75	25	15
	BT16	800...1000	200	80	20	15
	BT20	950...1100	400	250	125	60
Высокопрочные	BT6	950...1120	250	130	80	30
	BT14	950...1120	280	120	60	20
	BT15	900...1100	250	160	70	55
	BT22	1100...1250	180	60	40	30
	BT23	1100...1250	250	150	50	50

Окончание табл. 28

Группа сплава	Марка сплава	20 °С	700 °С	800 °С	900 °С	1000 °С
Жаропрочные	BT3-1	1000...1250	250	120	80	25
	BT8	1000...1200	400	200	80	40
	BT9	1050...1250	600	250	100	50
	BT25	1050...1250	400...500	150...200	90...100	50
	BT18	1000...1200	650	380	160...180	—

Примечания: 1. Механические свойства сплавов приведены в состоянии поставки (отожженные).

2. Образцы для механических свойств вырезались из прутков в продольном направлении.

29. Зависимость массы падающих частей молота от размеров заготовок из титановых сплавов

Максимальная масса падающих частей молота, кг	Сторона квадрата или диаметр заготовки, мм	Максимальная масса падающих частей молота, кг	Сторона квадрата или диаметр заготовки, мм
250	40	2000	130...200
500	40...70	2500	150...250
750	60...100	3000	200...300
1000	80...150	5000	250...450
1500	100...180		

симости от размера их сечения можно определить по табл. 29.

При ковке титановых сплавов используют в основном плоские бойки, так как эти сплавы достаточно пластичны. Кромки бойков должны быть закруглены, и на них не должно быть выработок более 2,0...3,0 мм. Во избежание охлаждения поверхности заготовки и для исключения образования трещин на поверхностях поковок бойки перед началом работы должны быть подогреты до температуры не ниже 150...250 °С.

4. КОВКА ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ НА ИХ ОСНОВЕ

К тугоплавким принято относить металлы с температурой плавления свыше 1650 °С. В периодической системе элементов Менделеева они рас-

положены в IV–VIII группах. Совокупность физико-химических и механических свойств этих металлов, с одной стороны, делает их незаменимыми при создании особо жаропрочных конструкций, работающих в таких условиях, в которых ни один другой материал работать уже не в состоянии, а с другой — обуславливает сложность их обработки давлением. Кроме самих тугоплавких металлов широкое применение в качестве конструкционных жаропрочных материалов находят сплавы на их основе. Повышая легированием жаропрочность, стремятся одновременно добиться увеличения их пластичности, позволяющей снизить температуру пластической деформации без ухудшения качества изделий.

Первичную деформацию слитков тугоплавких металлов осуществляют ковкой или прессованием. Прессова-

ние является более предпочтительным способом деформации слитков по сравнению с ковкой, так как схема напряженного состояния при прессовании (всестороннее сжатие) более благоприятна. При прессовании время на деформацию во много раз меньше, чем при ковке, а также значительно меньше число циклов деформации. Например, на ковке слитка ниобия диаметром 70...80 мм и длиной 100...130 мм на пруток диаметром 20...30 мм требуется не менее трех — пяти подогревов и около 20...35 мин «чистой»ковки, тогда как на процесс прессования такого прутка требуется в среднем 1 мин.

Однако применение прессования в ряде случаев ограничено мощностью оборудования и стойкостью инструмента при высоких температурах. Поэтому в промышленности также получили распространение процессыковки в плоских и фасонных бойках.

При первичной горячей обработке не только изменяется форма полуфабриката, но существенно изменяются структура и свойства металла. Измельчение зерен и увеличение, таким образом, их удельной (приходящейся на единицу объема) поверхности приводит к снижению удельной концентрации примесей внедрения, что приводит к повышению пластичности.

Ковкой слитков обычно получают заготовки, предназначенные для дальнейшей обработки (прессования, прокатки). В качестве конечной операции для получения поковок (обычно крупногабаритных) из слитков ковку применяют реже. Значительно чаще окончательные поковки изготавливают из заготовок, полученных прессованием, прокаткой или спеканием.

Известно, что экономически целесообразно для обработки давлением использовать крупные заготовки и слитки, из которых можно получить полуфабрикаты большей длины с по-

вышенным выходом годного. Исходя из этого стремятся уменьшить диаметр исходной заготовки и увеличить ее длину.

Технология обработки давлением тугоплавких металлов состоит из последовательных операций — от подготовки слитков и заготовок до удаления полуфабрикатов из под пресса или молота. Обязательными при производстве полуфабрикатов из тугоплавких металлов являются отделочные операции: механическая обработка, травление и термическая обработка.

Подготовка и нагрев заготовок. Подготовка исходных заготовок к обработке давлением состоит в удалении разнообразных поверхностных дефектов. В этом случае затраты на подготовку заготовок окупаются увеличением выхода годного и получением надлежащего качества готовой продукции.

Перед деформацией слитки или спеченные заготовки тщательно обрабатывают механическим способом, удаляя наружный дефектный слой, усадочную раковину и т.п. Вследствие высокой стоимости отдельных металлов поверхность их слитков не подвергается механической обработке. Так, на слитках гафния дефекты устраняют, оплавляя их поверхность электрической дугой в камере, заполненной аргоном, гелием или смесью этих газов. В результате такой обработки загрязнение поверхности металла незначительно. Оплавлением удаляют дефекты и на других сплавах.

Температуры нагрева тугоплавких металлов выбирают на основе данных о структуре и физико-механических свойствах металла, определяющих его пластичность и деформируемость, а также с учетом конкретных возможностей нагревательного и обрабатывающего оборудования и конечных свойств полуфабриката. Для боль-

шинства тугоплавких металлов температурный интервал горячей обработки достаточно широк — от температуры рекристаллизации до $(0,85...0,95) T_{пл}$. Верхний температурный предел ограничен появлением жидкой фазы и межзеренным растрескиванием и зависит от содержания и характера примесей внедрения, а также теплового эффекта при пластическом формоизменении. Нижний температурный интервал ограничен температурой рекристаллизации.

Высокие температуры плавления и рекристаллизации тугоплавких металлов в большинстве случаев не позволяют осуществлять пластическое формоизменение в условиях горячей деформации. Поэтому обработка осуществляется вблизи нижней границы температурного интервала горячей деформации или даже несколько ниже, в интервале «теплой» деформации. Как следствие, процессы разупрочнения, которые протекают в металле при деформировании, ограничиваются возвратом, а рекристаллизация полностью пройти не успевает. Отсутствие полной рекристаллизации является главной особенностью первичной обработки давлением тугоплавких металлов.

Другой особенностью термомеханической обработки тугоплавких металлов является высокая химическая активность этих материалов при высоких температурах, что приводит к загрязнению их примесями. Это также ограничивает верхний температурный интервал нагрева тугоплавких металлов.

В зависимости от температуры пластической деформации слитки и заготовки из тугоплавких металлов нагревают в вакууме в индукционных и электропечах с силовыми или молибденовыми нагревателями. Нагрев осуществляют также в среде очищен-

ного водорода (для нагрева молибдена и вольфрама) или очищенного и осушенного аргона (либо гелия) с содержанием не более 0,002 % O_2 и 0,003 % N_2 . Применяют также предварительный нагрев в ваннах с расплавленным стеклом при окончательном подогреве в хлоробариевой ванне (применяют для нагрева гафния, реже — молибдена) [5].

Одним из распространенных способов защиты тугоплавких металлов и сплавов от внешней среды при нагреве и обработке давлением является использование оболочек, например, стальных. Слиток или заготовку помещают в оболочку, которую заваривают, предварительно откачав воздух. После завершения процессов пластической и термической обработки оболочку удаляют механическим путем или травлением.

Используют также обмазки и разные гальванические покрытия. На заготовке создают пленку, например, из стекла, которая защищает металл от окисления при нагреве и пластической деформации. Для нагрева ванадия применяют покрытие никелем. Однако указанные способы не обеспечивают получения полуфабрикатов и готовых изделий, соответствующих все возрастающим требованиям к качеству поверхности. Поэтому применяют дополнительные операции (механическую обработку, травление и т.д.), что приводит к увеличению стоимости изделий.

Одним из эффективных способов защиты тугоплавких металлов от окисления и газонасыщения в процессах нагрева и обработки давлением является создание специального оборудования, позволяющего проводить все операции: нагрев, пластическую деформацию, охлаждение и термообработку — в вакууме или в средах регулируемого состава (с.р.с.).

Ковка молибдена. Молибден в литом состоянии имеет крупнокристаллическую структуру, состоящую преимущественно из столбчатых кристаллитов. Крупнозернистость структуры литого молибдена и расположение по границам зерен примесей и легкоплавких окислов резко снижают пластичность. Поэтому ковка слитков из молибдена имеет ограниченное применение — для получения поковок больших размеров, когда объем заготовки из предварительно прессованного прутка недостаточен.

Пластические свойства молибдена позволяют обрабатывать его при температурах 1300...1400 °С. Литой молибден невысокой чистоты с содержанием кислорода более 0,0025 % допускает за один удар степень деформации порядка 15...20 %. Более высокие степени деформации (до 60 %) возможны для металла повышенной чистоты. Ковку слитков из молибдена начинают при 1400 °С в направлении продольной оси слитка со степенью деформации 50...60 %. Последующие операции осуществляют в направлении, перпендикулярном к оси слитка, и заканчивают ковку при температурах 900...1000 °С. Высокая пластичность молибденовых сплавов достигается всесторонней ковкой с двумя-тремя промежуточными подогревами. Такой металл можно осаживать на 90 % при пониженных температурах (1100...1200 °С). Применение прессования дает возможность наряду с более равномерной деформацией литой малопластичной структуры иметь более равномерное распределение локальных включений оксидов. Особенно эффективно прессование с противодавлением. В этом случае при содержании кислорода не более 0,0001...0,0002 %, а азота 0,001...0,002 % допускается обработка в холодную.

В целях обеспечения минимального упрочнения и снижения сопротивления деформированию ковку и штамповку молибдена и особенно его сплавов было бы желательно выполнять при температурах выше 1700 °С. С повышением температуры деформации до 2000...2400 °С пластичность литого молибдена повышается, и ковка таких слитков осуществляется более успешно. Однако нагрев молибдена до таких температур приводит к сильному окислению и охрупчиванию металла при деформации на воздухе, поэтому ковку при таких температурах проводят в защитных средах.

Свободную ковку молибденовых слитков на диски проводят в оболочках из сплавов на железной или никелевой основе. При этом применяют раздельный нагрев слитков молибдена до 1600 °С и оболочки — до 500...1000 °С. Затем в нагретую оболочку вставляют горячий слиток и проводят осадку [5].

При ковке молибденовых сплавов требуется некоторая корректировка режимов нагрева и деформации в зависимости от состава сплава. Так, ковку литых слитков сплавов марок ЦМ1, М4ВП рекомендуется проводить при 1300...1500 °С; слитков малолегированных сплавов ЦМ2А, ВМ1, ЦМ6 — при 1500...1600 °С с подогревом до 1600 °С; сплавов типа ВМ2, ЦМ5, сплавов системы Мо—W (до 30 % W) — при 1800 °С.

Чаще ковку и штамповку полуфабрикатов ведут из предварительно деформированного металла, пластичность которого значительно выше, что позволяет понизить температурный интервал деформации. Заготовки из молибденовых сплавов с содержанием до 0,4 % Zr подвергают ковке и штамповке в интервале 1450...1200 °С, а сплавы с содержанием до 0,2 % Zr — в интервале 1350...1000 °С.

30. Длительная прочность зарубежных сплавов молибдена [5]

Сплав	Длительная прочность, МПа, при температуре, °С			
	980	1095	1200	1315
Mo	—	100,6/79,5	—	—
Mo — 0,5 % Ti	—/353,0	330,6/248,3	—/123,6	89,3/68,67
TZM	—/480,6	430,6/363,9	—	152,0/96,0
TZC	—	437,6/375,7	—	227,6/145,18
WZC	—	—	—	103/—
Nb — TZM	—	—	—	213,8/—
Mo — 30 % W	—/323,7	—	—	—

Примечание. Длительность испытаний: 10 ч (в числителе) и 100 ч (в знаменателе).

Для разупрочнения металла в процессековки осуществляют промежуточный вакуумный отжиг в течение 5 ч для сплавов с содержанием до 0,4 % Zr при температуре 1450 °С, а для сплавов с содержанием до 0,2 % Zr — при температуре 1400 °С.

Иногда упрочнение, возникающее в процессе обработки при температурах ниже рекристаллизационных, используют для повышения удельной прочности.

Ковку спеченных заготовок можно выполнять при температуре 1160...1200° С. При этом поковки из заготовок, полученных гидростатическим прессованием и низкотемпературным спеканием, имеют более высокие показатели пластических и прочностных свойств.

Представление о прочностных характеристиках молибденовых сплавов при повышенных температурах дает табл. 30 и рис. 2, на котором показано изменение удельной силы при осадке под копром образцов одного из молибденовых сплавов в зависимости от температуры и степени деформации. Эти данные позволяют оценить необходимые силы деформирования при выборе оборудования.

Одним из затруднений, возникающих при ковке молибдена, является образование триоксида MoO_3 , начиная с температуры 800 °С и выше. Об-

разующиеся на поверхности металла в процессе его нагрева маслянистые капли триоксида молибдена действуют как смазка, вследствие чего заготовка может выскользнуть из бойков. Это создает опасность для рабочих, особенно при ковке на плоских бойках. (Подобное явление наблюдается и при ковке вольфрама.) Выскальзывание заготовки можно предупредить, посы-

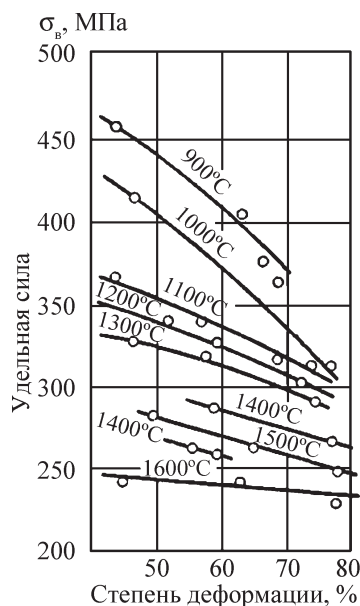


Рис. 2. Силы при ударной осадке под копром предварительно деформированного молибдена

пая бойки песком. Менее опасно вести ковку в фасонных бойках.

Чтобы испарения оксидов, отличающиеся небольшой токсичностью, не загрязняли атмосферу цеха, вблизи ковочного агрегата необходима отсасывающая вентиляция.

Ковка вольфрама. Вольфрам и сплавы на его основе обрабатывают ковкой и штамповкой на обычных молотах, ротационно-ковочных машинах и высокоскоростных машинах ударного действия (до 40 м/с), реже — на прессах. Это связано с тем, что увеличение скорости деформирования положительно сказывается на пластичности вольфрама.

Исходные материалы для заготовок под обработку давлением получают путем порошковой металлургии, дуговой и электроннолучевой плавкой.

Высокая температура рекристаллизации вольфрама вызывает затруднения при его нагреве под обработку давлением.

Поэтому ковку вольфрама, как правило, проводят ниже температуры рекристаллизации. Для снятия напряжений и получения однородной структуры на первых операцияхковки заготовки подвергают промежуточному отжигу. При этом повышается пластичность, уменьшается склонность металла к образованию трещин и хрупкому разрушению.

Имеется опытковки—осадки вольфрама в оболочках, которая не только предохраняет металл от окисления и газонасыщения, но и позволяет создавать более благоприятную схему всестороннего неравномерного сжатия в процессе деформации.

Горячую ковку вольфрама обычно производят в температурном интервале 1500...1700 °С. Поковки из спеченных заготовок обрабатывают и при более высоких температурах 1900...2000 °С.

Значительная теплопроводность и малая теплоемкость вольфрама обуславливают его быстрое остывание при обработке и, следовательно, необходимость в частых подогревах. Практикой подтверждается целесообразность быстройковки и штамповки вольфрама с максимальными степенями деформации.

После измельчения литой структуры температуру нагрева обычно снижают до 1000 °С и ниже, так как пластичность вольфрама по мере увеличения степени деформации с применением промежуточных отжигов увеличивается (см. табл. 31). Например, после измельчения грубой литой структуры и последующего отжига с завершением рекристаллизации пластичность вольфрамового сплава ВВ-2 резко повышается, и при 1400...1600 °С запас пластичности сплава повышается до 65...75 %.

Вольфрам, устойчивый к кислороду на воздухе, с температуры 400 °С начинает окисляться. При температурах выше 1300 °С окислы начинают заметно испаряться.

При температурах 800...1000 °С вольфрам реагирует с углеродом. Карбиды в вольфраме резко снижают его пластичность и даже приводят к хрупкости. С водородом вольфрам не взаимодействует. Поэтому для нагрева под ковку применяют электропечи сопротивления с водородной атмосферой.

31. Пластичность вольфрама после рекристаллизационного отжига

Температура испытания, °С	δ после наклепа, %	δ после отжига, %
649	16	55,3
1093	14,5	52,0

Небольшие заготовки перед штамповкой можно нагревать индукционным способом.

Вольфрам при температуре 200...300 °С обладает хладноломкостью. Таким образом, его обработку давлением следует осуществлять при более высоких температурах. Легирование вольфрама рением в количестве до 25...35 % понижает температуру перехода из хрупкого состояния в пластичное.

С повышением степени деформации металл значительно упрочняется. Например, при температурах деформации ниже 1400 °С рост степени деформации от 20 до 80 % дает повышение временного сопротивления от 196 до 1176 МПа.

Для ориентировочных расчетов деформирующей силы можно использовать следующие данные.

У сплава вольфрама (75 %) с молибденом (25 %), содержащего 0,11 % Zr и 0,05 % С, временное сопротивление при температуре 982 °С составляет 673 МПа, а при 1316 °С — 505 МПа.

У сплавов, содержащих 0,6 % Nb + 0,004 % С или 0,9 % Nb + 0,018 % С, а также у сплава, содержащего 0,1 % Zr + 0,001 % С, временное сопротивление при 1650 °С составляет 245...392 МПа. Сплав вольфрама, выплавленный в дуговой печи, содержащий 30 % рения, после рекристаллизации при температуре 20 °С имеет $\sigma_b = 1373$ МПа и относительное удлинение 5 %, а при температуре 1650 °С $\sigma_b = 343$ МПа и относительное удлинение 13 %.

Наклепанный вольфрам, нагретый до 370 °С, имеет σ_b около 686 МПа, а нагретый до 1650 °С — около 210 МПа. После предварительного рекристаллизационного отжига σ_b при этих же температурах составляют соответственно 343 и 167 МПа.

Для сравнения укажем, что у вольфрама при температуре 1600 °С σ_b такое же, как и у молибдена при 1200 °С.

У вольфрама, в сравнении с танталом, ниобием и молибденом, пластичность ниже, а напряжение текучести больше (при одинаковых условиях деформирования).

Вследствие значительных трудностей, возникающих при обработке вольфрама режущим инструментом, поковки изготавливают с минимальными допусками и припусками, особенно если они имеют сложную форму и крупные размеры.

Ковка ниобия. Ниобий можно подвергать всем видам обработки давлением. Ковку на молотах и гидравлических прессах можно проводить при температурах выше и ниже рекристаллизационных.

Заготовки из ниобия получают порошковой металлургией, дуговой и электронно-лучевой вакуумной плавкой. Особенно пластичен металл электронно-лучевой плавки. Слитки чистого ниобия, выплавленные в электронно-лучевых печах с содержанием примесей 0,005...0,007 % O₂; 0,02 % С; 0,006 % N₂, можно ковать без подогрева [5]. Твердость ниобия, очищенного электроннолучевой плавкой, около 392 МПа, а твердость технического ниобия дуговой плавки в 3 раза больше (1176 МПа). Однако следует указать, что в ряде случаев при холодной ковке слитков, полученных электронно-лучевой плавкой, образуются трещины, которые являются следствием крупнозернистой столбчатой структуры и слабых межкристаллитных связей.

