**Лекция № 1**

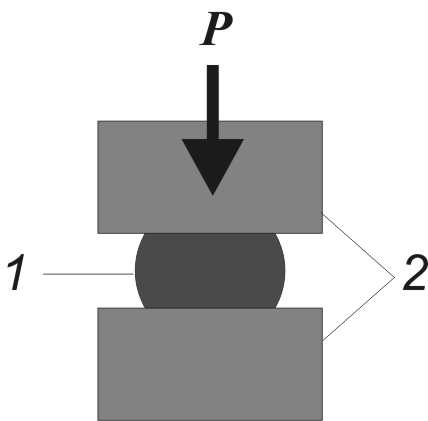
*Введение. Кузнечно-штамповочное производство и его роль в развитии машиностроения. Общие сведения об обрабатываемых металлах и сплавах.*

К изучению дисциплины «Технология ковки и объемной штамповки» (ТКиОШ) следует приступать после изучения дисциплины курсов связанных с теорией процессов обработки металлов давлением и пластического формоизменения. Такая последовательность изучения объясняется тем, что ковка (наряду с объемной штамповкой, прессованием, волочением, прокаткой и листовой штамповкой) относится к основным формоизменяющим процессам обработки металлов давлением, а теоретические дисциплины является теоретической научной базой этой технологии.

Из названных выше процессов обработки давлением в курсе ТКиОШ основное внимание уделяется технологии свободной ковки и горячей объемной штамповки, имеющих наибольшее распространение в кузнечно-прессовых цехах машиностроительных заводов. Что же касается листовой штамповки, то, учитывая присущие ей особенности деформирования металла, она выделена в самостоятельный курс.

Приступая к изучению дисциплины ТКиОШ, полезно первоначально в общих чертах ознакомиться с основными процессами объемной деформации металла.

*Ковка* (свободная ковка) характеризуется ручной, а чаще машинной, обработкой металла на универсальном кузнечном оборудовании (ковочных молотах и прессах) с применением универсального инструмента (бойков, прошивней, топоров и др.).

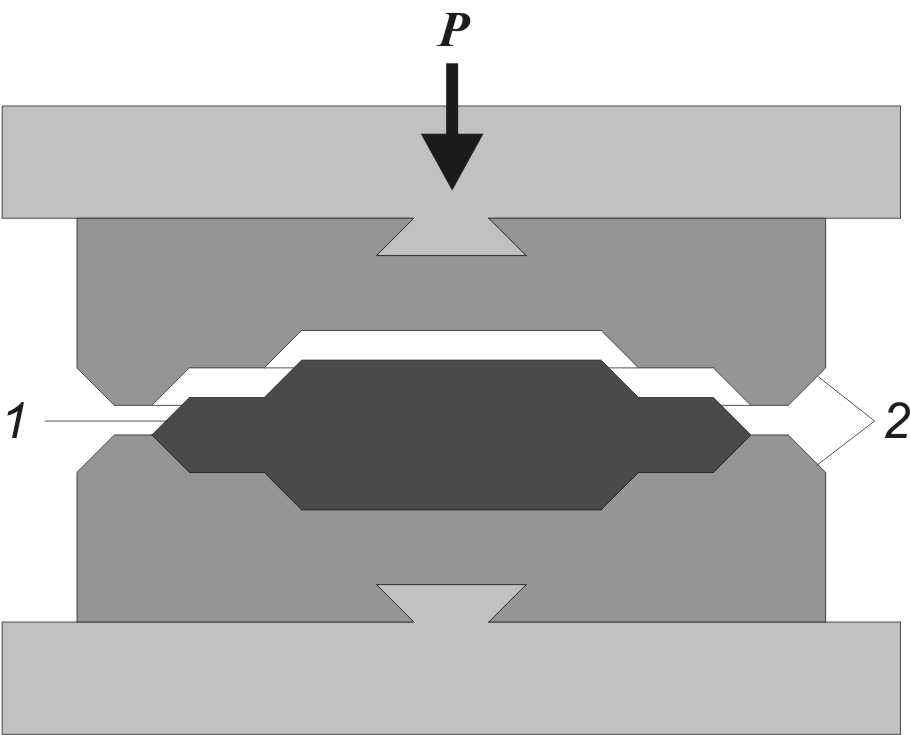
В результате свободной ковки деформируемая заготовка постепенно изменяет свою форму и размеры, приближаясь к форме и размерам поковки. Под воздействием рабочего инструмента деформируемый металл перемещается в плоскости, перпендикулярной к действующей силе (рис.1), свободно и беспрепятственно. Это и явилось основанием для названия указанного вида деформации металла свободной ковкой.

|  |
| --- |
| Рис.1. Схема процесса свободной ковки (операция осадки), 1− деформированная заготовка, 2− верхний и нижний боек. |

Свободной ковкой обрабатывают слитки и сортовой прокат. Поковки свободной ковки характеризуются большими припусками на механическую обработку и большими допусками на их изготовление, низкой производительностью и высокой трудоемкостью металлообработки.

Для получения из таких поковок готовых деталей потребуется значительная механическая обработка, сопровождающаяся большими отходами металла в стружку. В связи с этим свободная ковка оказывается рациональной лишь в единичном и мелкосерийном производстве.

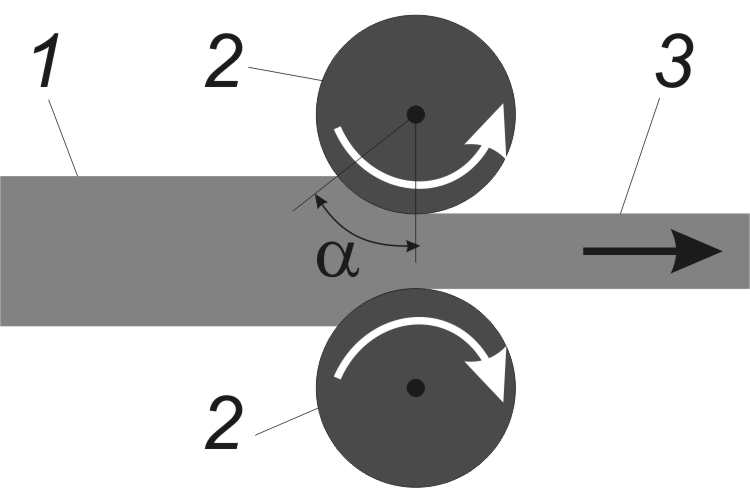
*Объемная штамповка* представляет собой машинную обработку металла в специальном рабочем инструменте – штампе, состоящем, как правило, из двух половин. Форма и размеры поковки при штамповке определяются формой и размерами рабочих поверхностей штампа, которыми деформируется поковка.

 При объемной штамповке течение металла деформируемой заготовки в плоскости, перпендикулярной к действующей силе, ограничено стенками штампа. Это является основной отличительной чертой объемной штамповки от свободной ковки. Припуски на механическую обработку и допуски на изготовление поковок при объемной штамповке значительно меньше, чем при свободной ковке.

|  |
| --- |
| Рис.2. Схема объемной штамповки. 1− получаемая поковка, 2− верхняя и нижняя часть штампа. |

Это обстоятельство позволяет существенно снизить трудоемкость механической обработки штампованных поковок и сократить расход металла. Вместе с тем, для каждого типоразмера штампуемых поковок требуется отдельный рабочий инструмент, которым возможна штамповка только одного типоразмера поковок (рис.2). Последнее обстоятельство вызывает повышение стоимости штампованных поковок по сравнению с соответствующими коваными. Поэтому объемная штамповка рациональна лишь при больших партиях штампуемых поковок, то есть в условиях серийного, крупносерийного и массового производств.

*Прокатка* осуществляется обжатием деформируемого металла, вращающимся рабочим инструментом (валками) прокатных станов (рис. 3).

Прокаткой производят профильный, сортовой и периодический прокат с различной формой поперечного сечения. Прокатное производство связано с металлургическим производством, поставляющим для прокатных станов исходный материал – слитки. Разновидностью прокатки является вальцовка поковок на ковочных вальцах, чаще всего применяемая в кузнечно-штамповочном производстве.

|  |
| --- |
| Рис.3. Схема прокатки. *1*– заготовка; *2*– валки; *3*– готовое изделие; α – угол захвата |

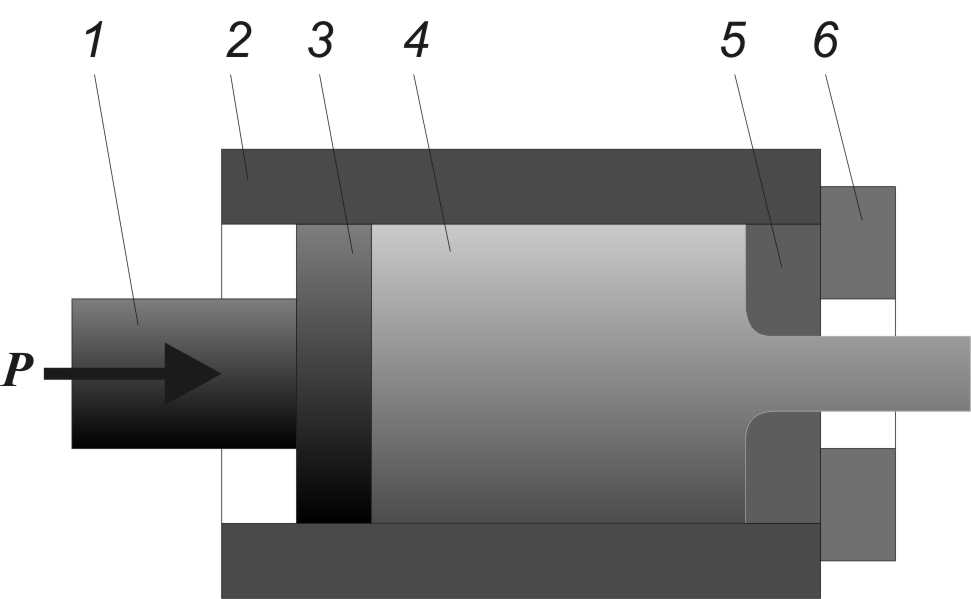
На рисунке ниже представлены основные схемы процесса:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Fig11_3 | Fig11_10a | Fig11_10b |
| а) | б) | в) |
| продольная | поперечная | поперечно-винтовая |
| *1* – заготовка; *2* – валки;  *3* – готовое изделие;  α – угол захвата. | *1* – валки;  *2* – заготовка. | *1* – валки;  *2* – заготовка;  *3* – оправка |

Исходным материалом для процесса прокатки являются заготовки из сортового проката. Как и штамповка, вальцовка поковок целесообразна при серийном, крупносерийном и массовом производстве.