Слитки ниобия технической чистоты, выплавленные в дуговых печах (с содержанием 0,03 % С), ковать в холодную невозможно из-за присутствия по границам зерен элементов-примесей.

Горячая ковка ниобия осуществляется при температурах порядка 1500 °С. Однако пластичность ниобия и ряд других преимуществ позволяют рекомендовать широкое применениековки

и штамповки его при температурах ниже рекристаллизационных.

Ковка слитков ниобия технической чистоты с содержанием примесей 0,02 % O_2 , 0,03 % N_2 и 0,03 % C не вызывает затруднений при 1100...1200 °С. Легирование цирконием и титаном снижает температурный интервалковки ниобиевых сплавов до 800...1000 °С, а молибденом и вольфрамом — повышает температуруковки до 1400...1600 °С.

С целью разрешения литой структуры первичную ковку лучше выполнять в вырезных бойках и на прессах вместо молотов. Первые обжатия слитка следует проводить не более чем на 10...15 %. Для получения более мелкого и однородного зерна в поковке степень деформации при последующих переходах должна быть не менее 15...20 %. Если есть возможность, то целесообразно перед ковкой слитки дуговой плавки подвергать прессованию, при котором деформация протекает по схеме всестороннего сжатия. Для повышения чистоты металла иногда применяют двойную переплавку.

Если первой операциейковкибудет протяжка, то особенно тщательно надо обработать торцы слитка для предотвращения растрескивания.

Нагрев ниобия ведут в вакууме или в нейтральных атмосферах (гелий, аргон). Ниобий можно нагревать до 1093 °С и на воздухе, однако скорость нагрева в этом случае должна быть увеличенной. Медленный же нагрев способствует значительному насыщению кислородом, ведущему к охрупчиванию металла. О роли температуры в насыщении ниобия кислородом можно судить по следующим данным. При повышении температуры от 540 до 1090 °С скорость диффузии кислорода в глубину металла увеличивается в 25 раз. Это необходимо учитывать при разработке технологических про-

цессов. Во избежание частых подогревов ковку следует вести быстро, особенно для тонких поковок.

При приближенном расчете деформирующей силы при ковке ниобия и его сплавов можно пользоваться следующими данными об изменении временного сопротивления металла в зависимости от температуры:

Температура, °С	20	600	1050
$\sigma_{\text{в}}$, МПа	339	318	125

У отожженного металла дуговой плавки при 1371 °С предел прочности 28 МПа, а временное сопротивление 19,6 МПа. Отжиг рекомендуется проводить в вакууме. Температура отжига снижается с увеличением степени деформации. Например, при степени деформации 3...12 % температура рекристаллизационного отжига 1300 °С, а при степени деформации 50 % она составляет 1150 °С. Отжиг при температурах 1600 °С и выше не рекомендуется вследствие значительного роста зерна.

Изменение пластичности ниобия можно характеризовать следующими данными: при температуре 20 °С относительное удлинение составляет 19,2 %, при 600 °С — 17,5 %, а при 1050 °С относительное удлинение достигает 42,5 %.

Для характеристики незначительного упрочнения во время холодной деформации укажем, что при росте степени деформации в 9 раз (от 10 до 90 %) твердость металла возрастает только на 35 %. Однако надо учитывать, что ниобиевые сплавы, в частности легированные молибденом, вольфрамом и ванадием (до 2 %), упрочняются почти в 2 раза больше, чем нелегированный ниобий.

Ковку ниобия и его сплавов на прутки обычно ведут протяжкой в комбинации плоского верхнего бойка с вырезным нижним. Это позволяет с по-

мощью бокового давления, создаваемого жесткими стенками инструмента, повышать долю сжимающих напряжений, увеличивая тем самым деформируемость металла, и получать более точные размеры поковки. Наибольший эффект дает следующий технологический режим ковки на пруток.

1. Заготовки нагревают до 1100...1200 °С в атмосфере аргона с выдержкой при этой температуре (в зависимости от массы слитка).

2. Первые переходы осуществляют с небольшими обжатиями для предотвращения образования трещин за счет дефектов слитков.

3. С целью получения более мелкого и однородного зерна в поковке степень деформации при последующих переходах должна быть не менее 15...20 %.

4. Протяжку начинают с середины слитка для вытеснения в отходы наиболее неоднородного, загрязненного металла, прилегающего к верхней и донной частям слитка.

5. Заканчивают ковку при температуре не ниже 700...800 °С.

Слитки тантала, ванадия и рения успешно поддаются ковке при комнатной температуре с высокой степенью деформации до промежуточного отжига: для рения $\varepsilon = 35...40\%$ и $\varepsilon = 80...90\%$ для ванадия. Тантал относится к группе пластичных тугоплавких металлов, имеет достаточную пластичность при низких температурах, хорошо подвергается обработке давлением. Чистый тантал медленно нагартовывается в процессе пластической деформации, что позволяет деформировать его при комнатной температуре с обжатиями до 95 % без промежуточных отжигов [5]. Первичную обработку слитков из тантала осуществляют ковкой на ковочных прессах или молотах при комнатной температуре. Тантал имеет достаточную пластичность и при высоких температурах, од-

нако горячая обработка его не эффективна, так как нагретый тантал окисляется на значительную глубину, что приводит к большим потерям металла.

Легирование тантала вольфрамом и ниобием приводит к упрочнению сплава и снижению пластичности, поэтому сплавы тантала подвергают горячей деформации. Например, по зарубежным данным сплав тантала с вольфрамом $Ta + 10\% W$ деформируют при 1100...1200 °С с применением промежуточных отжигов. После разрушения литой структуры ковкой пластичность такого сплава резко повышается, и последующую деформацию ковкой или прокаткой проводят в холодном состоянии со степенью деформации до 90...95 % без промежуточных отжигов.

Нагрев тантала под термообработку рекомендуется проводить только в высоком вакууме, потому что он поглощает из инертных газов даже следы примесей.

Для определения деформирующих сил при обработке давлением сплавов тантала с вольфрамом можно воспользоваться данными рис. 3.

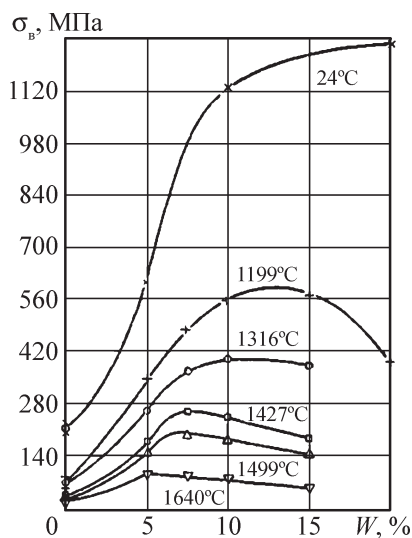


Рис. 3. Изменение временного сопротивления сплава тантала в зависимости от температуры и содержания вольфрама

32. Показатели прочности при высоких температурах сплавов на основе тантала

85 % Ta + 15% W		90% Ta + 10% W	
Температура, °C	σ_B , МПа	Температура, °C	σ_B , МПа
2676	28,4	2659	22
2776	25	2759	17
2909	14	2909	13

Временное сопротивление танталовых сплавов с добавками вольфрама при более высоких температурах приведено в табл. 32. У кованого сплава тантала прочность при температуре 2482 °C примерно такая же, как и у нелегированного вольфрама при той же температуре, а коррозионная стойкость выше. Танталовые сплавы по сравнению с вольфрамом лучше поддаются обработке давлением.

Рений подвергают всем видам обработки давлением. Чаще применяется обжатие на ротационно-ковочной машине. При этом изготавливают прутки диаметром 1,0...1,65 мм, которые подвергают последующей обработке волочением.

Температура начала рекристаллизации значительно зависит от степени деформации. Например, при степени деформации 5 % температура начала рекристаллизации 1750 °C, а при степени

деформации 40...60 % — температуре начала рекристаллизации 1200 °C. Окисление рения заметно возрастает с температуры 600 °C и выше.

Основные сплавы рения получают добавками никеля, титана, вольфрама, хрома, молибдена. У рениевых сплавов, содержащих добавки указанных компонентов, температура рекристаллизации повышается на 200... 400 °C.

Заготовки из металлического рения получают преимущественно способами порошковой металлургии, но можно их получать и дуговой плавкой.

Рений обрабатывают давлением при любой температуре. В холодную рений можно деформировать без отжига с максимальной суммарной степенью деформации 35...40 %.

Для ориентировочного расчета деформирующих сил при ковке рения можно пользоваться следующими данными:

Температура, °C 538
Временное сопротивление, МПа 755

1093 1371 1649 1970 2205
556 336 220 151 86

Для сравнения укажем, что при 1371 °C временное сопротивление выше, чем у вольфрама, молибдена, тантала и ниобия.

Рений сильно упрочняется. Во время обработки в холодную со степенью деформации 10 % твердость его возрастает в 2 раза. Отжигами при температуре 1482...1982° C значительно снижают временное сопротивление и твердость металла. Например, у деформированного рения $\sigma_B = 2323$ МПа, а после отжига $\sigma_B = 1127...1176$ МПа. Твердость

деформированного рения 500...800 НВ, а отожженного — 275 НВ.

Перед обжатием на ротационно-ковочной машине спеченные заготовки подвергают небольшим обжатиям прокаткой. Ковка ведется путем обжатия 10...20 % за проход с промежуточными отжигами при 1700...1750 °C в атмосфере водорода.

Ванадий и его сплавы обрабатывают ковкой на молотах, прессах и ротационно-ковочных машинах. Ковкой изготавливают заготовки для последующей

го прессования, прокатки или волочения. В качестве исходного материала для заготовок применяют слитки, выплавленные дуговой плавкой, реже — спеченные заготовки. Плавку ведут в атмосфере гелия, аргона или в высоком вакууме. Индукционная плавка ванадия затрудняется вследствие его способности восстанавливать тугоплавкие окислы при взаимодействии с тиглем.

Вредными примесями для ванадия являются азот, кислород, водород. Особенно трудно удаляются азот и кислород. Высокая чистота слитка достигается электронно-лучевой плавкой, которая обеспечивает содержание в металле кислорода не более 0,0045 %, водорода 0,003 % и железа 0,043 %. В деформируемом ванадии суммарное содержание азота и кислорода не должно превышать 0,2 % по массе.

Температура, °С	20
Временное сопротивление, МПа.	627
Относительное удлинение, %	22

Эти показатели относятся к металлу с примесями кислорода 0,085 %, углерода 0,062 %, азота 0,11 %, водорода 0,0068 %.

У литого ванадия, содержащего примеси (кислорода 0,044 %, азота 0,034 %,

Температура началаковки ванадия 1000...1450 °С. Меньшая температура относится к нелегированному ванадию, а большая (1450 °С) — к тройным сплавам типа V + 40 % Ti + 5 % Al и другим. Заканчивают ковку при температуре около 800 °С.

Пластичность и незначительная упрочняемость ванадия позволяют деформировать его также и при температурах ниже рекристаллизационных.

Как и при ковке других металлов, по мере дробления литой структуры температуру нагрева ванадия снижают (вплоть до комнатной), а степени деформации увеличивают.

Для ориентировочного расчета деформирующих сил ниже приведены данные о временном сопротивлении горячедеформированного ванадия при различных температурах:

Температура, °С	600	1000
Временное сопротивление, МПа.	274	49
Относительное удлинение, %	38	50

водорода 0,0065 %, углерода 0,066 % и железа 0,015 %), при комнатной температуре относительное удлинение составляет только 12 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Атрошенко А.П., Федоров В.И.** Горячая штамповка труднодеформируемых материалов. Л.: Машиностроение, 1979. 287 с.

2. **Горячая** штамповка и прессование титановых сплавов / Л.А. Никольский, С.З. Фиглин, В.В. Бойцов и др. М.: Машиностроение, 1975. 285 с.

3. **Трение** и смазки при обработке металлов давлением: справочник / А.П. Груднев, Ю.В. Зильберг, В.Т. Тилик. М.: Металлургия, 1982. 312 с.

4. **Стали** и сплавы для высоких температур: справочник в 2-х кн. / С.Б. Масленков, Е.А. Масленкова. М.: Металлургия, 1991. 831 с.

5. **Технология** и оборудование для обработки тугоплавких порошковых и композиционных материалов / А.П. Коликов, А.В. Крупинин, П.И. Полухин и др. М.: Металлургия, 1989. 382 с.

6. **Пластичность** инструментальных сталей и сплавов: справочник / Б.А. Мигачев, А.И. Потапов М.: Металлургия, 1980. 88 с.

7. **Сопротивление** деформации и пластичность алюминиевых сплавов: Справочник / П.Г. Микляев, В.М. Дуденков М.: Металлургия, 1979. 183 с.

8. **Потапов А.И.** Улучшение структуры и повышение стойкости пальцевых модульных фрез // Кузнечно-

штамповочное производство. 2004. № 1. С. 14–18.

9. **Потапов А.И.** Ковка крупных слитков высокоуглеродистой стали X12МФ // Кузнечно-штамповочное производство. 2005. № 4. С. 12–15.

10. **Потапов А.И.** Деформируемость литых высокоуглеродистых хромистых сталей // Кузнечно-штамповочное производство. 2004. № 7. С. 11–16.

11. **Рис В.В., Андреев Г.Н., Просторова А.О.** Исследование технологических свойств сплава Амг65 при объемном деформировании // Кузнечно-штамповочное производство. 2004. № 7. С. 29–33.

12. **Братухин А.Б.** Современные авиационные материалы: технологические и функциональные особенности. М.: Авиатехинформ, 2003. 440 с.

Глава 14

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И АНАЛИЗ РАБОТЫ КУЗНЕЧНЫХ ЦЕХОВ

Классификация производственных подразделений кузнечного производства в зависимости от выпуска поковок в год (объема производства), числа работающих и общей площади подразделений приведена в табл. 1.

В табл. 2 приведены нормативы оптимальных мощностей кузнечных цехов и заводов.

Кузнечно-прессовые производственные подразделения по характеру производства подразделяют на специализированные и универсальные; по типу производства — на производства: единичного и мелкосерийного, серийного; крупносерийного и массового.

Серийность производства для цехов горячей объемной штамповки и цеховковки можно ориентировочно определить по табл. 3.

Основные технико-экономические показатели. В табл. 4—18 приведены основные технико-экономические показатели

для кузнечно-прессовых цехов, включающих заготовительные участки, штамповочные (ковочные) участки, участки термической обработки и очистки штампованных поковок от окалины, участки отделочных операций, вспомогательные службы цеха и транспорт.

В этих таблицах под трудоемкостью ($E_{\text{тр}}$) понимают показатель, характеризующий экономическую целесообразность принятого числа производственных рабочих $R_{\text{пр}}$, а следовательно, и всего состава работающих для выполнения заданной программы.

При укрупненных расчетах число производственных рабочих $R_{\text{пр}}$ с достаточной степенью точности может быть определено по формуле

$$R_{\text{пр}} = QE_{\text{тр}} / \Phi_{\text{др}},$$

где Q — масса поковок на годовую программу, т; $E_{\text{тр}}$ — трудоемкость изготовления 1 т поковок, чел.·ч; $\Phi_{\text{др}}$ —

1. Классификация производственных подразделений кузнечного производства

Подразделение	Выпуск поковок, тыс. т/год	Число работающих
Завод	100...500	1000...5000
Корпус	20...200	400...2000
Цех	10...100	200...1000
Отделение	1...10	40...200
Участок	0,1...1	8...40

Подразделение	Общая площадь, м ²
Завод	50 000...200 000
Корпус	10 000...75 000
Цех	5000...30 000
Отделение	1000...5000
Участок	200...1000

2. Нормативы оптимальных мощностей кузнечных цехов и заводов

Подразделения производства	Масса штампованной поковки, кг			Тип произ-водства	Мощность производ-ства, тыс. т/год	
	средняя		макси-мальная		минимально допустимая	опти-мальная
	Свыше	До				
Кузнечные заводы (центрокузы)	—	10,0	До 400	Все типы	150	300
Корпуса или комплексы цехов горячей объемной штамповки	—	10,0	До 400		60	300
Кузнечные цехи горячей объем-ной штамповки	—	0,4	До 6,3	Массо-вое и крупно-серий-ное	10	50
	0,4	1,0	10,0		15	60
	1,0	2,5	16,0		20	100
	2,5	4,0	25,0		25	125
	4,0	6,3	63,0		30	150
	6,3	10,0	100,0		40	200
	10,0	16,0	400,0		50	300
	—	0,4	До 6,3		Серий-ное и мелко-серий-ное	10
	0,4	1,0	10,0	20		100
	1,0	2,5	16,0	30		150
	2,5	4,0	25,0	30		200
	4,0	6,3	63,0	35		200
	6,3	10,0	100,0	40		250
	10,0	16,0	400,0	50		300
	16,0	25,0	Св. 400,0	50		300
Цехи ковки из проката		25,0	250	Мелко-серий-ное и единич-ное	5,0	25
	25,0	50,0	500		7,0	40
	50,0	150,0	1500		10,0	50
	150,0	1000	10000		15,0	75
Цехи ковки из слитка	1000	10000	40000*		40	150
	10000	50000	180000*		65	200
	50000		300000*		75	300

* Максимальная масса слитка.

действительный годовой фонд времени рабочего, ч. $\Phi_{др}$ составляет 1840 и 1820 ч при 18- и 24-дневном рабочем отпуске по условиям работы.

Весь состав и соотношения между категориями работающих в зависимости от числа производственных рабочих приведены в табл. 21.

Примерное распределение трудоемкости изготовления штампованных поковок по видам технологической обработки приведено в табл. 4, для поковок — в табл. 5.

Во всех таблицах показатели трудоемкости, выпуск поковок на одного рабочего и работающего, выпуск с 1 м²

3. Тип производства

Производство	Кузнечные цехи	Ориентировочный годовой выпуск штампованных поковок на линии (или единице оборудования), шт./год			Количество деталей (поковок), закрепляемых за единицей оборудования
		мелких (массой до 1 кг)	средних (массой до 15 кг)	крупных (массой до 100 кг) и особо крупных (массой более 100 кг)	
Единичное и мелкосерийное	Горячей объемной штамповки	До 50000	До 10000	До 2000	Св. 20
Серийное		50000...500000	10000...100000	2000...10000	6...20
Крупносерийное и массовое		Св. 500000	Св. 100000	Св. 10000	До 5
Производство	Кузнечные цехи	Ориентировочный годовой выпуск однотипных поковок, шт./год			Количество деталей (поковок), закрепляемых за единицей оборудования
		мелких	средних	крупных	
Единичное и мелкосерийное	Ковки	До 50000	До 1000	До 200	Св. 15
Серийное		5000...50000	1000...100000	200...10000	4...15

4. Распределение трудоемкости изготовления штампованных поковок по видам обработки

Наименование операций	Трудоемкость изготовления штампованных поковок, %
Подготовка исходного материала	0,5
Резка материала на заготовки мерной длины	6,0
Нагрев заготовок под штамповку	9,0
Штамповка	29
Обрезка облоя	15
Правка	4,0
Заточка заусенцев	3,0
Чеканка и калибровка	2,0
Исправление дефектов	1,0
Термическая обработка	18
Очистка от окалина	8,0
Правка	2,0
Защитное покрытие поковок	2,5
ВСЕГО	100

общей площади цеха даны для среднеарифметического значения массы поковок по весовой группе и для цехов (заводов) с указанными в таблицах го-

довыми выпусками поковок. В случаях отклонений значений массы поковок от средней величины и отклонений объемов производства от указан-

5. Распределение трудоемкости изготовления поковок по видам обработки

Наименование операций	Трудоемкость изготовления поковок, %	
	Ковка из проката	Ковка из слитков
Подготовка исходного материала	3,0	2,0
Резка или ломка проката на заготовки мерной длины	15	—
Нагрев заготовок и слитков под ковку (включая подогревы)	12	10
Ковка (включая разделку слитков)	40	60
Промежуточный контроль	2,0	3,0
Исправление дефектов	2,0	2,0
Термическая обработка	14	8,0
Очистка от окалины	4,0	—
Правка	2,0	2,0
Промежуточный контроль	2,0	3,0
Исправление дефектов	1,0	1,0
Обдирка поковок	—	5,0
Контроль и приемка поковок	1,0	1,0
Защитное покрытие поковок	2,0	3,0
ВСЕГО	100	100

6. Показатели трудоемкости выпуска штампованных поковок для массового и крупносерийного производства

Средняя масса штампованных поковок, кг	Трудоемкость изготовления 1 т штампованных поковок, чел.-ч, при общем выпуске, тыс. т/год						Средняя масса штампованных поковок, кг	Трудоемкость изготовления 1 т штампованных поковок, чел.-ч, при общем выпуске, тыс. т/год					
	20	50	70	90	120	150 и более		20	50	70	90	120	150 и более
С термообработкой и очисткой от окалины							Без термообработки и очистки от окалины						
До 1,0	17,0	14,0	13,0	—	—	—	До 1,0	13,5	11,0	10,3	—	—	—
1,1...1,3	15,2	12,5	11,5	—	—	—	1,1...1,3	12,0	9,8	9,5	—	—	—
1,4...1,6	14,0	11,8	10,5	—	—	—	1,4...1,6	11,0	9,3	8,5	—	—	—
1,7...2,0	13,0	10,8	9,5	8,5	8,0	7,5	1,7...2,0	10,0	8,2	7,2	6,4	6,0	5,6
2,1...2,5	11,5	9,2	8,5	8,0	7,5	7,3	2,1...2,5	8,4	6,7	6,2	5,9	5,5	5,3
2,6...3,0	10,8	8,5	7,9	7,5	7,2	7,0	2,6...3,0	7,9	6,2	5,9	5,5	5,3	5,1
3,1...3,5	10,4	8,0	7,5	7,2	7,0	6,8	3,1...3,5	7,4	5,6	5,3	5,1	4,9	4,7
3,6...4,0	10,0	7,6	7,1	6,9	6,7	6,5	3,6...4,0	7,0	5,3	5,1	4,9	4,7	4,5
4,1...5,0	9,7	7,2	6,8	6,6	6,4	6,2	4,1...5,0	6,8	5,1	4,9	4,7	4,5	4,3
5,1...6,0	9,5	7,0	6,5	6,3	6,0	5,8	5,1...6,0	6,6	4,9	4,6	4,4	4,2	4,0
6,1...8,0	—	6,5	6,2	6,0	5,7	5,4	6,1...8,0	—	4,5	4,3	4,2	4,0	3,8
8,1...10,0	—	—	6,0	5,7	5,4	5,0	8,1...10,0	—	—	4,2	4,0	3,8	3,5

7. Показатели трудоемкости выпуска штампованных поковок для серийного и мелкосерийного производства

Средняя масса штампованных поковок, кг	Трудоемкость изготовления 1 т штампованных поковок, чел.-ч, при общем выпуске, тыс. т/год											
	10	20	30	50	70	100	10	20	30	50	70	100
	Серийное производство						Мелкосерийное производство					
До 1,0	25,0	21,0	18,0	16	15	—	31,0	25,0	23,0	19,0	18,0	—
1,1...1,3	24,0	20,0	17,0	15,0	14,0	—	30,0	24,0	21,0	18,5	17,0	—
1,4...1,6	23,0	19,0	16,0	14,0	13,0	—	29,0	23,0	19,0	18,0	16,0	—
1,7...2,0	22,0	17,0	15,0	13,5	12,0	11,0	27,0	21,0	18,5	17,0	15,0	14,0
2,1...2,5	20,0	16,0	14,0	13,0	11,5	10,0	25,0	19,0	18,0	16,0	14,0	13,5
2,6...3,0	—	15,0	13,5	12,5	11,0	9,7	—	18,7	17,5	15,5	13,5	13,0
3,1...3,5	—	15,5	13,2	12,0	10,5	9,4	—	18,3	17,0	15,0	13,0	12,5
3,6...4,0	—	14,0	13,0	11,5	10,0	9,0	—	18,0	16,0	14,5	12,5	12,0
4,1...5,0	—	13,0	12,5	11,0	9,5	8,7	—	17,5	15,0	14,0	12,0	11,5
5,1...6,0	—	12,0	12,0	10,5	9,0	8,4	—	17,0	15,5	13,5	11,5	11,0
6,1...8,0	—	—	11,0	10,0	8,5	8,0	—	16,0	14,0	13,0	11,0	10,5
8,1...10,0	—	—	10,0	9,0	8,3	7,0	—	—	13,0	11,0	10,5	10,0
10,1...16,0	—	—	—	8,0	7,0	6,0	—	—	—	10,0	8,5	7,0
16,1...25,0	—	—	—	7,0	6,0	5,0	—	—	—	9,0	8,0	6,0
25,1...40,0	—	—	—	—	5,5	4,5	—	—	—	—	7,0	5,0
Св. 40,0	—	—	—	—	5,0	4,0	—	—	—	—	6,0	4,5

8. Показатели трудоемкости выпуска штампованных поковок по кузнечным заводам (центрокузам) для серийного и мелкосерийного производства

Средняя масса штампованных поковок, кг	Трудоемкость изготовления 1 т штампованных поковок, чел.-ч при общем выпуске, тыс. т/год					
	100	200	300	100	200	300
	Серийное производство			Мелкосерийное производство		
До 2,5	10,0	9,0	8,0	13,0	11,0	10,0
2,6...3,0	9,7	8,7	7,7	12,5	10,7	9,7
3,1...3,5	9,4	8,4	7,4	11,5	10,4	9,4
3,6...4,0	9,0	8,0	7,0	11,0	10,0	9,0
4,1...5,0	8,7	7,7	6,7	10,7	9,7	8,7
5,1...6,0	8,4	7,4	6,4	10,4	9,4	8,4
6,1...8,0	8,0	7,0	6,0	10,0	9,0	8,0
8,1...10,0	7,0	6,0	5,5	9,0	8,0	7,0
10,1...16,0	6,0	5,0	4,5	8,0	7,0	6,0
16,1...25,0	5,5	4,5	4,2	7,0	6,0	5,0
25,1...40,0	—	4,2	4,0	—	5,0	4,5
Св. 40,0	—	4,0	3,5	—	4,5	4,0

9. Показатели выпуска штампованных поковок на одного рабочего для массового и крупносерийного производства

Средняя масса штампованных поковок, кг	Выпуск штампованных поковок на одного рабочего, т/год, при общем выпуске, тыс. т/год					
	20	50	70	90	120	150 и более
До 1,0	48	58	62	—	—	—
1,1...1,3	53	65	70	—	—	—
1,4...1,6	58	68	76	—	—	—
1,7...2,0	62	74	85	95	101	108
2,1...2,5	70	89	95	101	108	110
2,6...3,0	74	95	102	108	112	115
3,1...3,5	78	101	108	112	115	119
3,6...4,0	81	106	113	117	121	123
4,1...5,0	84	112	119	122	126	130
5,1...6,0	85	115	123	128	134	139
6,1...8,0	—	123	130	134	141	149
8,1...10,0	—	—	134	141	149	161

ных в таблицах следует определять необходимые удельные показатели путем интерполяции.

Средняя масса поковок по корпусу, цеху, участку есть отношение годового выпуска штампованных поковок корпусом, цехом, участком (в кг) к годовому выпуску штампованных поковок корпусом, цехом, участком в штуках.

Средняя масса поковок по оборудованию есть отношение годового выпуска штампованных заготовок (поковок), закрепленных за данным типом оборудования (кг), к годовому выпуску штампованных поковок, закрепленных за данным типом оборудования (штук).

Под общей площадью цеха в табл. 15–17 принимают сумму производственной и вспомогательной площадей, в которую входит вся площадь цеха на отметке $\pm 0,0$ м в осях здания (без площади служебно-бытовых помещений).

Удельные показатели таблиц приведены для современных кузнечно-прессовых цехов, оснащенных кривошип-

ными горячештамповочными прессами (КГШП), горизонтально-ковочными машинами (ГКМ), индукционными нагревателями и прочим кузнечным оборудованием.

В случаях когда наряду с КГШП используют паровоздушные штамповочные молоты (ПШМ), для определения трудоемкости следует принимать повышающий коэффициент:

для массового и крупносерийного производства $n = 1,1...1,2$ к данным табл. 4 в зависимости от удельного объема поковок, штампуемых на ПШМ, в общем выпуске цеха;

для серийного и мелкосерийного производства $n = 1,3$ к данным табл. 5.

Для определения выпуска поковок в год на одного рабочего и одного работающего с применением ПШМ следует вводить понижающий коэффициент:

для массового и крупносерийного производства $n = 0,92...0,85$ к данным табл. 7, 10;

для серийного и мелкосерийного производства $n = 0,8$ к данным табл. 8, 11.

10. Показатели выпуска штампованных поков на одного рабочего для серийного и мелкосерийного производства

Средняя масса штампованных поков, кг	Выпуск штампованных поков на одного рабочего, т/год, при общем выпуске, тыс. т/год											
	10	20	30	50	70	100	10	20	30	50	70	100
	Серийное производство						Мелкосерийное производство					
До 1,0	37/42	40/46	45/51	49/56	—	—	26/37	31/36	35/40	33/44	—	—
1,1...1,3	39/44	44/50	54/62	54/62	—	—	34/39	35/40	40/46	41/47	—	—
1,4...1,6	45/52	48/56	53/60	57/65	61/70	—	38/44	40/46	42/48	44/50	48/55	—
1,7...2,0	48/55	52/60	57/65	62/72	70/80	78/90	41/47	43/50	45/52	50/57	57/65	61/70
2,1...2,5	50/58	60/68	67/77	74/85	78/90	85/97	42/48	49/56	54/62	56/65	61/70	67/77
2,6...3,0	52/60	62/70	70/80	78/90	84/97	92/105	—	50/58	56/65	61/70	68/78	74/85
3,1...3,5	55/63	64/74	74/85	82/95	88/102	95/110	—	53/62	61/70	65/75	75/85	83/95
3,6...4,0	58/66	68/78	78/90	85/100	94/108	100/115	—	55/63	65/75	75/85	82/83	87/100
4,1...5,0	62/70	70/80	81/93	92/106	100/115	102/120	—	57/65	68/78	78/90	84/97	92/105
5,1...6,0	—	72/82	83/96	96/100	102/120	112/130	—	59/67	70/81	83/95	92/105	100/115
6,1...8,0	—	—	88/102	100/115	107/125	122/140	—	—	75/85	87/100	100/115	110/125
8,1...10,0	—	—	96/110	105/120	112/130	130/150	—	—	79/90	92/105	105/120	115/135
10,1...16,0	—	—	105/120	110/130	120/140	140/160	—	—	85/95	110/112	110/130	120/140
16,1...25,0	—	—	—	120/140	180/150	150/170	—	—	—	110/130	120/140	130/150
25,1...40,0	—	—	—	—	150/170	160/180	—	—	—	—	130/150	140/160
Св. 40,0	—	—	—	—	160/180	170/190	—	—	—	—	140/160	150/170

Примечание. В числителе указан выпуск на одного рабочего с учетом рабочих ремонтных и штампоинструментальных служб, в знаменателе — без них.

11. Показатели выпуска штампованных поковок на одного рабочего по кузнечным заводам (центрокузам) для серийного и мелкосерийного производства

Средняя масса штампованных поковок, кг	Выпуск штампованных поковок на одного рабочего, т/год, при общем выпуске, тыс. т/год					
	100	200	300	100	200	300
	Серийное производство			Мелкосерийное производство		
До 2,5	60	70	85	45	60	70
2,6...3,0	64	75	90	50	64	75
3,1...3,5	67	80	95	55	67	80
3,6...4,0	70	85	100	60	70	85
4,1...5,0	75	90	105	63	75	90
5,1...6,0	80	95	110	67	80	95
6,1...8,0	85	100	115	70	85	100
8,1...10,0	100	115	130	85	100	115
10,1...16,0	115	130	145	100	115	130
16,1...25,0	130	140	155	110	130	145
25,1...40,0	—	155	170	—	140	160
Св. 40,0	—	170	185	—	160	175

12. Показатели выпуска штампованных поковок на одного работающего для массового и крупносерийного производства

Средняя масса штампованных поковок, кг	Выпуск штампованных поковок на одного работающего, т/год, при общем выпуске, тыс. т/год					
	20	50	70	90	120	150 и более
До 1,0	41	50	53	—	—	—
1,1...1,3	46	56	60	—	—	—
1,4...1,6	50	59	65	—	—	—
1,7...2,0	53	64	73	82	87	93
2,1...2,5	60	77	82	87	93	95
2,6...3,0	64	82	87	93	96	99
3,1...3,5	67	87	93	96	99	102
3,6...4,0	70	91	97	100	104	106
4,1...5,0	72	96	102	105	108	112
5,1...6,0	73	99	106	110	115	119
6,1...8,0	—	106	112	115	121	128
8,1...10,0	—	—	115	121	128	138

13. Показатели выпуска штампованных поковок в год на одного работающего для серийного и мелкосерийного производства

Средняя масса штам- пованных поковок, кг	Выпуск поковок на одного работающего, т/год, при общем выпуске, тыс. т/год											
	10	20	30	50	70	100	10	20	30	40	70	100
	Серийное производство						Мелкосерийное производство					
До 1,0	27/30	31/35	35/40	40/45	44/50	—	22/25	27/30	29/33	35/39	37/42	—
1,1...1,3	28/32	33/37	38/43	45/50	49/55	—	23/26	28/32	32/36	36/40	39/44	—
1,4...1,6	29/33	35/40	42/47	49/55	53/60	—	24/27	29/33	34/38	37/42	42/47	—
1,7...2,0	30/34	40/45	46/52	53/60	58/65	65/73	25/28	31/35	35/39	38/43	43/40	50/57
2,1...2,5	31/35	44/50	51/57	58/65	62/70	70/75	26/30	33/37	36/40	40/45	45/50	52/58
2,6...3,0	—	46/52	52/59	59/67	65/73	71/80	—	34/38	37/41	43/48	49/55	56/63
3,1...3,5	—	47/53	54/61	60/68	68/77	74/83	—	35/39	38/43	46/52	52/58	60/67
3,6...4,0	—	49/55	56/63	62/70	70/80	65/85	—	36/40	40/45	49/55	55/62	62/70
4,1...5,0	—	50/56	57/64	67/75	74/83	79/69	—	37/42	43/48	51/56	57/64	64/72
5,1...6,0	—	51/57	59/66	71/80	77/87	82/92	—	39/44	46/52	52/57	59/66	66/74
6,1...8,0	—	62/58	59/67	76/85	80/90	85/95	—	40/45	49/55	52/58	60/67	67/75
8,1...10,0	—	—	71/80	84/94	88/105	95/110	—	—	52/58	62/70	70/78	76/85
10,1...16,0	—	—	85/100	95/110	100/115	105/120	—	—	58/65	70/80	80/90	90/110
16,1...25,0	—	—	—	100/115	105/120	115/130	—	—	—	80/90	90/100	100/115
25,1...40,0	—	—	—	—	115/130	125/140	—	—	—	—	110/115	110/125
Св. 40,0	—	—	—	—	125/140	140/150	—	—	—	—	110/125	120/140

Примечание. В числителе указан выпуск на одного работающего с учетом ремонтных и штампоинструментальных служб, в знаменателе — без них.

14. Показатели выпуска штампованных поковок на одного работающего по кузнечным заводам (центрокузам) для серийного и мелкосерийного производства

Средняя масса штампованных поковок, кг	Выпуск штампованных поковок на одного работающего, т/год, при общем выпуске, тыс. т/год					
	100	200	300	100	200	300
	Серийное производство			Мелкосерийное производство		
До 2,5	40	50	60	30	40	50
2,6...3,0	43	54	63	34	43	54
3,1...3,5	47	58	67	38	47	58
3,6...4,0	50	60	70	40	50	60
4,1...5,0	53	64	73	44	53	64
5,1...6,0	57	68	77	48	57	68
6,1...8,0	60	70	80	50	60	70
8,1...10,0	70	80	90	60	70	80
10,1...16,0	80	90	100	70	80	90
16,1...25,0	90	100	110	80	90	100
25,1...40,0	—	110	120	—	100	110
Св. 40,0	—	120	140	—	110	130

15. Показатели выпуска штампованных поковок с 1 м² общей площади цеха (без складов металла и готовой продукции) при работе цеха в две смены для массового и крупносерийного производства

Средняя масса штампованных поковок, кг	Выпуск штампованных поковок, т/год, с 1 м ² общей площади цеха при общем выпуске, тыс. т/год					
	20	50	70	90	120	150 и более
До 1,0	1,4	1,6	1,8	2,0	—	—
1,1...1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	—
1,4...1,6	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	—
1,7...2,0	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,8
2,1...2,5	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,9
2,6...3,0	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	3,0
3,1...3,5	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,1
3,6...4,0	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,2
4,1...5,0	—	2,4	2,6	2,8	3,1	3,4
5,1...6,0	—	2,5	2,7	3,0	3,3	3,6
6,1...8,0	—	—	2,9	3,2	3,5	3,8
8,1...10,0	—	—	3,1	3,4	3,7	4,0

**16. Показатели выпуска штампованных поковок с 1 м² общей площади цеха
(без складов металла и готовой продукции) при работе цеха в две смены
для серийного и мелкосерийного производства**

Средняя масса штампованных поковок, кг	Выпуск штампованных поковок, т/год, с 1 м ² общей площади цеха при общем выпуске, тыс. т/год					
	10	20	30	50	70	100
Серийное производство						
До 1,0	1,2/1,6	1,3/1,7	1,4/1,8	1,5/1,9	—	—
1,1...1,3	1,3/1,7	1,4/1,8	1,5/1,8	1,6/2,0	—	—
1,4...1,6	1,4/1,8	1,5/1,9	1,6/2,0	1,7/2,1	1,8/2,2	—
1,7...2,0	1,5/1,9	1,6/2,0	1,7/2,1	1,8/2,2	1,8/2,3	1,9/2,4
2,1...2,5	1,6/2,0	1,7/2,1	1,8/2,2	1,9/2,3	1,9/2,4	2,0/2,5
2,6...3,0	1,7/2,1	1,8/2,2	1,8/2,3	1,9/2,4	2,0/2,5	2,1/2,6
3,1...3,5	1,8/2,2	1,9/2,3	1,8/2,4	2,0/2,5	2,1/2,6	2,2/2,7
3,6...4,0	1,9/2,3	2,0/2,4	2,0/2,5	2,0/2,6	2,1/2,7	2,2/2,8
4,1...5,0	2,0/2,4	2,1/2,5	2,0/2,6	2,1/2,7	2,2/2,8	2,3/2,9
5,1...6,0	—	2,2/2,6	2,2/2,7	2,3/2,8	2,3/2,9	2,4/3,0
6,1...8,0	—	—	2,3/2,8	2,4/2,9	2,4/3,0	2,5/3,1
8,1...10,0	—	—	2,4/3,0	2,4/3,1	2,5/3,2	2,6/3,3
10,1...16,0	—	—	—	2,5/3,2	2,6/3,3	2,7/3,4
16,1...25,0	—	—	—	2,6/3,3	2,7/3,4	2,8/3,5
25,1...40,0	—	—	—	—	2,8/3,5	2,9/3,7
Св. 40	—	—	—	—	2,9/3,7	3,1/4,0
Мелкосерийное производство						
До 1,0	1,1/1,4	1,2/1,5	1,3/1,6	1,4/1,7	—	—
1,1...1,3	1,2/1,5	1,3/1,6	1,4/1,7	1,5/1,8	—	—
1,4...1,6	1,3/1,6	1,4/1,7	1,5/1,8	1,6/1,9	1,6/2,0	—
1,7...2,0	1,4/1,7	1,5/1,8	1,6/1,9	1,6/2,0	1,7/2,1	1,8/2,2
2,1...2,5	1,5/1,8	1,6/1,9	1,6/2,0	1,7/2,1	1,8/2,2	1,8/2,3
2,6...3,0	1,6/1,9	1,6/2,0	1,7/2,1	1,8/2,2	1,8/2,3	1,9/2,4
3,1...3,5	1,6/2,0	1,7/2,1	1,8/2,2	1,8/2,3	1,9/2,4	2,0/2,5
3,6...4,0	1,7/2,1	1,8/2,2	1,8/2,4	1,9/2,4	2,0/2,5	2,0/2,6
4,1...5,0	1,8/2,2	1,8/2,3	1,9/2,4	2,0/2,5	2,0/2,6	2,2/2,7
5,1...6,0	—	1,9/2,4	2,0/2,5	2,0/2,6	2,2/2,7	2,3/2,8
6,1...8,0	—	—	2,2/2,6	2,2/2,7	2,3/2,9	2,4/3,0
8,1...10,0	—	—	2,3/2,8	2,4/2,9	2,4/3,0	2,5/3,1
10,1...16,0	—	—	—	2,4/3,0	2,5/3,1	2,6/3,2
16,1...25,0	—	—	—	2,5/3,1	2,6/3,2	2,7/3,6
25,1...40,0	—	—	—	—	2,7/3,6	2,8/3,6
Св. 40	—	—	—	—	2,8/3,6	3,0/3,8

Примечание. В числителе указан выпуск с 1 м² общей площади цеха, в состав которого входят ремонтные и штампоинструментальные службы, в знаменателе — без них.