*Прессование* – процесс обработки металлов давлением, выполняемый, как правило, на гидравлических прессах и заключающийся в получении пруткового материала и труб путем продавливания исходных заготовок (слитков) через рабочее отверстие контейнера (рис.4).

При этом поперечное сечение деформируемого металла приобретает форму и размеры рабочего отверстия контейнера. Как и прокатка, прессование тесно связано с металлургическим производством, поставляющим слитки для прессования.

Разновидностью процесса прессования является выдавливание поковок в горячем и холодном состоянии на кривошипных и гидравлических прессах. При этом в качестве исходного материала используются заготовки из сортового проката.

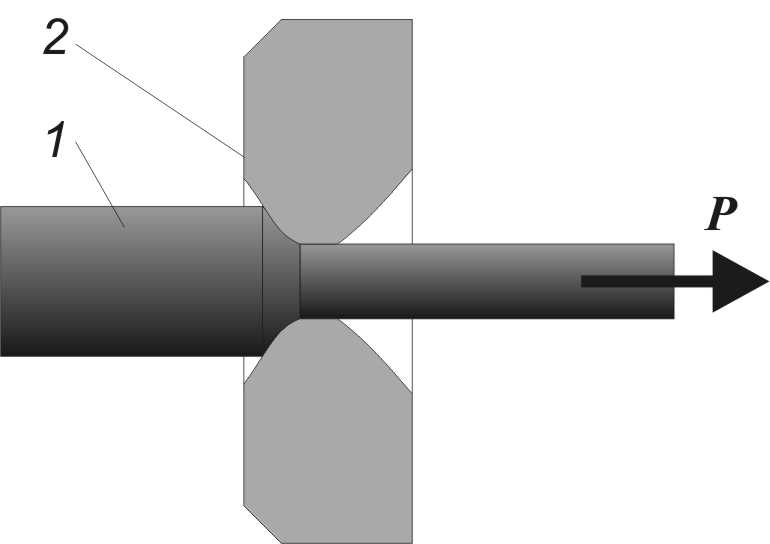
|  |
| --- |
| Рис.4. Схема процесса прессования.1 – пуансон; 2 – контейнер; 3 – пресс-шайба;  4 – заготовка; 5 – матрица; 6 – матрицедержатель. |

Ниже представлены основные схемы процесса прессования:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Fig11_5a | Fig11_13a | Fig11_13b |
| а) прямой метод | | б) обратный |
| *1* – пуансон; *2* – контейнер; *3* – пресс-шайба; *4* – заготовка; *5* – матрица;  *6* – матрицедержатель; *7* – игла | | |

Процессами выдавливания получают поковки с высокой точностью размеров и чистотой поверхности, что позволяет полностью устранить механическую обработку при изготовлении деталей.

*Волочение* заключается в протягивании катаных или прессованных прутков в холодном состоянии через специальный инструмент (фильер) с конусной рабочей поверхностью (рис.5); волочением получают изделия с высокой чистотой поверхности и точностью размеров.

 Путем многократного волочения можно получить проволоку диаметром в десятые и сотые доли миллиметра. Этот процесс рационален в условиях крупносерийного и массового производства.

|  |
| --- |
| Рис.5. Схема процесса волочения. *1* – заготовка; *2* – волока |

Как видно из краткого обзора рассмотренных процессов все они предназначены для придания обрабатываемому металлу желаемой формы путем пластического деформирования. При этом пластическая деформация металла вызывает в нем определенные структурные изменения, которые, в свою очередь, приводят к изменению его механических свойств. Таким образом, при правильно построенном технологическом процессе обработки давлением можно не только получить изделие желаемой формы, но и придать обрабатываемому материалу требуемые

механические свойства. Кроме того, разрабатываемый технологический процесс должен предусматривать производство штампованных изделий при наименьших усилия и работы деформирования, а также минимальных показателях трудозатрат и расхода металла.

Изложенные соображения позволяют сформулировать цель изучения курса ТКиОШ (раздел «Свободная ковка»): опираясь на закономерности ТОМД (теории обработки металлов давлением), изучить наиболее целесообразные приемы изготовления поковок типовых деталей для различных масштабов кузнечно-штамповочного производства.

В курсе ТКиОШ используются, как правило, уже готовые расчетные формулы и закономерности дисциплины ТОМД. Вместе с тем, следует учитывать, что при разработке новых технологических процессов ОМД нередко требуется и решение теоретических задач.