17. Показатели выпуска штампованных поковок с 1 м² общей площади по кузнечным заводам (центрокузам) при работе в две смены для серийного и мелкосерийного производства

Средняя масса штампованных поковок, кг	Выпуск штампованных поковок, т/год, с 1 м ² общей площади завода при общем выпуске, тыс. т/год					
	100	200	300	100	200	300
	Серийное производство			Мелкосерийное производство		
До 2,5	1,10	1,20	1,30	1,0	1,10	1,20
2,6...3,0	1,15	1,25	1,35	1,05	1,15	1,25
3,1...3,5	1,20	1,30	1,40	1,10	1,20	1,30
3,6...4,0	1,25	1,35	1,45	1,15	1,25	1,35
4,1...5,0	1,30	1,40	1,50	1,20	1,30	1,40
5,1...6,0	1,35	1,45	1,55	1,25	1,35	1,45
6,1...8,0	1,40	1,50	1,60	1,30	1,40	1,50
8,1...10,0	1,45	1,55	1,65	1,35	1,45	1,55
10,1...16,0	1,50	1,60	1,70	1,40	1,50	1,60
16,1...25,0	1,60	1,70	1,80	1,50	1,50	1,70
25,1...40,0	—	1,9	2,0	—	1,70	1,80
Св. 40,0	—	2,0	2,1	—	1,80	1,90

18. Техничко-экономические показатели кузнечных цехов и участковковки с заготовительным производством

Показатель	Выпуск поковок, тыс. т/год					
	до 10	св. 10 до 20	св. 20 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 75	св. 75 до 100
	С учетом термообработки и адьюстажных операций*					
Выпуск с 1 м ² площади цеха, участка (без учета подвалов, антресолей, эстакад и служебно-бытовых помещений), т/год	1,6	1,6...1,75	1,75...1,8	1,8...1,9	1,9...2,0	2,0...2,2
Трудоемкость выпуска 1 т поковок, чел.-ч	16,3	16,3...10,7	10,7...8,3	8,3...5,2	5,2...4,5	4,5...4,0
Выпуск на одного рабочего, т/год	80	80...120	120...140	140...280	280...320	320...360
	Без учета термообработки и адьюстажных операций*					
Выпуск на 1 м ² площади цеха, участка (без учета подвалов, антресолей, эстакад, служебно-бытовых помещений), т/год	2,5	2,5...3,0	3,0...3,3	3,3...3,5	3,5...3,8	3,8...4,3
Трудоемкость выпуска 1 т поковок, чел.-ч	12,8	12,8...7,7	7,7...5,8	5,8...2,9	2,9...2,6	2,6...2,3
Выпуск на одного рабочего, т/год	105	105...170	170...205	205...625	625...630	630...780

* Максимальному значению выпуска цеха соответствует наибольший показатель.

Анализ работы кузнечных цехов. В табл. 19–26 приведены данные по эффективному годовому фонду времени работы оборудования, нормы времени на установку и наладку штампов, коэффициенты использо-

вания оборудования, соотношения категорий работающих, нормы расхода энергоносителей, значения коэффициентов использования металлов, нормы расхода вспомогательных материалов и штампов.

19. Действительный (расчетный) годовой фонд времени работы оборудования

Оборудование	Действительный годовой фонд времени, ч		Оборудование	Действительный годовой фонд времени, ч	
	при двух сменах	при трех сменах		при двух сменах	при трех сменах
Прессы механические			Молоты		
Прессы обрезные, винтовые, чеканочные силой, кН:			Молоты ковочные с массой падающих частей (МПЧ), кг, до:		
1000	4080	6085	400	4100	6115
до 3150	4015	5990	2000	4015	5990
8000	3870	5775	5000	3890	5805
св. 8000	3745	5590	Молоты штамповочные с МПЧ, кг:		
Прессы кривошипные горячештамповочные силой, кН:			630...2000	3955	5900
6300...16000	3910	5835	3150...5000	3870	5775
25000	3725	5560	10000...25000	3560	5215
40000	3645	5405	Машины ковочные		
63000	3520	5215	Машины горизонтальные ковочные силой, кН:		
Прессы гидравлические			1600...4000	3910	5835
Прессы гидравлические ковочные силой, кН:			6300...8000	3765	5590
8000	3725	5465	12500...16000	3645	5405
12500	—	7370	20000...31500	3520	5215
20000	—	7200	Вальцы ковочные	4055	6055
32000	—	7030	Станы поперечно-клиновой прокатки, радиально-ковочные машины	3765	5525
40000	—	6855	Автоматы кузнечно-прессовые и автоматические линии		
63000	—	6600	Автоматы многопозиционные	3645	5405
100000 и более	—	6430	Автоматические линии	3645	5280
Ножницы, машины гибочные и правильные	4015	5990			

20. Нормы времени на установку и наладку штампов и коэффициенты использования и загрузки оборудования

Оборудование	Характеристика оборудования и режим работы	Нормы времени на наладку штампов, %, при количестве типоразмеров штампованных поковок, закрепленных за единицей оборудования, шт.					Коэффициент использования оборудования, $K_{и}^*$	Средний коэффициент загрузки оборудования, K_z^{**}
		1...5	6...10	11...20	21...50	св. 50		
КГШП	Сила, кН:							
	до 16000	2...3	4...5	6...7	10...11	12...13	0,90	0,85
	25000...40000	4...5	6...7	8...9	12...13	14...15	0,89	0,85
Молоты штамповочные	63000	6...7	8...9	10...12	15...16	17...18	0,88	0,90
	МПЧ, кг:							
	до 2000	3...4	5...7	8...9	11...12	13...14	0,92	0,85
	3150...5000	5...6	7...8	10...12	15...17	18...20	0,90	0,90
	10000	7...8	9...10	12...14	19...20	21...25	0,90	0,90
	16000...25000	9...10	11...12	14...15	22...25	26...30	0,88	0,90
ГКМ	Сила, кН:							
	до 8000	2...3	4...5	6...7	11...12	13...16	0,92	0,85
	12500...16000	4...5	6...7	8...9	13...15	17...19	0,90	0,90
	20000...31500	6...7	8...9	10...12	17...19	20...25	0,90	0,90
Автоматы и автоматические линии	—	10...12	13...15	15...20	—	—	0,75	0,90
Прочее	—	2...3	4...5	6...7	10...15	17...20	0,92	0,85
Для ковки	Двухсменный	—	—	—	—	—	0,95	0,90
	Трехсменный	—	—	—	—	—	0,95	0,93
	Непрерывный	—	—	—	—	—	0,95	0,95

* Коэффициент $K_{и}$ учитывает потери времени на плановый ремонт оборудования, переналадку и потери, связанные с организационно-техническими причинами.

** Коэффициент K_z определяется отношением расчетного количества оборудования к фактическому.

Нормы расхода вспомогательных материалов на 1 т выпуска поковок в зависимости от средней массы поковок приведены в табл. 27, 28. Расход кузнечных штампов на 1 т штампованных поковок приведен в табл. 29.

Начальный фонд штамповой оснастки должен состоять из штампов основного фонда и их дублеров. Количество штампов-дублеров определяется в зависимости от объема выпуска поковок в год по табл. 30.

21. Соотношения между категориями работающих, %, для укрупненных расчетов

Категория работающих	Горячая (объемная) штамповка										Ковка										
	Выпуск поковок, тыс. т/год										до 10	11...20	21...30	31...50	51...75	76...100					
	по всему производству	без термообработки, очистки от окалины, ремонтных баз и складского хозяйства	до 50 св. 70	без ремонтных и инструментальных служб		100 от 101 до 200 до 300															
				до 70	св. 70		до 50 св. 50	до 50 св. 50													
Вспомогательные рабочие от числа производственных рабочих	Массовое и крупносерийное производство			Серийное и мелкосерийное производство			Заводы центрокузы				40 ... 45			40 ... 45			85 ... 90	75 ... 80	75 ... 80		
	110	120	70	80	140	150	90	100	200*	190*		180*									
	14	14	14	14	14	14	14	14	18	17		16	11		13	15				24	24
	2	2	2	2	2	2	2	2	5	4		4	1		4	4				5	5
	2	2	2	2	2	2	2	2	5	4		4	2		2	2				2	2
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	—		—	—				—	—
	8	8	8	8	8	8	10	10	6	5		5	5		4	4				4	4
Инженерно-технические работники от общего числа рабочих	Массовое и крупносерийное производство			Серийное и мелкосерийное производство			Заводы центрокузы				40 ... 45	40 ... 45	85 ... 90	75 ... 80	75 ... 80						
	110	120	70	80	140	150	90	100	200*	190*						180*					
	14	14	14	14	14	14	14	14	18	17						16	11	13	15	24	24
	2	2	2	2	2	2	2	2	5	4						4	1	4	4	5	5
	2	2	2	2	2	2	2	2	5	4						4	2	2	2	2	2
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1	—	—	—	—	—
	8	8	8	8	8	8	10	10	6	5						5	5	4	4	4	4
Служащие от общего числа рабочих	Массовое и крупносерийное производство			Серийное и мелкосерийное производство			Заводы центрокузы				40 ... 45	40 ... 45	85 ... 90	75 ... 80	75 ... 80						
	110	120	70	80	140	150	90	100	200*	190*						180*					
	14	14	14	14	14	14	14	14	18	17						16	11	13	15	24	24
	2	2	2	2	2	2	2	2	5	4						4	1	4	4	5	5
	2	2	2	2	2	2	2	2	5	4						4	2	2	2	2	2
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1	—	—	—	—	—
	8	8	8	8	8	8	10	10	6	5						5	5	4	4	4	4
Младший обслуживающий персонал от общего числа рабочих	Массовое и крупносерийное производство			Серийное и мелкосерийное производство			Заводы центрокузы				40 ... 45	40 ... 45	85 ... 90	75 ... 80	75 ... 80						
	110	120	70	80	140	150	90	100	200*	190*						180*					
	14	14	14	14	14	14	14	14	18	17						16	11	13	15	24	24
	2	2	2	2	2	2	2	2	5	4						4	1	4	4	5	5
	2	2	2	2	2	2	2	2	5	4						4	2	2	2	2	2
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1	—	—	—	—	—
	8	8	8	8	8	8	10	10	6	5						5	5	4	4	4	4
Инженерно-технические работники службы технического контроля от общего числа рабочих	Массовое и крупносерийное производство			Серийное и мелкосерийное производство			Заводы центрокузы				40 ... 45	40 ... 45	85 ... 90	75 ... 80	75 ... 80						
	110	120	70	80	140	150	90	100	200*	190*						180*					
	14	14	14	14	14	14	14	14	18	17						16	11	13	15	24	24
	2	2	2	2	2	2	2	2	5	4						4	1	4	4	5	5
	2	2	2	2	2	2	2	2	5	4						4	2	2	2	2	2
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1	—	—	—	—	—
	8	8	8	8	8	8	10	10	6	5						5	5	4	4	4	4
Контролеры (рабочие) от числа производственных рабочих	Массовое и крупносерийное производство			Серийное и мелкосерийное производство			Заводы центрокузы				40 ... 45	40 ... 45	85 ... 90	75 ... 80	75 ... 80						
	110	120	70	80	140	150	90	100	200*	190*						180*					
	14	14	14	14	14	14	14	14	18	17						16	11	13	15	24	24
	2	2	2	2	2	2	2	2	5	4						4	1	4	4	5	5
	2	2	2	2	2	2	2	2	5	4						4	2	2	2	2	2
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1	—	—	—	—	—
	8	8	8	8	8	8	10	10	6	5						5	5	4	4	4	4

* Учены рабочие, выполняющие капитальный ремонт оборудования.

** В состав ИТР входят технологи и конструкторы по штампам.

22. Укрупненные показатели расхода энергоносителей

Показатель	Средняя масса штампованных поковок, кг							
	До 1	1,1...2,5	2,6...4	4,1...6	6,1...10	10,1...25	25,1...40	св. 40
Расход электроэнергии, потребляемой производственным, вспомогательным и подъемно-транспортным оборудованием (без нагревательных устройств) на 1 т выпуска поковок, кВт·ч, в цехах, оборудованных:								
кришопиными горячештампующими прессами и прочим кузнечным оборудованием	370	280	220	185	150	110	—	—
молотами штамповочными и прочим кузнечным оборудованием	185	150	120	100	85	70	60	50
Установленная мощность электроприводов основного, вспомогательного и подъемно-транспортного оборудования цеха (без нагревательных устройств) на 1 т выпуска штампованных поковок, кВт, в цехах, оборудованных :								
кришопиными горячештампующими прессами и прочим кузнечным оборудованием	0,21	0,16	0,13	0,11	0,09	0,08	—	—
штамповочными молотами и прочим кузнечным оборудованием	0,11	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03
Расход электроэнергии на нагрев заготовок под штамповку токами повышенной частоты на 1 т выпуска поковок, кВт·ч	750	700	650	600	560	480	460	440
Установленная мощность, кВт:								
индукционных нагревателей на 1 т выпуска штампованных поковок	0,32	0,30	0,28	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22
преобразователей токов повышенной частоты (с учетом холодного резерва в 10...15 %) на 1 т выпуска поковок	0,45	0,43	0,40	0,37	0,35	0,33	—	—
Расход воздуха (давлением 0,6 МПа)* на муфты включения, тормоза, прижимы, средства механизации и удаления окалины со штампов на 1 т выпуска штампованных поковок, м ³ , в цехах, оборудованных:								
кришопиными горячештампующими прессами и прочим оборудованием	1450	1200	900	700	600	500	—	—
в том числе штамповочными молотами и прочим кузнечным оборудованием	1300	1075	775	600	525	450	380	320

Окончание табл. 22

Показатель	Средняя масса штампованных поковок, кг									
	До 1	1,1...2,5	2,6...4	4,1...6	6,1...10	10,1...25	25,1...40	св. 40		
в том числе для удаления окалины	500	400	250	200	175	150	130	110		
для удаления окалины	350	275	180	150	135	120	—	—		
Расход воздуха (давлением 0,7...0,9 МПа) или пара (давлением 0,8...0,9 МПа) на 1 т штампованных поковок, изготовляемых на молотах штамповочных	4200	3500	3000	2800	2600	2500	2300	2100		
Расход воды, м ³ :										
технической смягченной на охлаждение мотор-генераторов и статических преобразователей тока на 1 т выпуска штампованных поковок, нагреваемых токами повышенной частоты	19...24	18...22	17...20	16...18	15...17	14...16	—	—		
дистиллированной ** на внутренний контур статических преобразователей тока на 1 т выпуска штампованных поковок, нагреваемых токами повышенной частоты	20...25	19...23	18...21	17...19	16...18	15...17	—	—		
на охлаждение индукторов на 1 т выпуска штампованных поковок, нагреваемых токами повышенной частоты	22...26	20...24	19...23	17...21	16...20	15...19	—	—		
для охлаждения штампов, инструмента, муфт и тормозов кузнечных машин и прочего оборудования на 1 т штампованных поковок	4	4	4	3	3	3	—	—		
Расход условного топлива ($294 \cdot 10^2$ кДж/кг) на 1 т штампованных поковок для нагрева, кг, перед отрезкой заготовок, штамповкой, в печах:										
топкательных и с вращающимся полом	250	250	250	250	250	250	250	250		
камерных и конвейерных	350	350	350	350	350	350	350	350		
ковкой из проката	400	400	400	400	400	400	400	400		
ковкой из слитка	500	500	500	500	500	500	500	500		

* Максимальный часовой расход воздуха по цеху в целом принимать на 30 % больше его среднечасового расхода.

** В оборотной системе расход воды равен 10 % подачи. Меньшие значения подачи охлаждающей воды приведены для массового и крупносерийного производства, бушьшие — для серийного и мелкосерийного производства.

23. Нормы расхода воды для цеховковки

Область использования воды	Характеристика качества воды	Часовой расход воды, м ³
Для охлаждения заслонок нагревательных печей	Температура 18...20 °С; давление 0,15...0,2 МПа; содержание взвесей 20...30 мг/л; содержание масел и нефтепродуктов 10...20 кг/л; жесткость 5 мг-экв/л	1 на 1 м ² площади заслонки печи
Для охлаждения компрессора насосно-аккумуляторной станции	Температура 18...20 °С; давление 0,1...0,3 МПа; жесткость не выше 4 мг-экв/л; содержание взвесей не более 25 мг/л	175...160*
Для долива питательного бака насосно-аккумуляторной станции	То же	0,01
Для охлаждения кузнечного инструмента	Техническая вода; температура 18...20 °С; давление 0,15...0,2 МПа	0,01
Для полива пола в кузнечном цехе	То же	0,001 на 1 м ²

* Один комплект оборудования насосно-аккумуляторной станции.

24. Нормы расхода энергоносителей (пара и сжатого воздуха) для работы ковочных молотов*

Масса падающих частей ковочных молотов, кг	Расход	
	средний	максимальный
1000	1050	2100
2000	1540	3080
3150	2000	3970
5000	2550	5100

* Приведен расход насыщенного пара давлением 0,6...0,8 МПа в кг или холодного сжатого воздуха давлением 0,6...0,7 МПа в м³ (свободного воздуха).

25. Нормы расхода сжатого воздуха для обдувки бойков

Оборудование	Диаметр сопла, мм	Расход свободного воздуха, м ³ /ч	
		средний	максимальный
Молот ковочный с МПЧ, кг;			
до 1000	3	5	25
св. 1000	5	12	60
Пресс гидравлический ковочный силой, кН:			
8000...12500	6	17	85
20000...100000	10	48	240

Примечание. Давление сжатого воздуха должно быть равно 0,3...0,4 МПа.