*сведения из истории развития кузнечного производсТва*

*Этапы развития*

Кузнечное производство известно уже несколько тысячелетий, начиная со времени использования человеком для ковки самородных и метеоритных металлов и до настоящего времени, когда обработке давлением подвергаются многотонные слитки и прокат различного вида.

На протяжении этого времени кузнечное дело прошло через несколько важных этапов развития [1-4], связанных с использованием пламенного и электрического нагрева заготовок; заменой самородного железа на кричное, а потом и на современные отливки и прокат; дифференциацией первоначально собирательного труда кузнецов на труд металлургов, литейщиков, сварщиков, термистов и др.; специализацией кузнечных работ по хозяйственным отраслям; заменой мускульной силы молотобойцев ударами молотов и нажатием тысячетонных прессов; заменой трудоемкой свободной ковки на высокопроизводительные штамповку, прессование, волочение и прокатку; механизацией и автоматизацией трудоемких процессов ковки и штамповки и т.д.

Особенно бурный рост кузнечно-штамповочного производства (КШП) в мире отмечен в истекшем столетии. Так, например, для отечественной ковки и штамповки уровень роста отдельных показателей составлял один-два порядка (табл. ниже) [2].

*Таблица*

*Рост кузнечно-штамповочного производства.*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №№ п/п | Основные показатели | Данные по годам | | | |
| 1913г | 1940г | 1965г | 1985г |
| 1. | Количество предприятий с КШП | 1·102 | 500 | 1600 | свыше  2000 |
| 2. | Количество единиц КШО в стране | 18·103 | 119·103 | 61·104 | 10·105 |
| 3. | Годовой выпуск поковок, тонн  из них кованых/штампованных, % | 4·105  75/25 | 15·105  50/50 | 70·105  40/60 | 22·106  20/80 |
| 4. | Коэффициент использования металла (КИМ) при выпуске поковок | 0,15-  0,20 | 0,25-  0,30 | 0,40-  0,45 | 0,55-  0,65 |
| 5. | Трудоемкость, затрачиваемая на изготовление тонн., поковок, норма/час | 70-80 | 40-50 | 25-30 | 15-20 |
| 6. | Выпуск поковок на одного работающего в кузнечных цехах, тонн | 10 | 15-20 | 30-40 | 50-60 |

Приведенные данные свидетельствуют о том, что развитие отечественного КШП связано как с увеличением объема выпускаемых поковок, так и с улучшением их качества, снижением расхода металла и уменьшением трудоемкости кузнечной обработки. Это соответствует основным путям развития современного КШП в мире, предусматривающим максимальное приближение формы, размеров и качества поверхности поковок к форме, размерам и качеству поверхности готовых деталей при повсеместном сокращении расхода металла, увеличении производительности труда и сокращении трудоемкости металлообработки.

*Характеристики точности и металлоемкости в кузнечно-штамповочном производстве*

Точность поковок, изготавливаемых горячей штамповкой в кузнечно-прессовых цехах России, определена ГОСТом 7505. Он разработан на основе статистических данных, определяющих технический и социальный уровень современного развития кузнечно-штамповочного, механообрабатывающего и термического производства.

Класс точности поковки устанавливается в зависимости от технологического процесса и оборудования для ее изготовления, а также исходя из предъявляемых требований к точности размеров поковки.

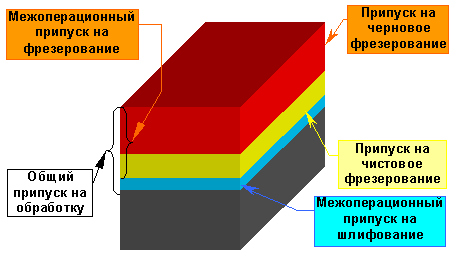
Допускаются различные классы точности для разных размеров одной и той же поковки. При этом класс точности определяется по преобладающему числу размеров одного класса точности, предусмотренному чертежом поковки, согласовывается между изготовителем и потребителем и указывается в технических условиях на чертеже поковки.

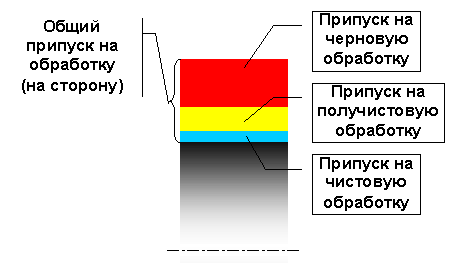
Отходы металла, которые идут в стружку при получении детали из поковки, складываются из объемов металла на припуски и напуски.

***Припуски*** – предусмотренное одностороннее увеличение размера поковки по сравнению с номинальным размером детали, обеспечивающее после обработки резанием, термической обработки требуемые размеры детали и шероховатость ее поверхностей. Припуски на обработку резанием назначают в зависимости от класса точности поковки, группы стали, степени сложности и массы поковки, а также шероховатости и размеров детали. Припуск должен учитывать все технологические операции обработки поковок (штамповку, механическую обработку, сварку, вырезку образцов и т.д.).