26. Средние значения коэффициентов использования металла и отходов для цехов массового и крупносерийного производства, оборудованных КГШП, ГKM и прочим кузнечным оборудованием

Средняя масса поковки, кг	Коэффициент* использования металла K	Коэффициент** использования металла в кузнечном производстве $K_{в.г}$	Коэффициент*** весовой точности $K_{в.т}$	Отходы металла от общего расхода металла, %, на			
				раскрыой	угар	облой	стружку
С индукционным нагревом							
До 1	0,45	0,75	0,60	2,5	1,0	21,5	30,0
1,1...2,5	0,51	0,8	0,64	2,5	1,0	16,5	29,0
2,6...5,0	0,55	0,83	0,66	3,0	1,0	13,0	28,0
5,1...6,0	0,58	0,85	0,68	3,0	1,0	11,0	27,0
6,1...10	0,59	0,86	0,69	3,0	1,0	10,0	27,0
10,1...16	0,60	0,87	0,69	3,0	1,0	9,0	27,0
16,1...25	0,61	0,88	0,69	3,0	1,0	9,0	26,0
25,1...40	0,61	0,88	0,69	3,1	0,9	9,0	26,0
Св. 40	0,62	0,89	0,70	3,1	0,9	8,5	25,5
С пламенным нагревом							
До 1	0,40	0,72	0,56	2,5	3,0	22,5	32,0
1,1...2,5	0,45	0,75	0,60	2,5	3,0	19,5	30,0
2,6...5,0	0,49	0,78	0,63	3,0	3,0	16,0	29,0
5,1...6,0	0,52	0,8	0,65	3,0	3,0	14,0	28,0
6,1...10	0,53	0,81	0,66	3,0	3,0	13,0	28,0
10,1...16	0,54	0,82	0,66	3,0	3,0	12,0	28,0
Св. 40	0,57	0,84	0,68	3,1	2,9	11,0	26,0

* Коэффициент K определяется отношением массы детали к массе металла с учетом отходов кузнечного производства и отходов при обработке резанием.

** Коэффициент $K_{в.г}$ определяется отношением массы штампованной поковки к массе металла с учетом отходов кузнечного производства и отходов при обработке резанием.

*** Коэффициент $K_{в.т}$ определяется отношением массы детали к массе штампованной поковки.

27. Нормы расхода вспомогательных материалов на 1 т выпуска поковок для цехов объемной (горячей) штамповки

Вспомогательные материалы	Норма расхода материалов на 1 т выпуска в зависимости от средней массы поковки (по цеху), кг		
	до 1,6	1,7...4,0	4,0...10,0
Смазочные и промывочные	10,0	9,5	9,0
Химические	4,7	4,0	2,8
Текстильные и бумажные	1,0	0,9	0,8
Для нагрева нагревательных установок	5,0	4,6	4,2
Прочие	3,0	2,7	2,3

28. Нормы расхода вспомогательных материалов для цеховковки

Вспомогательные материалы	Норма расхода на 1 т поковок, кг, изготовленных на		Вспомогательные материалы	Норма расхода на 1 т поковок, кг, изготовленных на	
	прессах	молотах		прессах	молотах
Для изготовления:			Теплоизоляционные (асбест шнуровой, картон асбестовый, полотно асбестовое)	0,2	0,2
оснастки (бойки, оправки, осадочные плиты, подкладные кольца, прошивки и т. п.)	20,0	10,0	Кислород для отрезки прибыльной и донной части слитка и заварки дефектов	10,0 м ³	—
инструмента (топоры, раскатки, обжимки, пробойники, клещи)	5,0	34,0	Пропан-бутан для отрезки прибыльной и донной части слитка	0,3 м ³	—
Огнеупорные (кирпич, песок, глина)	30,0	30,0	Смазочные материалы (масла, вазелин)	0,25	0,25
Обтирочные (ветошь)	1,0	0,5	Краски	0,1	0,1

29. Расход кузнечных штампов (кг) на 1 т

Средняя масса штамповой поковки, кг	Расход штампов на 1 т штампованных поковок, кг				
	КГШП	Молоты штамповочные	ГКМ	ШВА*	РКМ**
До 1,0	22/30	25/35	12/13	26/—	—/0,8
1,1...1,6	18/26	22/32	11/12	22/—	—/0,8
1,7...2,5	15/23	19/28	10/11	18/—	—/0,7
2,6...4,0	12,5/19	17/24	9/10,5	15/—	—/0,7
4,1...6,0	10,5/15	14/20	7,5/10	—/—	—/0,7
6,1...8,0	9/12	11,5/19	6,5/9	—/—	—/0,6
8,1...10	8/11	10,5/18	6/8	—/—	—/0,6
11,0...15,0	—/10	—/17	—/7	—/—	—/0,6
16,0...20,0	—/9,5	—/16	—/—	—/—	—/0,5
21,0...25,0	—/9	—/15	—/—	—/—	—/0,5
26,0...30,0	—/8,5	—/14	—/—	—/—	—/0,4
31,0...35,0	—/8	—/13	—/—	—/—	—/0,4
36,0...40,0	—/—	—/13	—/—	—/—	—/0,4
Св. 40	—/—	—/12	—/—	—/—	—/0,4

* Штамповочные вальцы.

** Ротационно-ковочные машины.

Примечание. В числителе приведены расходы для цехов массового и крупносерийного производства; в знаменателе — расходы для цехов серийного и мелкосерийного производства.

30. Количество запасных штампов-дублеров

Штампы-дублиеры	Количество штампов-дублеров при выпуске поковок, тыс. шт/год	
	до 20	св. 20
Заготовительные (ножи)	1	1
Штамповочные	1	2
Обрезные	1	2
Гибочные	—	1
Правочные и чеканочные	—	1

Глава 15

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И АНАЛИЗ РАБОТЫ ЛИСТОШТАМ- ПОВОЧНЫХ ЦЕХОВ

Ввиду большого разнообразия листоштамповочных цехов необходима их классификация, которая может быть составлена по ряду признаков: по характеру выпускаемой продукции и составу прессового оборудования; по объему годового выпуска продукции; по степени специализации производства.

Характер выпускаемой продукции определяют, прежде всего, размерами штампуемых деталей (табл. 1).

В зависимости от состава прессового оборудования листоштамповоч-

ные цехи подразделяют на: а) цехи особо мелкой штамповки; б) цехи мелкой штамповки; в) цехи средней штамповки; г) цехи крупной штамповки; д) цехи особо крупной штамповки.

В основу такой классификации положен признак преобладания в цехе соответствующей группы оборудования (мелких, средних или крупных прессов), табл. 2.

По объему годового выпуска продукции цехи холодной штамповки могут

1. Классификация листовых деталей

Тип детали	Ориентировочная масса стальной детали, кг	Материал	Ориентировочная площадь детали в плане, м ²
Особо крупные	4...200	Толстолистовой	2,5...10,0
Крупные	4...30	Тонколистовой	2,5...8,0
Средние	0,3...3,5	Тонколистовой	до 0,6
	1,5...5,0	Толстолистовой	до 0,6
Мелкие	До 0,5	Тонколистовой	до 0,2
Особо мелкие	До 1,5	Толстолистовой	до 0,2

Примечание. Толщина тонколистового проката — до 4 мм, толстолистового — более 4 мм.

2. Классификация листоштамповочных цехов по составу оборудования

Группа	Цех	Преобладающая группа прессов (силой, кН)	Габаритные размеры штампуемых деталей, мм
1	Особо мелкой штамповки	До 250	До 80×80
2	Мелкой штамповки	250...1000	До 300×300
3	Средней штамповки	1000...2500	До 500×500
4	Крупной штамповки	2500...8000	До 1400×1400
5	Особо крупной штамповки	Св. 8000	Более 1400×1400

Примечание. Эта классификация в известной степени условна, так как не всегда габаритные размеры штампуемых деталей соответствуют силам прессов. Например, для штамповки малогабаритных, но толстостенных деталей, которые по размерам могут быть отнесены к 1-й группе, могут потребоваться силы, соответствующие прессам 3-й группы.

3. Серийность листоштамповочного производства (по ОНТП 04-86)

Типовые признаки	Тип производства				
	массовое	крупносерийное	среднесерийное	мелкосерийное	единичное
Характер производства	Поточное			Групповая штамповка	
	непрерывное	крупными партиями	средними партиями		
Организация производства и оборудование	Автоматические и поточно-механизированные линии, специальные штамповочные автоматы	Переналаживаемые автоматы и поточно-механизированные линии, штамповочные автоматы	Поточные линии, универсальные прессы, полуавтоматы	Универсальные прессы	Мелкие и средние универсальные прессы, обтяжные и листогибочные прессы, вальцы, вибрационные (высечные) и роликовые (двухдисковые) ножницы и т.п.
	Робототехнические комплексы РТК			Гибкие производственные системы ГПС или их элементы (гибкие производственные модули ГПМ, гибкие производственные комплексы ГПК, гибкие производственные линии ГПЛ, гибкие автоматизированные производства ГАП)	

быть рассчитаны на массовое производство или на производства различной серийности. Серийность производства для листоштамповочных цехов ориентировочно можно определить по табл. 3.

Основные технико-экономические показатели

В состав цехов листовой штамповки входят производственные и вспомогательные подразделения, службы и устройства, склады, служебные и бытовые помещения. В табл. 4–13 приведены основные технико-экономические показатели для листоштамповочных цехов, включающих заготовительные и штамповочные участки, участки отделочных операций, вспомогательные службы цеха и транспорт.

Программа выпуска в натуральном выражении является основой для разработки цехового маршрутного техно-

логического процесса изготовления деталей. Выбор варианта технологического процесса листовой штамповки зависит от объема выпуска, типа (серийности) производства, формы изделий, материала, из которого оно изготавливается, специальных требований, предъявляемых к выпускаемой продукции и других факторов. Например, полые детали из некоторых трудно деформируемых материалов приходится изготавливать, используя энергию взрыва, а из магниевых и большинства титановых сплавов — применяя нагрев.

Исходными данными для расчета количества оборудования является производственная программа цеха. Расчетное количество оборудования каждого вида и типоразмера, необходимого для выполнения производственной программы, при укрупненных расчетах определяют по средней производи-

тельности прессов. Необходимая для расчетов производительность листоштамповочного оборудования приведена в табл. 4–7.

Итоги укрупненного расчета количества оборудования записывают в специальную ведомость.

При детальном расчете количества оборудования в цехах листовой штамповки используют взятые из технологических карт данные по нормам вре-

мени изготовления деталей, закрепленных за данным типоразмером оборудования:

$$O_{pi} = \frac{\sum (P_i T_{шти} + T_{ни})}{60\Phi_0},$$

где O_{pi} — расчетное количество оборудования данного типоразмера; P_i — количество штампованных деталей, изготавливаемых в течение года

4. Средняя производительность универсальных механических прессов, шт./ч

Сила пресса, МН	Размеры стола прес- са, мм	Тип производства							
		мелкосерийное и единичное		серий- ное	крупносерийное			массовое	
		Работа из разных заготовок:							
		полосы	штучной заготовки	полосы	штучной заготовки	полосы	штучной заготовки	полосы	штучной заготовки
≤0,25	450×300	750	700	850	800	1000	900	1200	1000
0,4...0,63	600×400	700	600	800	700	950	800	1100	900
1,0	850×650	600	500	700	600	800	700	900	800
1,6...2,5	900×900	500	450	600	500	750	600	750	650
3,15...4,0	1000×1000	350	300	400	300	500	350	550	400
6,3	1250×1250	300	250	350	300	400	350	450	400
8,0...10,0	1500×1500	250	200	325	275	375	325	425	375
≥16,0	1800×1800	—	—	300	250	350	300	400	350

5. Средняя производительность линий прессов при штамповке особо крупных, крупных и средних тонколистовых деталей (без учета автоматизации)

Линия	Состав линий прессов				Средняя производительность, шт./ч, при производстве		
	Головной пресс двойного действия		Прессы простого действия				
	Сила, МН	Размеры стола пресса, мм	Сила, МН	Размеры стола пресса, мм	массовом	крупносе- рийном	серийном
Особо крупной и крупной штамповки	16,0...20,0	4500×2500	10,0...16,0	4500×2500	240	200	150
	10,0	3500×2300	5,0	3500×2300	340	290	220
Средней штамповки	6,3	2800×1900	5,0	2800×1900	450	400	320
	5,0	2500×1400	5,0	2500×1400	490	440	380
	3,15	1500×1400	1,6...2,5	2000×1250	550	500	450
	—	—	1,6...2,5	900×900	700	650	550

6. Средняя производительность линий прессов при штамповке особо крупных, крупных и средних толстолистовых деталей (без учета автоматизации)

Линии	Прессы простого действия		Средняя производительность, шт./ч		
	Сила, МН	Размеры стола прессы, мм	при производстве		
			массовом	крупносерийном	серийном
Специальные и особо крупной штамповки	31,5...63,0	9000×2000—12000×2200	—	180	150
	20,0...31,5	7000×1800—8000×2000	—	220	180
	12,5...16,0	5000×1800	—	300	250
Крупной штамповки	16,0	800×800	—	320	270
	12,5	1600×1600	380	330	282
	8,0...10,0	1500×1500	400	330	300
	8,0...10,0	4000×1500	350	320	280
Средней штамповки	5,0	2800×1400	—	360	320
	2,5	2000×1250	500	450	400
	5,0...6,3	1250×1250—1500×1500	425	375	325
	3,15...4,0	1000×1000	450	409	350
	2,0...2,5	900×900	550	500	450

на данном оборудовании; $T_{шт_i}$ — штучное время штамповки одной детали, мин; $T_{нi}$ — время установки и наладки штампа при изготовлении данного количества штампованных деталей, мин.

При подсчете количества оборудования используют два показателя:

1. Коэффициент загрузки оборудования, представляющий собой отношение количества станко-часов, необходимых для выполнения годовой

7. Средняя производительность ножниц с наклонным ножом, т/ч

Длина реза, мм, не более	Толщина листа, мм	Ширина отрезаемой заготовки (шаг подачи), мм					
		100	200	400	600	800	1000
1000	0,5	0,15	0,3	0,55	0,8	—	—
	2,0	0,5	1,0	1,75	2,5	—	—
	3,0	0,7	1,3	2,4	3,4	—	—
	4,0	0,9	1,7	3,0	4,4	—	—
2000	0,5	0,2	0,4	0,7	1,0	1,3	—
	2,0	0,55	1,2	2,2	3,0	4,0	—
	3,0	0,9	1,65	3,0	4,4	5,5	—
	4,0	1,2	2,0	3,8	5,6	7,0	—
	6,0	1,5	2,8	5,0	7,4	9,4	—
	9,0	2,0	3,7	6,7	9,7	12,0	—
	10,0	2,2	3,9	7,2	10,0	13,0	—

Окончание табл. 7

Длина реза, мм, не более	Толщина листа, мм	Ширина отрезаемой заготовки (шаг подачи), мм					
		100	200	400	600	800	1000
3200	0,5	0,4	0,8	1,4	2,0	2,6	3,2
	2,0	1,3	2,4	4,4	6,0	8,0	9,6
	3,0	1,8	3,3	6,0	8,8	11,0	13,4
	4,0	2,3	4,0	7,6	11,2	14,0	16,0
	6,0	3,0	5,6	10,0	14,8	18,8	22,0
	9,0	4,0	7,4	13,4	19,4	24,0	29,0
	10,0	4,4	7,8	14,4	20,0	26,0	31,0
5000	0,5	0,6	1,1	2,0	2,9	3,8	5,5
	2,0	1,9	3,5	6,5	9,5	12,0	14,0
	3,0	2,5	4,9	9,0	13,0	17,0	20,0
	4,0	3,4	6,0	11,0	16,0	20,0	24,0
	6,0	4,5	8,0	14,0	20,0	26,0	30,0
	9,0	6,0	11,0	20,0	29,0	38,0	42,0
	10,0	6,5	12,0	22,0	32,0	40,0	48,0
	12,0	7,0	13,5	26,0	38,0	50,0	55,0
	16,0	9,0	17,0	33,0	47,0	60,0	70,0

программы, к действительному фонду времени работы принятого количества оборудования;

2. Коэффициент использования оборудования во времени, представляющий собой отношение количества станко-часов, необходимых для выполнения годовой программы, к номинальному годовому фонду времени работы принятого количества оборудования.

Коэффициент загрузки оборудования

$$K_{zi} = \frac{O_{pi}}{O_{\xi fi}},$$

где O_{fi} — фактически принятое число единиц оборудования данного типоразмера.

Коэффициент загрузки оборудования по цеху

$$K_{zc} = \frac{\sum O_{pi}}{\sum O_{\xi fi}}.$$

В табл. 8–11 приведены данные, необходимые при расчете оборудования.

Анализ работы листоштамповочных цехов. В табл. 9–38 приведены данные по эффективному годовому фонду времени работы оборудования, нормы времени на установку и наладку штампов, коэффициенты использования оборудования, соотношения категорий работающих, нормы расхода энергоносителей, значения коэффициентов использования металлов, нормы расхода вспомогательных материалов и штампов.

Применение средств механизации и автоматизации прессов листовой штамповки значительно повышает производительность труда (табл. 12, 13), улучшает качество продукции и условий труда.

8. Частота и размеры партий в автомобильном производстве

Тип производства	Частота запуска, шт./год	Размер партии, тыс.шт.
Мелкосерийное производство:		
мелкие и средние детали	4	0,25
крупные детали	6	0,17
Среднесерийное производство (10...150 шт. в год):		
мелкие и средние детали	12	8...12
крупные детали	22	5...6,5
Крупносерийное производство (150...200 шт. в год):		
мелкие и среднегабаритные детали	12	12...17
крупные, металлоемкие и трудно складире- мые детали	24...26	7...8
Массовое производство (св. 200 тыс. шт. в год)	Определяется по эксплуатационной стойкости штампов	10...25

9. Действительный годовой фонд времени работы оборудования, ч

Оборудование	Число смен		
	$m = 1$	$m = 2$	$m = 3$
Прессы силой до 100 кН	2000	3950	5870
Прессы силой от 1000 до 10000 кН	—	3830	5560
Прессы силой св. 10000 кН	—	3670	5380

10. Процент использования числа ходов пресса

Прессы	Подача материала и удаление отходов	
	вручную	механизированные
Мелкие и особо мелкие	15...30	60...65
Средние	35	65
Крупные	45	70

11. Время на переналадку одного штампа

Тип и номинальная сила пресса, кН	Число установ- щиков	Время на установку штампа, мин		Время на снятие штампа, мин
		без буферного устройства	с буферным уст- ройством	
Простого действия:				
до 500	1	20	30	10
500...1000	1	30	40	15
1000...1500	1	40	60	20
1500...2500	1	60	90	30

Окончание табл. 11

Тип и номинальная сила прессы, кН	Число установщиков	Время на установку штампа, мин		Время на снятие штампа, мин
		без буферного устройства	с буферным устройством	
2500...3500	2	70	100	35
3500...5000	2	80	110	40
5000...7500	2	100	130	50
7500...12000	2	140	170	65
Св. 12000	2	160	190	70
Двойного действия:				
до 4000 кН	2	180	200	100
4000...6000	2	220	260	120
Св. 6000	2	300	360	150

12. Процент использования числа ходов листоштамповочных прессов

Прессы	Ручная подача и удаление деталей из прессы	Ручная подача и механизированное удаление деталей из прессы	Автоматизированные подача и удаление деталей из прессы
Мелкие и особо мелкие	15...30	20...30	65...90
Средние	35	40	
Крупные и особо крупные	45	50	

13. Процент использования числа ходов автоматизированных листоштамповочных прессов

Оборудование	Рулон шириной, мм		Лента шириной, мм		Полоса	Штучные заготовки
	400...700	≥800	<100	100...400		
Однокривошипные прессы силой, МН:						
≤1,0	—	—	90	85	75	70
≤2,5	—	—	—	75?80	70	65
≤10,0	70	—	—	75	70	65
Многokrивошипные прессы силой до 10 МН	80	75	—	—	—	0
Прессы-автоматы многоползунковые (гибочные)	—	—	85	80	—	80
Прессы-автоматы многопозиционные силой, МН:						
≤2,5	—	—	80	75	—	70
≤10,0	75	—	—	75	—	70
≤40,0	70	—	—	—	—	65
Автоматические линии	80	75	80	80	80	70

Контингент работающих в цехах листовой штамповки состоит из рабочих и служащих (ИТР, СКП, МОП) (табл. 14—18). Основной группой работающих в цехе являются производственные рабочие. Количество производственных рабочих ($P_{пр}$) при **укрупненных** расчетах определяют по трудоемкости или производительности по формуле

$$RHO_{пр} = \frac{T_{Г}}{\Phi_{р}} = \frac{\sum T_i \Pi_i}{\Phi_{р}},$$

где $T_{Г}$ — суммарная трудоемкость годовой программы, ч; $\Phi_{р}$ — расчетный годовой фонд времени производст-

венного рабочего, ч; T_i — трудоемкость изготовления одного изделия, ч; Π_i — годовой выпуск по каждому изделию, шт.

$$P_{пр} = \frac{\Pi}{\Pi_{пр}},$$

где Π — годовая программа выпуска, т; $\Pi_{пр}$ — годовая производительность одного производственного рабочего, т/чел (принимается из имеющихся данных работы аналогичных производств).