***Напуск*** – увеличение припуска с целью упрощения конфигурации поковки из-за невозможности или нерентабельности ее изготовления с контуром, соответствующим контуру детали. К напускам относятся и штамповочные уклоны.

***Допуск*** – отклонение размеров поковки от номинального, обусловленное неточностью изготовления, недоштамповкой, износом ручья штампа, температурными колебаниями, короблением поковки и т.д.





Точность изготовления поковки, т.е. степень приближения ее к размерам детали, непосредственно влияет на полезный расход металла для изготовления детали. Однако на потери металла при изготовлении детали из поковки влияют и другие факторы. Вся необходимая масса металла для изготовления детали определяется нормой расхода металла. В норму расхода металла  на деталь входят масса детали  и все потери (отходы) металла на всех этапах технологического процесса  от механической разделки проката на заготовки под штамповку до окончательной механической обработки:

, (1)

где

. (2)

Здесь  - масса отходов металла, образующаяся при раскрое одного прутка, бунта, рулона на исходные заготовки, кг;

 - потери металла, связанные с проведением заводских и внезаводских испытаний изделий, кг;

 - масса отхода металла в процессе штамповки в кузнечном цехе (облой, окалина, клещевина, и т.п.), кг;

- масса отхода металла, которая идет в стружку при изготовлении детали в механическом цехе.

Эти потери складываются из потерь от припусков и напусков, величина которых в значительной степени зависят от технического уровня КШП, а также от припусков, связанных с механической и термической обработками.

Характеристиками точности и металлоемкости в КШП служат:

* коэффициент использования металла − ;
* коэффициент использования металла в КШП (или выхода годного) − ;
* коэффициент весовой точности (или выхода годного в механическом цехе) − .

Коэффициент использования металла определяется отношением массы детали  к норме расхода металла :

. (3)

Коэффициент выхода годного  характеризуется отношением массы поковки  к норме расхода металла :

. (4)

В таблице 1 приведены значения этих коэффициентов при производстве поковок различной массы.

Таблица 1

Коэффициент выхода годного в кузнечном цехе от нормы расхода металла.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Производство | Масса штампованных поковок, кг | | | | | | | | |
| до 0.25 | 0.25…0.63 | 0.63…1.6 | 1.6 …  2.5 | 2.5 …  4.0 | 4.0 …  10 | 10 … 25 | 25 …63 | 63 …  160 |
| Серийное | 0.5 | 0.6 | 0.68 | 0.73 | 0.74 | 0.76 | 0.78 | 0.8 | 0.85 |
| Крупно-  серийное | 0.65 | 0.72 | 0.78 | 0.82 | 0.84 | 0.86 | 0.88 | 0.9 | 0.92 |

Повышение точности поковок, и коэффициента использования металла в КШП достигается:

* своевременной заменой физически и морально устаревшего оборудования;
* улучшением дозирования заготовок при разделке прутков, бунтов;
* применение кратного проката;
* снижение потерь при нагреве (индукционный, безокислительный нагрев, нагрев в расплавах солей);
* сокращение потерь в заусенец (внедрение процессов выдавливания и штамповки в закрытых штампах, в частности, в штампах с разъемными матрицами);
* штамповкой сложных поковок с получением полостей (например, на многоплунжерных прессах);
* штамповкой сложных оребренных поковок методами изотермической штамповки;
* горячей ротационной вытяжкой;
* сферодвижным прессованием;
* полугорячей штамповкой;
* комбинированием различных способов штамповки.

*МЕТАЛЛЫ, ОБРАБАТЫВАЕМЫЕ ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ*

Основными материалами, используемыми при свободной ковке и объемной штамповке, являются черные стали и цветные металлы, и их сплавы, характеризующиеся повышенной пластичностью.

Высокую пластичность, как правило, имеют чистые металлы, однако их промышленное получение связано со значительными трудностями. Поэтому в производственной практике используют металлы с технологическими примесями, сохранившимися еще от процесса плавки. В частности, в сталях такими примесями являются: марганец, кремний, фосфор, сера. Причем, если определенное количество марганца (до 0,8%) и кремния (до 0,4%) не оказывают ощутимого влияния на показатели механических свойств металла, то даже незначительное наличие фосфора и серы резко снижает показатели механических свойств стали. Так сталь, содержащая свыше 0,045% фосфора, становится хрупкой при низких температурах (хладноломкость), а содержащая свыше 0,045% серы становится хрупкой при высоких температурах (красноломкость).

Помимо названных технологических примесей в сталях наряду с железом и углеродом (наличие последнего определяется пределами 0,01÷2%) могут содержаться и легирующие примеси (компоненты): хром (Х), никель (Н), молибден (М), вольфрам (В), ванадий (Ф), кремний (С), марганец (Г), титан (Т), кобальт (К), алюминий (А) и др. Эти примеси в той или иной степени способствуют улучшению показателей механических свойств сталей: повышают их твердость, прочность, упругость, изменяют пластичность, вязкость и т.д.

Процентное содержание в сталях углерода и легирующих компонентов регламентировано специальными ГОСТами [5].

1.1. Стали, наиболее часто используемые в общем машиностроении для изготовления как ответственных, так и менее ответственных деталей.

ГОСТ 380…− сталь углеродистая горячекатаная обыкновенного и повышенного качества группы А (по механическим свойствам): Сталь Ст.1пс, Ст.3пс, Ст.5пс и др.; группы Б (по химическому составу): Сталь БСт.2кп, БСт.4сп, БСт.6пс и др.; группы В (по механическим свойствам и хим. составу): Сталь ВСт.1, ВСт.3, ВСт.5 и др.

ГОСТ 1050 и ГОСТ 14959 − стали углеродистые качественные конструкционные: Сталь 10, 20, 35, 45, 60, 60Г и др.

ГОСТ 4543 − Сталь легированная конструкционная: Сталь 40Х, 40ХН, 50Г, 50Г2, 18ХГТ, 30ХГС, 40Х2Н2МА и др.

1.2. Стали, чаще используемые в специальном машиностроении для изготовления деталей, работающих в тяжелых условиях.

ГОСТ 5945 − Сталь высоколегированная, коррозионно-стойкая, жаростойкая и жаропрочная: Сталь 12Х13, 20Х13, 15Х5, 15Х5ВФ, 40Х9С2 и др.

ГОСТ 2590 и ГОСТ 14959 Сталь конструкционная рессорно-пружинная: Сталь 65Г, 50ХГ, 50С2, 60С2 и др.

ГОСТ 801 Сталь конструкционная подшипниковая: Сталь ШХ 6, ШХ 9, ШХ 12, ШХ 15 и др.

1.3. Стали инструментальные, служащие для изготовления высококачественного режущего, ударно-штамповочного и измерительного инструмента.

ГОСТ 1435 Сталь инструментальная углеродистая: Сталь У7, У8, У9А, У10А, У12А, У13А и др.

ГОСТ 5950 Сталь инструментальная штамповая: Сталь 9ХФ, 9ХС, 7ХЗ, 8ХЗ, 5ХНМ, 5ХГМ, 5ХНТ, Х12М, ХГС, ХВГ, 3Х2В8Ф и др.

ГОСТ 19265 Сталь инструментальная быстрорежущая: Сталь Р9, Р12, Р18, Р6М5, Р9К5, Р18К5Ф2 и др.

В производственной практике нередко используется упрощенная классификация сталей по общему процентному содержанию в них углерода и легирующих компонентов. Так, например, углеродистые стали, подразделены на: мало-, средне- и высокоуглеродистые (при содержании в них углерода соответственно: до 0,4%, св.0,4% до 0,8÷1% и св.0,8÷1%). В свою очередь легированные стали, подразделены на низко-, средне- и высоколегированные (при содержании в них легирующих компонентов соответственно: до 4%, св.4% до 10%, св.10%).

*Цветные металлы и их сплавы:*

Алюминиевые сплавы (ГОСТ 4784):АД, АД1, АМг, АМг1, АМц, АВ, АК4, Д1, В65, Д19, В93 и др.

Магниевые сплавы (ГОСТ 14957):МА…, МА2, МА5, МА11, МА8 и др.

Медные сплавы. Латуни (ГОСТ 15527): Л60, Л70, Л80, Л90, ЛК80-3, ЛАЖ60-11, ЛМц58-2, Л090-1, ЛН65-5, ЛС59-1 и др.

Бронзы (ГОСТ 18175): БрА5, БрВ2, БрКМцз-1, БрМц5 и др.

Титановые сплавы (ГОСТ 19807): ОТ4, ОТ4-1, ВТ5, ВТ5-1, ВТ9, ВТ14, ВТ20, ВТ6, ВТЗ-1, ВТ18 и др.

Обработке давлением могут подвергаться и неметаллические материалы: электроизоляционный картон, фибра, гетинакс, пластмассы (с наполнителями), полиэтилен, винипласт, стекло органическое конструкционное, целлулоид, резина, текстолит конструкционный, кожа техническая, войлок, хлопчатобумажная ткань, бумага и др.

**Лекция №2**

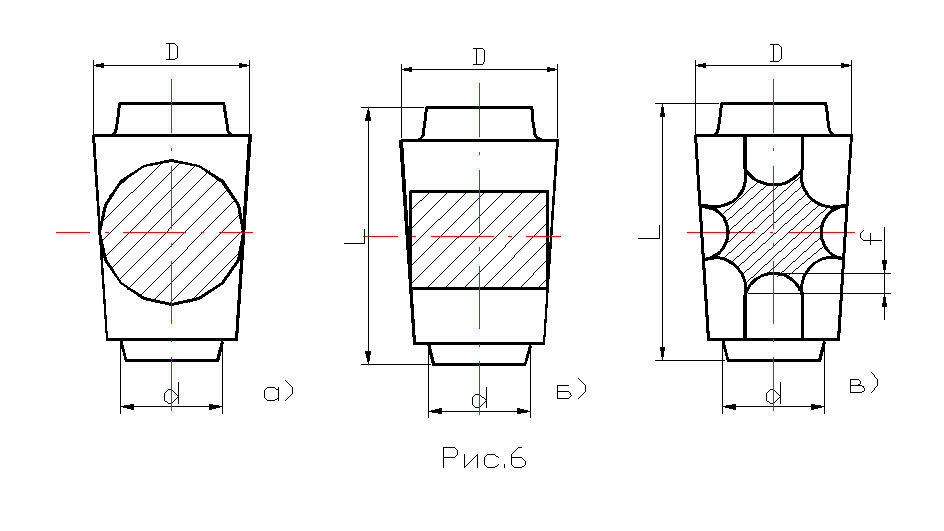
*Виды исходных заготовок, применяемых при ковке и объемной штамповке*