Общее количество производственных рабочих цеха по всем изделиям годового выпуска определяют суммиро-

14. Численность бригад при работе на листоштамповочном оборудовании

Оборудование	Количество основных рабочих на единицу оборудования		
	Ручная подача и сьем	Ручная подача и механизированный сьем	Механизированные подача и сьем
Ножницы листовые	2...3	1...2	—
Ножницы листовые с автоподачей металла	—	—	1,0
Ножницы многодисковые	2...3	1...2	1,0
Прессы вырубные	1...3	1...2	1,0
Прессы особо мелкие и мелкие	1	1	—
Прессы средние	1...3	1...2	1,0
Прессы крупные	1...4	1...3	—
Прессы специальные	1...4	1...3	—
Прессы с автоподачей металла:			
особо мелкие и мелкие	—	—	0,3...1,0
средние	—	—	1,0
крупные	—	—	1,0...2,0
специальные	—	—	1,0...2,0
Прессы листогибочные	1...3	1...2	—
Прессы листогибочные с программным управлением	—	—	1,0
Машина листогибочная трех-, четырехвалковая	1...3	—	1,0...2,0
Ножницы вибрационные и роликовые	1...2	—	—
Пресс дыропробивной	1	—	—
Пресс дыропробивной с программным управлением	—	—	1,0

15. Численность бригад при работе на линиях холодной листовой штамповки в зависимости от числа установленных в линии прессов

Тип линии	Число прессов					
	1	2	3	4	5	6
Автоматические:						
резки или вырубки заготовок из широкого рулона	2...3	—	—	—	—	—
специальные	—	5...7	6...8	—	—	—
крупной штамповки	—	—	—	2	2...3	3...4
средней штамповки	—	2	2	2	2...3	3...4
мелкой штамповки	—	1	1...2	1...2	2...3	—
Поточно-механизированные:						
специальные	—	6...8	10...12	—	—	—
крупной штамповки	—	—	6...8	8...10	10...12	12...14
средней штамповки	—	—	3...4	4...5	5...6	6...7
мелкой штамповки	—	2	3	4	5	6

16. Численность работающих в первую смену в зависимости от серийности производства и общей численности каждой категории, %

Категории работающих	Тип производства			
	Единичное и мелкосерийное	Серийное	Крупносерийное	Массовое
Основные рабочие	60	50	50	50
Вспомогательные рабочие	60	55	55	50
ИТР	75	70	70	70
ИТР в цехе от общего количества ИТР	40	40	40	40
Служащие	75	70	70	70

ванием рабочих, занятых на штамповке каждого типа изделий. При этом составляют ведомость поддетального расчета трудоемкости. Общая трудоемкость для данной детали в год:

$$T_i^r = T_i \Pi_i.$$

Рекомендуется рассчитывать среднюю загрузку оборудования. Рассчитывают также общую площадь на единицу ведущего производственного оборудования. Выпуск в год рассчитывают на одного работающего и на единицу производственного оборудования.

В цехах листовой штамповки для изготовления деталей используют различные металлические и неметаллические материалы. В качестве исходного материала в цехах холодной листовой штамповки используют прокат черных и цветных металлов и сплавов в виде листов, лент, полос, рулонов, профилей различного сортамента и назначения.

При **укрупненном** способе годовой расход металла каждой марки и сорта подсчитывают по формуле

$$G_M = \frac{G_n}{\eta} 100 \%,$$

где G_n — масса выпускаемых деталей в год из данного металла, т; η — коэффициент использования металла, %.

Согласно практическим данным, коэффициент использования металла (табл. 19) по различным отраслям промышленности составляет от 55 до 90%.

Вспомогательные материалы подразделяют по назначению на три вида:

для ремонта оборудования, штампов и различной оснастки; для очистки смазки и промывки их; для технологических целей (табл. 20).

Разбивку штампов на группы (особо мелкие, мелкие, средние, крупные, особо крупные и специальные) осуществляют по силам прес-сов, на которые их устанавливают.

17. Нормы плотности бригад при работе на прессовом оборудовании

Оборудование	Количество человек на единицу оборудования	
	при ручной подаче и ручном снятии детали	при ручной подаче и автоматическом снятии детали
Гильотинные ножницы	2...3	1...2
Правильные валцы	2...3	1...2
Однокривошипные прессы:		
до 1000 кН	1	1
1000...2500 кН	1...2	1
св. 2500 кН	2...3	1...2
Многokrивошипные прессы:		
1250...2500 кН	2...3	1...2
3150...8000 кН	2...4	2...3
св. 8000 кН	4...5	2...5

Примечание. Прессы с автоматической подачей и снятием детали обслуживаются одним оператором.

18. Численность работающих в листоштамповочных цехах в зависимости от серийности производства и размеров штампуемых изделий

Категории работающих	Тип производства							
	Единичное и мелкосерийное				Серийное			
	Детали				Детали			
	крупные	средние	мелкие и особо мелкие	комплексные	крупные	средние	мелкие и особо мелкие	комплексные
Вспомогательные рабочие	65	50	25...30	60	70	60	30...35	70
Рабочие контролеры	6	5	4	5	4	3,5	3	3,5
ИТР	8	7	6	7	9	8	7	6
Служащие	2,5	2	1,5	2	2	2	1	2
МОП	2	1,9	1,7	1,9	1,5	1,4	1,2	1,4
ИТР ОТК	2	1,8	1,6	1,8	1	0,9	0,7	0,9

Окончание табл. 18

Категории работающих	Тип производства							
	Крупносерийное				Массовое			
	Детали				Детали			
	крупные	средние	мелкие и особо мелкие	ком-плекс-ные	крупные	средние	мелкие и особо мелкие	ком-плекс-ные
Вспомогательные рабочие	90	75	40...45	80	100	95	55	95
Рабочие контролеры	4	3,5	3	3,5	3,5	3	2,5	3
ИТР	10	10	9	10	11	10	9	10
Служащие	2	2	1	2	1,5	1,5	1	1,5
МОП	1	0,8	0,7	0,8	1	0,7	0,6	0,7
ИТР ОТК	1	0,8	0,6	0,8	0,8	0,6	0,5	0,6

19. Средний коэффициент использования металла

Отрасль (изделие)	η
Приборы и электрооборудование	0,55...0,83
Мотоциклы и велосипеды	0,70...0,90
Автомобили	0,60...0,82
Тракторы	0,70...0,90
Сельскохозяйственные машины	0,62...0,90
Холодильники, стиральные машины	0,80...0,85
Тепловозы, электровозы	0,70...0,75
Вагоны	0,80...0,85
Краны мостовые	0,80...0,90

Листоштамповочные штампы (и приспособления) подразделяют на штампы начального фонда (включающего основной фонд штампов и штампы-дублиеры) и штампы, расходуемые в течение года (табл. 21–24). Количество штампов-дублиеров зависит от прочности и стойкости штампов и годовой программы выпуска деталей (табл. 22).

В табл. 23 приведена зависимость между количеством деталей в программе и потребностью в штампах-дублерах.

Кроме того, при проектировании необходимо знать количество штам-

пов, списанных с эксплуатации в результате поломок и износа (табл. 24).

Потребность цеха в малоценном инструменте и приспособлениях, производственном и хозяйственном инвентаре устанавливают в ценностном выражении на одного производственного рабочего в наибольшую смену (на одного работающего) или на 1 т готовой продукции.

Подъемно-транспортные средства в цехах холодной штамповки разделяют на три группы:

1) краны, кран-балки и электротельферы;

20. Данные к расчету потребности цеха во вспомогательных материалах

Оборудование	Годовой расход на единицу оборудования при двухсменной работе, кг			
	Масло машинное	Солидол	Керосин	Обтирочные материалы
Прессы-автоматы силой до 0,63 МН	48	27	10	22
Прессы однокривошипные силой, МН:				
до 1,0	65	30	13	25
св. 3,15	90	50	17	35
Прессы многокривошипные силой, МН:				
до 6,3	105	60	20	40
св. 6,3	120	70	35	50
Прессы двойного действия силой, МН:				
до 5,0	110	65	22	42
св. 5,0	200	100	25	45
Ножницы листовые	25	35	18	35
Прочее кузнечно-прессовое оборудование	65	30	15	30

21. Усредненные параметры штампов цехов холодной листовой штамповки

Сила прессы, МН	Штампы		Сила прессы, МН	Штампы	
	Размеры, мм	Масса, т		Размеры, мм	Масса, т
Однокривошипные прессы простого действия					
0,925	130×125×125	0,010	2,00	800×700×500	0,85
0,063	250×200×150	0,025	3,15	800×800×600	1,50
0,160	350×200×200	0,050	4,00	800×800×650	1,75
0,250	350×250×250	0,070	6,30	1200×1200×750	3,00
0,400	500×300×250	0,120	8,00	1200×1200×850	3,50
0,630	600×350×300	0,200	12,50	1300×1300×1000	4,50
1,000	700×450×400	0,350	16,00	1500×1500×1000	6,00
2,600	800×550×450	0,450	—	—	—
Двукривошипные прессы простого действия					
1,00	1500×400×400	0,9	4,0	2200×1400×900	6,0
1,60	1500×1000×750	3,0	5,0	2400×1400×900	7,0
2,50	2200×1100×750	4,0	6,3	2500×1400×900	8,0
3,15	2200×1200×800	5,0	—	—	—

Окончание табл. 21

Сила пресса, МН	Штампы		Сила пресса, МН	Штампы	
	Размеры, мм	Масса, т		Размеры, мм	Масса, т
Четырехкривошипные прессы простого действия					
4,5	3200×1800×1200	17,0	10,0	4000×2200×1400	32,0
5,0;6,3	3200×1900×1200	18,0	12,5	4000×2200×1600	35,0
8,0	3200×2000×1300	20,0	16,0...20,0	4000×2200×1800	38,0
Однокривошипные прессы двойного действия					
2,50	600×600×500	0,8	8,0...10,0	1500×1500×1100	6,0
3,15	1000×1000×700	2,5	16,0	1700×1700×1200	9,0
6,30	1200×1200×900	4,5	—	—	—
Двухкривошипные прессы двойного действия					
5,0	2200×1400×1300	10,0	8,0	3200×1800×1800	23,0
6,3	3200×1600×1600	20,0	10,0	4000×1800×1800	28,0
Четырехкривошипные прессы двойного действия					
5,0	2200×2000×1300	13,0	10,0	3500×2200×1700	30,0
6,3	3200×2200×1500	20,0	16,0	4000×2200×1800	35,0
8,0	3400×2200×1600	25,0	20,0	4500×2200×2000	40,0
Прессы-автоматы многопозиционные					
0,2	100×100×200	0,005	6,3	400×400×400	0,14
0,4	150×150×250	0,015	10,0	500×500×500	0,30
0,8	175×175×300	0,025	20,0	600×600×600	0,35
1,6	200×200×300	0,040	31,5	800×800×700	0,55
2,5	250×250×350	0,050	40,0	900×900×800	0,75
4,0	300×300×350	0,090	—	—	—
25,0	3600×1200×1000	15,0	35,0	8000×1500×1000	35,0
25,0	5000×1300×1000	25,0	40,0	9000×1800×1200	45,0
31,5	7000×1500×1000	30,0	50,0	11000×1800×1200	55,0

22. Количество штампов-дублеров в зависимости от годовой программы деталей одного наименования начального фонда, %

Группа штампов	Годовая программа, тыс. комплектов деталей						
	4	10	25	50	100	200	400 и более
Особо мелкие	15	20	25	30	35	50	100
Мелкие	10	15	20	25	30	45	90
Средние	5	5	10	15	20	35	70
Крупные	—	—	5	10	15	25	50
Особо крупные	—	—	—	5	10	20	40
Специальные	—	—	—	—	5	15	20

23. Нормы запаса штампов-дублеров

Тип штампов	Количество штампов-дублеров на одну операцию при программе выпуска деталей, шт.			
	2000	2000...10000	10000...50000	50000...100000
Режущие без мелких пуансонов	—	—	1	2
Режущие с мелкими пуансонами	—	1	2	2...3
Гибочные и вытяжные штампы	—	—	—	1

24. Количество списанных штампов в зависимости от годовой программы и стоимости основного фонда штампов, %

Группа штампов	Годовая программа, тыс.комплектов деталей						
	4	10	25	50	100	200	400 и более
Особо мелкие	20	20	20	30	60	120	240
Мелкие	20	20	20	25	50	100	200
Средние	20	20	20	20	25	50	100
Крупные	20	20	20	20	20	30	60
Особо крупные	20	20	20	20	20	20	40
Специальные	20	20	20	20	20	20	40

2) подвесные конвейеры, напольные или подземные транспортеры;

3) безрельсовые колесные транспортные машины.

Количество электрокар устанавливают из расчета одна электрокара на каждые 400...500 м трассы транспортирования грузов или на каждые 2000 т годового выпуска деталей. Выбор типа электротранспорта проводят по данным табл. 25.

Для транспортировки металла со склада в цех предусматривают электропогрузчики грузоподъемностью 2 т из расчета один электропогрузчик на 2000 т металла в год. Для межпролетной транспортировки металлов используют также самоходные тележки-платформы (табл. 26) из расчета одна тележка на 60...72 м длины пролета.

Грузоподъемность кранов, их тип и количество устанавливают в зависимости от вида используемого в цехе металлопроката, массы самого тяже-

лого штампа и характера технологических операций (табл. 27—30).

Мостовые электрические краны (табл. 28) грузоподъемностью 5, 10, 15 т имеют крановые пролеты длиной 11, 14, 17, 20, 23, 26, 29 и 32 м, а грузоподъемностью 20/5, 30/5, 50/10, 80/20 т — пролеты длиной 10,5; 13,5; 16,5; 19,5; 22,5; 28,5; 31,5 и 34,5 м.

Краны-штабелеры применяют обычно на складах вместо мостовых кранов (табл. 29).

Отходы от штамповочных прессов и линий транспортируют на пакетировочный участок обычно напольным транспортом (в таре) или транспортерами (табл. 30).

В зависимости от выполняемых технологических процессов, типов установленного оборудования и подъемно-транспортных средств в цехах используют различные энергоносители: электроэнергию, сжатый воздух, пар, воду, жидкое и газовое топливо.

25. Характеристика электротранспорта

Показатель	Электрокары			Электропогрузчики			
	ЭП-108	ЭТМ-С	ЭТ-2040	ЭТ-550	ЭПВ-140	ЭПВ-1-614	ЭП-201
Грузоподъемность, т	0,63	1,0	2,0	5,0	0,75	1,0	2,0
Размеры платформы, мм:					—	—	—
длина	1540	1250	2200	4200			
ширина	920	800	1250	1650			
Габаритные размеры, мм:					—	—	—
длина	2260	2400	3300	3400	2610	2960	1500
ширина	920	850	1250	1650	1000	1030	1350
высота	1360	1260	1370	1600	1500	1480	2100

26. Параметры электрических тележек-платформ

Показатель	Грузоподъемность, т			
	5	10	20	50
Мощность электродвигателя, кВт	2,2	2,5	5,0	11,0
Габаритные размеры платформы, мм:				
длина	3500	4500	4500	5000
ширина	2100	2100	2100	2500
высота	740	805	880	1240

27. Данные к расчету средств наземного транспорта

Подразделения цеха	Тип крана, его грузоподъемность, т	Рекомендуемая длина пролета на один кран, м
Склад металла	Мостовой, 20...50	40...50
Склад штамповки:		
мелкой	Мостовой, 5...10	50...60
средней	Мостовой, 5...15	90...120
крупной	Мостовой, 15...30	120
Склады штампов, готовой продукции	Кран-штабелер	60, но не менее одного крана на склад
Вспомогательные службы	Кран-балка, 1...5	
Пакетировочный участок	Грейферный с магнитной шайбой	Один кран на участок

Средний расход сжатого воздуха на различном оборудовании цехов холодной листовой штамповки приведен в табл. 31.

Ремонтные службы цеха предназначены для организации техническо-

го обслуживания и ремонта производственного оборудования, подъемно-транспортных средств, средств механизации, штамповой оснастки и другого инструмента (табл. 32).

28. Рекомендуемые области применения мостовых кранов

Высота здания цеха, м	Ширина пролета, м															
	18				24				30				36			
	Грузоподъемность крана, т															
	5	10	15	20	10	20	30	50	10	20	30	50	20	30	50	80
8,15	+	+	+		+	+	+	+	+	+			+			
10,8		+	+	+	+	+	+			+		+	+	+		
12,0			+	+	+	+	+	+		+	+	+		+	+	
13,2				+	+	+	+	+		+	+	+		+	+	+
14,4				+		+	+	+			+	+		+	+	+
15,6							+	+		+	+			+	+	+
16,8							+	+		+	+		+	+	+	+

29. Данные к выбору крана-штабелера

Показатель	Грузоподъемность			
	1,0	2,0	3,2	5,0
Пролет штабелера, м	4,5	10,5	16,5	22,5
Высота подкранового пути, м	6,15	6,15	6,95; 8,15	9,65
Мощность электропривода, кВт	14,0	16,0	19,5	17,4
Высота подъема груза, м	4,5	5,1	6,0	8,3
Ширина моста, м	5,0	6,63	6,64	6,79
Ширина прохода, м:				
для штабелирования	2,1	2,4	2,6	2,7
для разворота груза	2,7	3,5	3,65	3,7

30. Выбор схемы уборки пакетируемых отходов

Участок штамповки	Среднее количество отходов на один пресс, кг/ч					
	До 50	Св. 50	До 75	Св. 75	До 100	Св. 100
Крупной	Напольным транспортом в таре	Транспортером	—	—	—	—
Средней	—	—	Напольным транспортом в таре	Транспортером	—	—
Мелкой и особо мелкой	—	—	—	—	Напольным транспортом в таре	Транспортером

31. Средний расход сжатого воздуха, м³/ч

Оборудование	Режим работы оборудования		
	Одиночные ходы	Автоматическая работа	На 1 ход шатуна прессы
Ножницы гильотинные, габаритные размеры реза (max), мм:			
4×3200	8...12	5...6	—
12×5000	20...35	15...20	—
Прессы однокривошипные силой, МН:			
до 1,6	8...10	3...5	—
2,5...6,3	15...20	5...8	—
8...12,5	25...35	10...15	—
св. 12,5	40...50	10...20	—
Прессы двух-, четырехкривошипные простого действия силой, МН:			
до 3,15	18...20	7...10	—
4,0...8,0	35...40	15...20	—
св. 8,0	55...60	25...25	—
Прессы двух-, четырехкривошипные двойного действия силой, МН:			
2,5	20...25	8...12	—
3,15...8,0	40...45	18...25	—
св. 8,0	60...65	25...30	—
Пневмосдуватели	—	—	0,004...0,006
Пневмосъемники	—	—	До 0,004
Полосоподаватели	—	—	До 0,03
Листоукладчики	—	—	До 0,045
Механические руки для деталей:			
мелких	—	—	До 0,005
крупных и средних (навесные и напольные)	—	—	0,02...0,035
Подъемные столы до 30 кН	—	—	0,08...0,5
Кантователи	—	—	до 0,05
Пневмопитатели	—	—	0,006...0,009

Склады листоштамповочного цеха разделяют на производственно-материальные, инструментальные и склады вспомогательных отделений. Данные для расчета площадей складов цехов холодной листовой штамповки приведены в табл. 33–36.