СОРТАМЕНТ СЛИТКОВ И ПРОКАТА

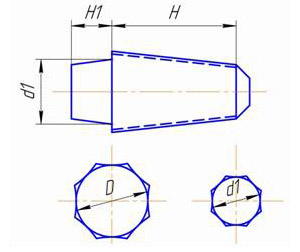
Названные выше стали, наиболее часто используемые при изготовлении поковок, поставляют в кузнечные цехи в виде слитков и сортового проката, которые являются продуктами соответственно литейного и прокатного производств.

Слитки круглого поперечного сечения (рис.6а) имеют массу до 5-ти тонн и используются, в основном, для производства поковок типа шестерен, дисков, муфт и т.д.

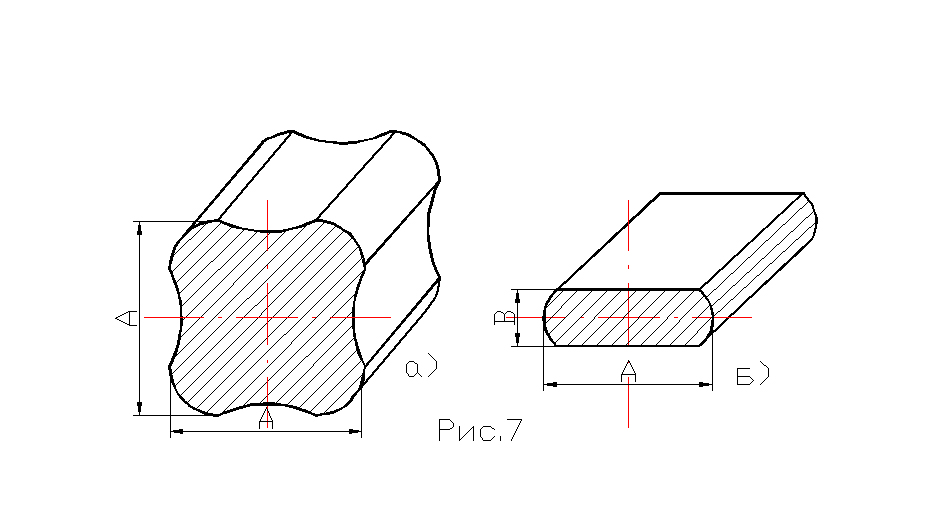
Слитки квадратного и прямоугольного сечения (рис.6б) имеют массу до 25 тонн и являются исходным материалом для прокатного производства.

Слитки многогранного поперечного сечения (рис.6в) имеют массу до 350÷380 тонн при размерах сечения D ≤ 3250мм, d ≤ 2660мм, L ≤ 7190мм, f ≤ 38мм и R ≤ 1400мм. Они предназначены специально для ковки крупногабаритных поковок.

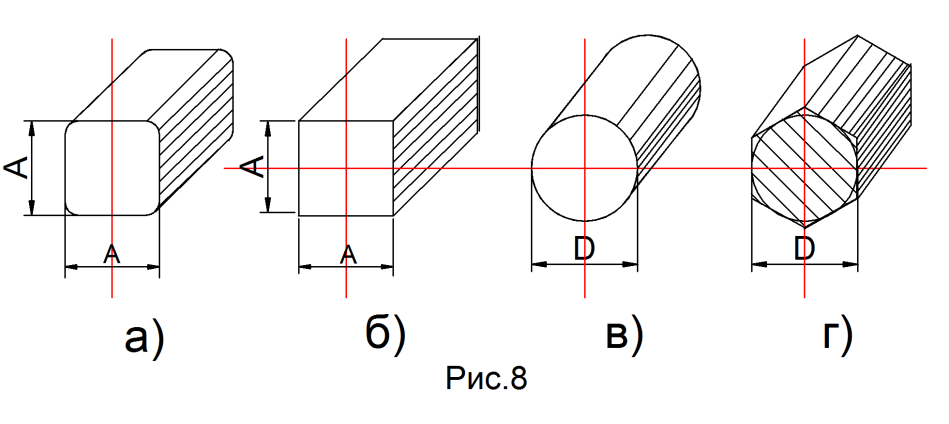
Слитки для ковки поковок могут быть нормальными, удлиненными и пустотелыми (полыми). Для нормальных и полых слитков отношение *L*/*D*=2, а для удлиненных – *L*/*D*=4. Удлиненные слитки имеют уменьшенный объем прибыльной (до 12%) и донной (до 2%) частей. Кроме того, удлиненные слитки позволяют увеличить производительность оборудования на 20-30% за счет сокращения времени нагрева металла и машинного времени при ковке.