Производственную площадь цеха ориентировочно можно определить, используя табл. 37.

Вспомогательную площадь цеха определяют укрупнено по данным табл. 38.

32. Удельная трудоемкость ремонта прессов и длительность их простоя вследствие ремонта

Вид ремонта	Удельная трудоемкость, ч				Длительность простоя при работе ремонтной бригады, ч		
	Общая	Вид работ			Смен в сутки		
		Слесарные	Станочные	Прочие	1	2	3
Осмотр	0,85	0,75	0,1	—	—	—	—
Текущий	6,1	4,0	2,0	0,1	2,0	1,12	0,8
Средний	23,5	16,0	7,0	0,5	4,8	2,64	2,0
Капитальный	35,0	23,0	10,0	2,0	8,0	4,32	3,28

33. Нормы расчета площадей кладовых для цехов особо мелкой и мелкой штамповки

Материал, хранимый в кладовой	Способ хранения	Нормы запаса при серийности производства, рабочие дни			Средняя нагрузка при полной высоте укладки, кПа	Максимальная высота хранения, м	Коэффициент использования общей площади $K_{исп}$
		Мелкосерийное	Среднесерийное	Крупносерийное			
Листовой и профильный прокат. Кладовая материалов	В стеллажах на полу	6	4	1...2	40...80	6	0,35...0,40
Полуфабрикаты. Кладовая межоперационная	В таре на полу	6	4	1...2	15...30	6	0,25...0,55
Готовые изделия. Кладовая готовых изделий	В таре на стеллажах, поштучно в штабелях	5	3	1...2	7...25	6	0,30...0,55

34. Нормы запасов материалов на цеховых складах, дни

Тип производства	Металл	Заготовки	Детали (поковки)
Массовое	3	8...10	3...4
Крупносерийное	5	10...12	4...6
Серийное	7	12...15	15...20
Мелкосерийное и единичное	10	15...25	20...25

35. Нормы хранимых запасов в днях

Годовая программа, шт.	Склады металла	Промежуточные склады	Склады готовой продукции
до 50000	25...30	10...12	5...6
до 120000	23...28	8...10	4...5
до 400000	20...25	3...5	3...4

36. Данные для расчета площадей цеховых складов

Материал	Вид поставки	Способ хранения	Средняя нагрузка на пол при полной высоте укладки, кПа	Максимальная высота хранения, м	Коэффициент использования площадей $K_{исп}$
Основные исходные материалы:					
прокат листовой	В пачках	В штабелях	80...120	4	0,35...0,40
		В стеллажах	140...160	8...10	0,30...0,55
прокат широкорулонный	В рулонах	На подставках	100...120	4...5	0,35...0,40
		В стеллажах	160...180	8...10	0,30...0,55
лента (ширина 101...300 мм)	В бунтах	На подставках	60...80	4	0,35...0,40
		В стеллажах	120...140	8...10	0,30...0,55
лента (ширина до 100 мм)	В бунтах	В штабелях	20...40	4	0,35...0,40
		В стеллажах	40...60	8...10	0,30...0,55
Полоса	В пачках	В штабелях	80...100	4	0,35...0,40
Заготовки:					
карточки (прямоугольные в плане)	Стопами на поддонах	В штабелях	60...80	4	0,25...0,30
		В стеллажах	130...150	10...12	0,30...0,55
сложной конфигурации		В штабелях	50...70	4	0,20...0,25
		В стеллажах	120...140	10...12	0,25...0,55
Штампованные поковки					
Тонколистовые:					
особо крупные и крупные	В специальной таре	В штабелях	9	5...6	0,35...0,45
		В стеллажах	15...50	9...26	0,30...0,55
средние	В таре	В штабелях	10...12	5...6	0,35...0,45
		В стеллажах	20...80	9...26	0,30...0,55
Толстолистовые:					
особо крупные и крупные	В специальной таре	В штабелях	15...20	5...6	0,35...0,45
		В стеллажах	25...100	9...26	0,30...0,55
средние	В таре	В штабелях	20...30	5...6	0,35...0,45
		В стеллажах	50...150	9...26	0,30...0,55
мелкие	В таре	В штабелях	15...20	5...6	0,35...0,45
		В стеллажах	30...120	9...26	0,30...0,55

37. Нормы удельной производственной площади на единицу оборудования

Оборудование	Удельная производственная площадь, м ²
Ножницы листовые	30...100
Те же, с автоподачей материала	90...200
Ножницы многодисковые	60...150
Прессы вырубные	60...100

Окончание табл. 37

Оборудование	Удельная производственная площадь, м ²
Прессы особо мелкие и мелкие	5...15
Прессы средние	25...100
Прессы крупные	35...180
Прессы специальные	45...250
Прессы с автоподачей материала:	
особо мелкие и мелкие	10...30
средние	50...200
крупные	70...360
специальные	90...500
Прессы-автоматы:	
особо мелкие и мелкие	10...45
средние	60...70
крупные	120...150
специальные	200...450
Пресс листогибочный	20...100
Пресс листогибочный с программным управлением	40...200
Машина листогибочная трех-, четырехвалковая	30...90
Ножницы вибрационные и роликовые	15...50
Пресс дыропробивной	10...30
Пресс дыропробивной, с программным управлением	20...60
Рабочее место	5...6

Примечания: 1. Данные для цеха средней и крупной штамповки относятся к пролету шириной 24 м. Для пролета шириной 30 м удельную площадь принимать с коэффициентом 1,25.

2. Большие значения удельных площадей относятся к более крупному оборудованию.

3. Для ИТР и служащих, работающих в цехе, предусматриваются конторские помещения из расчета 4...6 м² на одного человека.

38. Ориентировочные размеры площадей подразделений цеха от общей площади цеха, %

Площади	Цех (участок) штамповки		
	особо крупной и крупной	средней	особо мелкой и мелкой
Производственная	35...60	50...65	55...68
Вспомогательная, в том числе:			
склад металла	40...65	35...50	32...45
склад заготовок	2...15	1...10	0...9
склад штампов	5	4	3
средств механизации и автоматизации	10...16	10...14	12...14
контрольной оснастки, ремонтной базы	6	4	2
Кладовые, лаборатории, вспомогательные помещения	2	2	1

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Шехтер В.Я.** Проектирование кузнечных и холодноштамповочных цехов. Учебник. М.: Высшая школа, 1991. 367 с.
2. **Троицкий В.П., Мохов А.И., Кобелев А.Г.** Проектирование цехов обработки металлов давлением: учебник. Волгоград, 1998. 528 с.
3. **Ковка и штамповка:** справочник. В 4-х т. / Ред. совет: Е.И. Семенов и др. М.: Машиностроение, 1987. т. 4. Листовая штамповка // под ред. А.Д. Матвеева, 1987. 544 с.
4. **Производственные** здания. СНиП 2.09.02-85. М.: Стройиздат, 1985. 320 с.
5. **Санитарные** нормы проектирования промышленных предприятий. СН 245-71. М.: Стройиздат, 1972. 36 с.
6. **Строительные** нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение. СНиП 23-05-95. М.: Стройиздат, 1995. 98 с.

Глава 16

ОХРАНА ТРУДА В КУЗНЕЧНЫХ И ЛИСТОШТАМПОВОЧНЫХ ЦЕХАХ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При эксплуатации оборудования кузнечных и листоштамповочных цехов возникают опасные и вредные факторы. Физические: движущиеся механизмы; незащищенные подвижные элементы производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы; повышенная запыленность воздуха рабочей зоны; повышенная температура воздуха рабочей зоны; повышенный уровень шума на рабочем месте; повышенный уровень вибрации; недостаток естественного и искусственного освещения рабочей зоны. Химические: действующие через дыхательные пути и кожный покров. Психофизиологические: физические и нервно-психические перегрузки.

Производственное оборудование должно удовлетворять требованиям безопасности при монтаже (в необходимых случаях демонтаже), эксплуатации, ремонте, транспортировании и хранении, при использовании его отдельно или в составе комплексов и технологических схем.

Производственное оборудование в процессе эксплуатации не должно загрязнять окружающую среду выбросами вредных веществ, которые превышают нормы, установленные стандартами РФ.

Производственное оборудование должно быть пожаро- и взрывобезопасным.

Производственное оборудование при эксплуатации в условиях, установленных эксплуатационной и ремонтной документацией, не должно создавать опас-

ных и вредных факторов для работающих. В отдельных случаях действие возникающих опасных и вредных факторов должно быть сведено к минимуму.

Производственное оборудование должно соответствовать требованиям безопасности в течение всего срока службы.

Безопасность производственного оборудования должна обеспечиваться: выбором принципов действия, конструктивных схем, безопасных элементов конструкций и т.п.; применением в конструкции средств механизации и автоматизации, дистанционного управления и средств защиты; выполнением эргономических требований; включением требований безопасности в техническую документацию по монтажу, эксплуатации, ремонту, транспортированию и хранению; использованием в конструкции соответствующих материалов.

Технические средства безопасности. Выбор принципов действия конструктивных схем и безопасных элементов конструкций зависит в основном от технологического процесса и типа изделия.

Технические средства, которые снижают или устраняют опасные факторы при работе на кузнечно-прессовом и листоштамповочном оборудовании, подразделяют на устройства, непосредственно снижающие опасные факторы (табл. 1), и устройства, способствующие их устранению (табл. 2).

При одновременном управлении двумя руками система ручного управления должна допускать возможность включения рабочих органов только

1. Устройства, снижающие опасные факторы

Тип устройства	Наименование устройства	Вид исполнения
Защитные опасной зоны	Решетки	Подвижные, неподвижные
	Рукоотстранители	—
	Корпусоотводчики	—
	Фотоэлементы	—
Ограждающие движущиеся механизмы	Вращающиеся детали	—
	Поступательно перемещающиеся детали	—
Управления	Ножные педали	Электрические, пневматические,
	Ручное управление	двухрукое стационарное, двухрукое переносное, рычажное рукояткой

2. Устройства, обеспечивающие устранение опасных факторов

Назначение устройства	Наименование устройства
Включают и выключают пресс	Муфты фрикционные
Предохраняют от поломки деталей и указывают силу пресса	Предохранители, лимитирующие силу
	Предохранители, лимитирующие крутящий момент
	Указатели сил
Обеспечивают безопасность и удобство наладки машины	Микропривод
	Подвижной стол
Исключают произвольное движение отдельных деталей	Тормозные устройства
	Уравновешиватели
	Устройства для удерживания деталей при ремонте
Механизация и автоматизация	Механизация и системы автоматизации
Исключают пребывание человека в опасной зоне	Роботы и робототехнические системы

при нажатии обеих пусковых кнопок, оси которых должны располагаться на расстоянии не менее 300 и не более 600 мм.

Во избежание случайного включения рабочих органов кнопки ручного управления двумя руками должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность их случайного нажатия.

При управлении двумя руками, применяемом в кузнечно-прессовом оборудовании (КПО) с поступательно-воз-

вратным движением рабочего органа, длительность воздействия на пусковые кнопки должна исключать возможность последующего ввода рук в опасную зону во время хода.

При управлении рабочими режимами одной рукой или педалью должны применяться защитные устройства рабочей (опасной) зоны.

В случае когда кузнечно-прессовое оборудование (КПО) может быть использовано для технологических операций (загрузка заготовок и удаление

готовых изделий), при которых применяются приспособления или средства автоматизации и механизации, включающие необходимость ввода рук оператора в рабочую зону (опасную), а также при которых удержание заготовок осуществляют обеими руками вне рабочей (опасной) зоны, управление допускается без защитных устройств.

Ножная педаль должна быть ограждена кожухом, открытым только с фронта обслуживания, исключающим возможность случайного воздействия на нее.

Силы на рукоятках при постоянном ручном режиме и одиночных ходах не должны превышать 40 Н. Силы на рукоятках механизмов перемещения с механическим и редко используемым ручным управлением, включаемым не более 5–10 раз в смену, не должны превышать 150 Н, включаемым не более 25 раз — 80 Н.

Требования к устройству средств защиты. Все открытые движущиеся части оборудования, расположенные на высоте до 250 мм от уровня пола, если они являются источниками опасности, должны быть закрыты сплошным или сетчатым ограждением со стороны ячеек с размером не более 10 мм, за исключением мест, ограждение которых не допускается их функциональным назначением (не относится к рабочей зоне машины). Ограждения должны подвешиваться на петлях, шарнирах. Может быть применено подвешивание на болтах и шпильках при наличии в ограждении окна с под-

вижной крышкой для доступа к частям, которые требуется обслуживать (при диаметре окон менее 30 мм установка подвижной крышки необязательна).

Ограждения массой более 5 кг должны иметь рукоятки, скобы или другие устройства для удержания при открывании или съеме.

Части нагревательных устройств с высокой температурой поверхностей, находящихся в зоне постоянного обслуживания, должны закрываться ограждающими кожухами или теплоизоляционным экраном с обеспечением температуры наружной поверхности не более 45 °С.

Эргономические требования при работе на прессах. На основе анализа поз работающих в соответствии с требованиями научной организации труда для каждого типоразмера пресса рекомендуются рабочие позы (табл. 3).

Общие эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ в положении сидя или стоя при проектировании нового и модернизации действующего оборудования и производственных процессов должны быть выполнены согласно следующим нормативным документам: ГОСТ 12.2.032–78 и ГОСТ 12.2.033–78.

Конструкция рабочего места при выполнении работ сидя должна обеспечить рациональное выполнение трудовых операций, размещение приборов и органов управления.

Высота рабочей поверхности при организации рабочего места для выполнения работ сидя составляет 725 мм. Ниже

3. Рекомендуемые рабочие позы на прессах

Установленная рабочая поза	Номинальная сила пресса, кН
В положении сидя	40; 63; 100
В положении сидя/стоя	250; 400; 630; 1000
В положении стоя	1600; 2000; 2500; 4000

приведены данные о высоте сиденья, мм, на прессах для мужчин и женщин:

Женщины	400
Мужчины и женщины	420
Мужчины	430

Конструкция кресла должна обеспечивать снижение физической утомляемости в процессе работы.

Конструкция рабочего места при выполнении работ стоя должна обеспечивать рациональное выполнение трудовых операций и размещение приборов и органов управления. Высота рабочей поверхности при организации рабочего стола при выполнении работ стоя составляет 1025 мм.

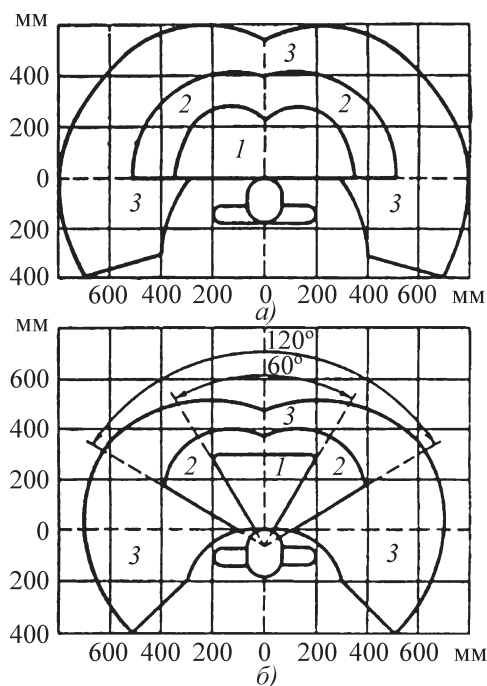


Рис. 1. Зоны для выполнения различных операций и размещения органов управления при выполнении работ стоя в горизонтальной (а) плоскости и при выполнении работ сидя (б):

1 — зона для размещения очень часто используемых и наиболее важных органов управления; 2 — зона для размещения часто используемых органов управления; 3 — зона для размещения редко используемых органов управления

Выполнение трудовых операций с режимами работы «часто» и «очень часто» должно быть в пределах зоны 1 для размещения очень часто используемых и наиболее важных органов управления (рис. 1).

Электробезопасность. Кузнечно-прессовые и листоштамповочные цехи относятся к помещениям с повышенной опасностью, которые характеризуются наличием сырости с относительной влажностью более 70 %; с высокой температурой воздуха, длительно превышающей +30 °C; с полами из токопроводящих материалов; большим количеством выделяющейся токопроводящей технологической пыли, оседающей на проводах и проникающей внутрь электроустановок; с размещением электроустановок с металлическими корпусами, имеющих соединение с землей, а также металлоконструкциями зданий и технологическим оборудованием. В цехах предусматривается контурное защитное заземление. На отдельных агрегатах предусматривается защитное отключение.

Нормы производственной санитарии регламентируют: рациональное размещение предприятий, зданий и сооружений; размеры производственных помещений; выбор состава и компоновки вспомогательных помещений; допустимые величины вредных веществ в воздухе рабочей зоны; допустимые параметры метеорологических условий; рациональное освещение; уровень шума и вибраций на рабочем месте ниже допустимых значений.

Размещение предприятий, зданий и сооружений. Производства, в состав которых входят кузнечно-прессовые и листоштамповочные цехи, относятся к 4 классу с шириной санитарно-защитной зоны 100 м. Промышленные предприятия, выделяющие в процессе работы вредные и загрязняющие вещества (пыль, газ) и распространяю-

щие неприятные запахи и шум, не допускается размещать с подветренной стороны к жилому району; их следует отделять от жилых районов санитарно-защитными зонами.

В проектах промышленных предприятий должны предусматривать технологические процессы, исключаящие выделение вредных веществ в атмосферу, и достаточно эффективные современные технические решения по недопущению вредного влияния производственных факторов на население (пылеуловители, газоочистки, увеличе-

ние высоты труб, шумопоглощение, герметизация аппаратуры и коммуникаций, респирация, переработка отходов) и по снижению их до существующих норм.

Между длинными сторонами и торцами зданий, а также торцами зданий с оконными проемами предусматриваются санитарные разрывы не менее 12 м.

Производственные помещения. При проектировании производственных помещений должны учитываться размеры производственных помещений согласно СН 245–71.

Наименьшие допустимые значения размеров производственных помещений по санитарным условиям следующие:

Объем производственного помещения на каждого работающего, м ³	15
Площадь каждого производственного помещения, выгороженного стенами или глухими перегородками, на каждого работающего, м ²	4,5
Высота, м:	
производственного помещения от пола до потолка	3,2
от пола площадки, сооруженной в производственном помещении, до низа выступающих конструктивных элементов, относящихся к вышерасположенным конструкциям или линиям коммуникаций:	
при регулярном проходе работающих	2,0
при нерегулярном проходе работающих	1,9
галерей от уровня пола до низа выступающих конструкций покрытий: . . .	
при регулярном проходе работающих	2,0
при нерегулярном проходе работающих	1,9
Ширина пешеходных галерей, м, при числе проходящих по ней в смену в одном направлении:	
не более 400 чел.	1,5
более 400 чел.	2,2

Санитарно-бытовые помещения промышленных предприятия (СНиП 2.09.04–87). Санитарно-бытовые помещения для рабочих, инженерно-технических работников и обслуживающего персонала в кузнечно-прессовых цехах проектируются в соответствии с группой Па («Производственные процессы, осуществляемые при неблагоприятных метеорологических условиях, при значительных выделениях влаги, пыли, особо загрязняющих веществ (кроме вредных), при значительных (более 23 кДж/(м³·с) избытках явного тепла, в основном конвекционного»). К санитарно-бытовым помещениям относят-

ся гардеробные, душевые, уборные, курительные, устройства питьевого водоснабжения; к административным — помещения здравоохранения, предприятия общественного питания, помещения культурного обслуживания, управления, конструкторские бюро, помещения для учебных занятий и общественных организаций.

В листоштамповочных, кузнечных и прессовых цехах предусматриваются специальные санитарно-бытовые помещения (табл. 4).

Параметры метеорологических условий (ГОСТ 12.1.005–88). В кузнечно-прессовых и листоштамповочных

4. Состав специальных санитарно-бытовых помещений и устройств в зависимости от санитарной характеристики производственных процессов (СниП 2.09.04—87)

Группа производственных процессов	Санитарная характеристика производственных процессов	Область применения процессов	Специальные санитарно-бытовые помещения
I	Осуществляемых в помещениях, в которых избытки явной теплоты незначительны (не более $23 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$) и отсутствуют значительные выделения влаги, пыли, особо загрязняющих веществ Вызывающих загрязнения рук, специальной одежды и тела	В листоштамповочных цехах	— Душевые, ножные ванны
II	Осуществляемых при неблагоприятных метеорологических условиях, при значительных выделениях влаги, пыли, особо загрязняющих веществ (кроме вредных), при значительных избытках теплоты (более $23 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$), в основном лучистого	В кузнечных и прессовых цехах	Душевые, помещения для охлаждения работающих; помещения для хранения и чистки спецодежды (при процессах со значительным выделением пыли)

5. Допустимые нормы температуры относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений в теплый период года (постоянные рабочие места)

Категория работ	Температура, °С	Относительная влажность воздуха	Скорость движения воздуха, м/с
Средней тяжести Па	18...27	65	0,2...0,4
Средней тяжести Пб	16...27	70	0,2...0,5
Тяжелая Пв	15...26	75	0,2...0,6

цехах категория выполняемой работы по тяжести средняя Па, средняя Пб, тяжелая Пв. С целью улучшения условий труда устанавливаются допустимые параметры метеорологических условий (табл. 5) Интенсивность теплового облучения работающих от нагревательных устройств инсоляций на постоянных рабочих местах не должна превышать $35 \text{ Вт}/\text{м}^2$ при облучении 50 % поверхности тела и более, $70 \text{ Вт}/\text{м}^2$ — при величине облучаемой поверхности от 25...30 % и $100 \text{ Вт}/\text{м}^2$ — при облучении не более 25 % поверхности тела. Интенсивность теплового облучения работающих от открытых источников (нагретый металл, «открытое» пламя и др.) не должна превышать $140 \text{ Вт}/\text{м}^2$,

при этом облучению не должно подвергаться более 25 % тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

Освещение. При проектировании естественного и искусственного освещения в производственных помещениях следует руководствоваться требованиями строительных норм и правил по проектированию освещения (табл. 6).

Производственный шум и вибрации. Нормирование производственного шума и вибраций в кузнечно-прессовых и листоштамповочных цехах осуществляется на основании санитарных норм (табл. 7 и 8).

**6. Нормы освещения в кузнечно-прессовых
и листоштамповочных цехах (СНИП 23-05–95)**

Характеристика зрительной работы	Контрастность объекта, различия с фоном	Искусственное освещение	Естественное освещение КЕО*, %		Совместное освещение КЕО, %	
			при верхнем и комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем и комбинированном освещении	при боковом освещении
Грубая (очень мало точности)	Независимо от характеристик фона и контраста объекта различения с фоном	200	3	1	1,8	0,6
Со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах		200	3	1	1,8	0,6

* КЕО — коэффициент естественного освещения.

Примечания: 1. Наименьший размер объекта различения более 0,5 мм.

2. Разряд зрительной работы IV.

7. Нормы уровня звукового давления (СН 2.2.4/2.1.8.562–96)

Рабочие места	Уровень звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами									Уровень звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Кабины наблюдений и дистанционного управления:										
без речевой связи	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75
по телефону с речевой связью	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
Рабочие места и зоны в производственных помещениях и на территории предприятия	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

**8. Среднеквадратичные значения вибростойкости, (м/с)·10⁻², не более,
на постоянных рабочих местах (СН 2.2.4/2.1.8.566–96)**

Вибрация	Логарифмические уровни вибростойкости, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Общая технологическая на постоянных рабочих местах в производственных помещениях предприятия	$\frac{1,3}{108}$	$\frac{0,45}{99}$	$\frac{0,22}{93}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	—	—	—	—
Локальная	—	—	$\frac{5,0}{120}$	$\frac{5,0}{120}$	$\frac{3,5}{117}$	$\frac{2,5}{114}$	$\frac{1,8}{111}$	$\frac{1,3}{108}$	$\frac{0,9}{105}$	$\frac{0,65}{102}$

Примечание. В числителе даны среднегеометрические значения вибростойкости, в знаменателе — логарифмические уровни вибростойкости.

Пожарная безопасность. Кузнечно-прессовые цеха относятся к категории Г, листоштамповочные цеха (без нагревательных устройств) — к категории Д производств по взрывопожаробезопасности и характеризуются степенью огнестойкости III (СНИП 21-01-97).

На производствах категории Г негорюемые вещества и материалы находятся в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии: процесс их обработки сопровождается выделением теплоты, искр и пламени. На производствах категории Д негорюемые вещества и материалы находятся в холодном состоянии.

Основные строительные конструкции кузнечно-штамповочных цехов характеризуются следующими пределами огнестойкости. Несущие стены, стены лестничных клеток и колонны относятся к классу негорюемых с пределом огнестойкости 2 ч; плиты, настилы и другие конструкции — 0,75 ч. Наружные стены из навесных панелей относятся к

классу негорюемых с пределом огнестойкости 0,25 ч или трудногорюемых с пределом огнестойкости 0,15 ч.

Рациональный режим труда и отдыха. Для установления рационального режима труда и отдыха определяется интегральная балльная оценка тяжести напряженности труда по шестибальной системе с помощью специальных таблиц по формуле $U_T = X_{\max} = [\sum X_{ij} (6 - X_{\max} / 6(n - 1))]$, где X_{\max} — наивысшая из полученных частичных балльных оценок; $\sum X_{ij}$ — сумма баллов всех i -х балльных оценок без наивысшего на j -м рабочем месте; n — число всех учитываемых баллов на рабочем месте. Зная интегральную балльную оценку тяжести и напряженности труда и кривую фаз работоспособности человека в течении рабочего дня, разрабатывается график отдыха. Исходные данные для расчета интегральной балльной оценки тяжести и напряженности труда получают при аттестации рабочих мест.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бабаев Ф.В.** Оптимальный раскрой материалов с помощью ЭВМ. М.: Машиностроение, 1982. 168 с.
2. **Бережковский Д.И.** Метод комплексной оценки деформируемости стали и сплавов при ковке // Кузнечно-штамповочное производство, 1975. № 12. С. 11–12.
3. **Васильев К.В.** Плазменно-дуговая резка. М.: Машиностроение, 1974. 111 с.
4. **Высоцкий Е.П., Косяк В.И.** Схемы раскроя проката методом холодной ломки // Кузнечно-штамповочное производство. 1976. № 12. С. 37–38.
5. **Головин В.Я.** Комплектование кузнечно-прессовых производств высокопроизводительными технологическими комплексами // Кузнечно-штамповочное производство. 1981. № 5. С. 27–29.
6. **Горелик А.Г.** Автоматизация инженерно-графических работ с помощью ЭВМ. Минск: Вышэйшая школа, 1980. 205 с.
7. **Гривачевский А.Г., Прохvatкин Н.В., Ярош Г.А.** Система автоматизированного проектирования разделительных штампов «АВТОШТАМП-ЕС». Общее описание. Ч. 1. Минск: ИТК АН БССР, 1984. 117 с.
8. **Григорьев Л.Л.** Автоматизированное проектирование в холодной листовой штамповке. Л.: Машиностроение. Ленинград, отд-ние, 1984. 280 с.
9. **Гуревич С.Г., Моргун В.В.** Источники питания средней частоты установок индукционного нагрева. 4-е. Л.: Машиностроение. Ленинград, отд-ние. 1980. 287 с.
10. **Дзугутов М.Я.** Пластическая деформация высоколегированных сталей и сплавов. М.: Металлургия, 1977. 312 с.
11. **Исаченков Е.И.** Контактное трение и смазка при обработке металлов давлением. М.: Машиностроение, 1978. 208 с.
12. **Исследование и разработка мероприятий для снижения угара металла** / В.Е. Чернов, М.П. Ревун, А.Н. Байбуз, А.Н. Андриенко // Кузнечно-штамповочное производство. 1980. № 2. С. 32–34.
13. **Казанцев Е.И.** Промышленные печи: справочное руководство для расчетов и проектирования. М.: Металлургия, 1975. 367 с.
14. **Ковка и объемная штамповка стали: справочник.** В 2-х т. Т. 1 / Под ред. М.В. Сторожева. М.: Машиностроение, 1967. 435 с.
15. **Ковка и штамповка цветных металлов: справочник.** М.: Машиностроение, 1972. 232 с.
16. **Кохан Л.С.** Комплексная механизация и автоматизация метизных цехов. М.: Металлургия, 1983. 97 с.
17. **Кривандин В.А., Филимонов Ю.П.** Теория, конструкция и расчеты металлургических печей. М.: Металлургия, 1978. 359 с.
18. **Кривошипные горячештамповочные прессы в современном кузнечно-штамповочном производстве** / Ю.Т. Гурьев, В.Н. Горожанкин, А.Т. Крук, В.Г. Плюгачев, А.И. Гончаров. М.: НИИМАШ, 1983. 78 с.
19. **Макшанов Л.Я., Кудинов Е.И., Удалов П.П.** Оборудование для раскроя сортового проката // Кузнечно-штамповочное производство. 1981. № 5. С. 26–28.
20. **Маркин П.В., Кабалкин Н.А.** Механизация и автоматизация кузнечно-прессового производства. Каталог на внедрение в производство. Приспособления, устройства и средства механизации. М.: НИИинформтяжмаш, 1975. 38 с.

21. **Марочник** стали и сплавов / Под ред. И.Р. Крянина, А.А. Астафьева, Е.П. Могилевского М.: ЦНИИТМАШ, 1977. 483 с.
22. **Массен В.А., Раскинд В.Л.** Справочник молодого кузнеца-штамповщика. М.: Высшая школа, 1980. 255 с.
23. **Матвеев А.Д.** Влияние неравномерности растяжения на деформацию листового металла // Известия вузов. Машиностроение. 1977. № 5. С. 197.
24. **Машиностроительные** материалы: Краткий справочник / В.М. Раскатов, В.С. Чуенков, Н.Ф. Бессонова, Д.А. Вейс. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1980. 511 с.
25. **Мигачев Б.А., Потапов А.И.** Пластичность инструментальных сталей и сплавов: справочник. М.: Металлургия, 1980. 420 с.
26. **Микляев П.Г., Дуденков В.М.** Сопротивление деформации и пластичность алюминиевых сплавов: справочник. М.: Металлургия, 1979. 189 с.
27. **Могучий Л.Н.** Обработка давлением труднодеформируемых материалов. М.: Машиностроение. 1976. 157 с.
28. **Немзер Г.Г., Двоскин В.Л., Рязанцев А.Б.** Разработка и создание новых технологических режимов нагрева слитков перед ковкой на прессах // Кузнечно-штамповочное производство. 1976. № 11. С. 28–32.
29. **Охрименко Я.М.** Технология кузнечно-штамповочного производства. М.: Машиностроение, 1976. 560 с.
30. **Пашистов М.А., Брук В.Д., Кольца Н.Т.** Нагревательные печи с плоскопламенными горелками // Кузнечно-штамповочное производство. 1980. № 11. С. 30–32.
31. **Петров Л.Н., Касатонов В.Ф., Этин И.З.** Ковка на молотах и гидравлических прессах. Л.: Машиностроение. Ленинград. отд-ние, 1980. 248 с.
32. **Поздняк Л.А., Скрынченко Ю.М., Тишаев С.И.** Штамповые стали. М.: Металлургия, 1980. 204 с.
33. **Полухин П.И., Горелик С.С., Воронцов В.К.** Физические основы пластической деформации. М.: Металлургия, 1982. 584 с.
34. **Проектирование** машиностроительных заводов и цехов: справочник. Т. 3 / Под ред. А.М. Мансурова. М.: Машиностроение, 1974. 336 с.
35. **Разработка** автоматизированной системы технологической подготовки кузнечно-штамповочного производства / А.И. Петров, А.П. Лутовинов, Г.В. Дегтярев, М.А. Яхнис // Кузнечно-штамповочное производство. 1977. № 12. С. 13–15.
36. **Расчет** нагревательных и термических печей: справочник / Под ред. В.М. Тымнака, В.Л. Гусовского. М.: Металлургия, 1983. 430 с.
37. **Романов Д.И.** Электроконтактный нагрев металлов. М.: Машиностроение, 1981. 182 с.
38. **Рыскин С.Е.** Применение сквозного индукционного нагрева в промышленности. Л.: Машиностроение. Ленинград, отд-ние, 1979. 411 с.
39. **Сатановский А.Г., Мирский Ю.А.** Нагревательные и термические печи в машиностроении. М.: Машиностроение, 1971. 383 с.
40. **Свенчанский А.Д.** Электрические промышленные печи. М.: Энергия, 1975. 352 с.
41. **Северденко В.П., Макушок Е.М., Равин А.Н.** Окалина при горячей обработке металлов давлением. М.: Металлургия, 1977. 208 с.
42. **Семенов О.И.** Введение в системы автоматизации проектирования. Минск: Наука и техника, 1979. 85 с.
43. **Семенов Е.И.** Ковка и объемная штамповка. М.: Высшая школа, 1972. 350 с.
44. **Семенов Е.И., Кондратенко В.Г., Ляпунов Н.И.** Технология и оборудованиековки и объемной штамповки. М.: Машиностроение, 1978. 310 с.

45. **Скворцов А.А., Акименко А.Д., Кузелев М.Я.** Безоокислительный и малоокислительный нагрев стали под обработку давлением. М.: Машиностроение, 1968. 270 с.
46. **Скляев П.В.** Термическая обработка крупных поковок. М.: Машиностроение, 1976. 60 с.
47. **Слухоцкий А.Е., Рыскин С.Е.** Индукторы для индукционного нагрева. Л.: Энергия, 1974. 124 с.
48. **Смирнов-Аляев Г.А.** Сопротивление материалов пластической деформации. Л.: Машиностроение. Ленинград. отд-ние, 1978. 368 с.
49. **Смирягин Л.П., Смирягина Н.А., Белова А.В.** Промышленные цветные металлы и сплавы: справочник. М.: Металлургия, 1974. 417 с.
50. **Соловцов С.С.** Безотходная резка сортового проката в штампах. М.: Машиностроение, 1985. 176 с.
51. **Соловцов С.С.** Отрезка от сортового проката точных заготовок для объемной штамповки // Кузнечно-штамповочное производство. 1978. № 8. С. 18—22.
52. **Степанский Л.Г.** Расчеты процессов обработки металлов давлением. М.: Машиностроение, 1979. 215 с.
53. **Сторожев М.В., Попов Е.А.** Теория обработки металлов давлением. М.: Машиностроение, 1977. 424 с.
54. **Тарновский И.Я., Вайсбурд Р.А., Еремеев Г.А.** Автоматизация проектирования технологии горячей штамповки. М.: Машиностроение, 1969. 240 с.
55. **Телегин А.С., Лебедев Н.С.** Конструкция и расчет нагревательных устройств. М.: Машиностроение, 1975. 263 с.
56. **Теория** пластических деформаций металлов / Под ред. Е.П. Унксова. А.Г. Овчинникова. М.: Машиностроение, 1983. 598 с.
57. **Термическая** обработка в машиностроении: справочник / Под ред. Ю.М. Лахтина, А.Г. Рахштадта. М.: Машиностроение, 1980. 783 с.
58. **Тетерин Г.П., Полухин П.И.** Основы оптимизации и автоматизации проектирования технологических процессов горячей объемной штамповки. М.: Машиностроение, 1979. 215 с.
59. **Технология** листовой штамповки / В.И. Стеблюк, В.Л. Марченко, В.В. Белов, А.Г. Гривачевский. Киев: Вища школа, 1983. 279 с.
60. **Трение** и смазка при обработке металлов давлением: справочник / А.П. Грудев, Ю.В. Знльберг, В.Т. Килик. М.: Металлургия, 1982. 312 с.
61. **Трофимов И.Д., Стоколов В.Е.** Оборудование для горячей штамповки с электронагревом. М.: Машиностроение, 1972. 361 с.
62. **Тюрин В.А.** Теория и процессыковки слитков на прессах. М.: Машиностроение, 1979. 240 с.
63. **Финкель В.М., Головин Ю.И., Родюков Г.Б.** Холодная ломка проката. М.: Металлургия, 1982. 192 с.
64. **Фомин Н.И., Затуловский Л.М.** Электропечи и установки индукционного нагрева. М.: Металлургия, 1979. 247 с.
65. **Холодная** объемная штамповка: справочник / Под ред. Г.А. Навроцкого. М.: Машиностроение, 1973. 352 с.
66. **Шамов А.Н., Бодажков В.А.** Проектирование и эксплуатация высокочастотных установок. Л.: Машиностроение. Ленинград. отд-ние, 1974. 281 с.
67. **Штампы** разделительные. Автоматизированное проектирование на ЕС ЭВМ. РТМ 105-0-213—83. Ростов-на-Дону: НИИТМ, 1983. 290 с.
68. **Электротехнологические** промышленные установки / И.П. Евтюкова, Л.С. Кацевич, Н.М. Некрасова, А.Д. Свенчанский. М.: Энергия, 1982. 96 с.

Справочное издание

**Аверкиев Александр Юрьевич, Бережковский Давид Исаакович,
Богданов Энгель Федорович и др.**

Ковка и штамповка

В 4-х томах

Том 1

Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка

Редактор *Т.С. Грачева*
Переплет художника *Т.Н. Галицына*
Технический редактор *В.Г. Верхоzin*
Корректор *М.Я. Барская*

Сдано в набор 27.10.09 г. Подписано в печать 15.02.10 г.
Формат 70×100 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура NewtonC.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 58,5.
Уч.-изд. л. 57,3. Тираж 1000 экз. Заказ .

ОАО «Издательство «Машиностроение»,
107076, Москва, Стромьинский пер., 4/1, стр. 3.

Отпечатано в ГУП ППП «Типография «Наука» РАН»,
121099, Москва, Шубинский пер., 6

ISBN 978-5-217-03460-4



Для заметок

Для заметок

Для заметок