Сортовой прокат поставляется в виде блюмов и слябов (рис.7) или прутков (рис. 8) с различной формой поперечного сечения [5].

Блюм (рис.7а) является продуктом грубой (предварительной) прокатки слитков на обжимных станах (блюмингах). Размеры поперечных сечений блюмов регламентированы ГОСТ 4692-77 в пределах *А*=140-450мм с полем допусков размеров – 5% от размера *А*.

Сляб (рис.7б) является продуктом незавершенного прокатного производства на заготовочных станах (слябингах), предназначенных для получения крупных плоских заготовок с размерами *А*=500–1600 мм, *В*=50–300мм. При дальнейшей прокатке слябов получают готовый прокат: сортовой, листовой специальный, периодический, трубы и др.

Заготовка стальная квадратная горячекатаная (рис.8а) с закругленными углами производится по ГОСТ4693-77 с размерами *А*=40-250 мм и полем допусков до 5,2% от размера *А*.

Сталь горячекатаная квадратная (рис.8б) изготавливается по ГОСТ 2591 с размерами *А*=5-200мм и полем допусков до 2,5% от размера *А*.

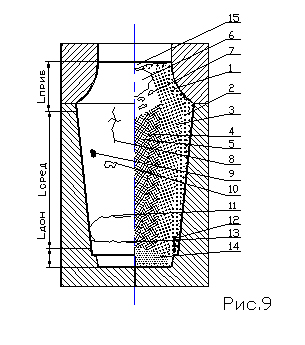
Сталь горячекатаная круглая (рис.8в) (ГОСТ 2590-88) производится с размерами *D*=5-250мм и полем допусков до 3% от размера *D*.

Сталь горячекатаная шестигранная (рис.8г) изготавливается по ГОСТ 2879 с диаметром вписанного круга *D*=8-100 мм и полем допусков до 1,7% от размера *D*. Назначенные виды проката имеют длину прутков от 2-6 м до 5-10 м.

Кроме того, в кузнечно-штамповочном производстве может быть использован и периодический прокат различного продольного и поперечного сечения в зависимости от конфигурации изготавливаемых поковок.

*ДЕФЕКТЫ СЛИТКОВ И ПРОКАТА И МЕТОДЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ*

Прежде чем пустить слитки и прокат в производство необходимо проверить их на наличие дефектов и устранить последние, чтобы они не ухудшили качество поковок и деталей.

Дефекты слитков во многом предопределяются способами их отливки в изложницы, а также структурными строениями слитков (рис.9).

При заливке в изложницу сверху расплавленного металла в его периферийной области, соприкасающейся с телом изложницы, образуется слой 1 мелких хаотично ориентированных кристаллов. Образование такого поверхностного слоя объясняется быстрым затвердеванием расплавленного металла, вслед за которым образуется слой 2 мелких кристаллов дендритов, с главными осями перпендикулярными к стенкам изложницы (перпендикулярными к поверхности отвода тепла). После образования слоями 1 и 2 устойчивой тепловой рубашки возникает слой 3 – крупных дендритов, главные оси которых также перпендикулярны к стенкам изложницы. По мере уменьшения объема жидкого металла в теле застывающего слитка возникает слой 4, представляющий собой крупные дендриты, главные оси которых оказываются повернутыми в направлении все уменьшающегося объема жидкого металла. И, наконец, образуется слой 5 хаотично ориентированных кристаллов в центральной части слитка.

По мере застывания слитка в его верхней прибыльной части образуется утяжина 15, усадочная раковина 6, а вокруг нее – усадочная рыхлость 7 из нескольких мелких раковин. В процессе ковки эти раковины не завариваются и поэтому прибыльная часть слитка подлежит удалению в отход. Объем прибыльной части составляет 15-35% от объема слитка. Кроме того, непосредственно под усадочной рыхлостью в слитке располагается ликвационная зона, характеризующаяся неоднородностью химического состава, наличием большого содержания серы, фосфора, шлаковых включений и т.д.

В нижней донной части слитка 14 в большом количестве скапливаются шлаковые включения, которые, являясь наиболее легкими в расплавленном металле, всплывают на его поверхность в разливочном ковше и первыми попадают в изложницу при ее заливке. Донная часть слитка также не пригодна к ковке и подлежит удалению в отход. Ее объем составляет 3–10% от объема слитка.

В слоях 1 и 2 слитка нередко образуются подкорковые (сотовые) газовые пузыри 12. При прерывистой заливке изложницы жидкотекучим металлом образуются окисленные атмосферным кислородом плены-заливины 11. В случае прерывистой заливки изложницы подстуженным расплавом образуются плены-выклинивания 13. Кроме того, на поверхности слитка возможно появление поперечных и продольных трещин 8 (вследствие неравномерности остывания металла), шлаковых включений 9 и брызг металла 10.

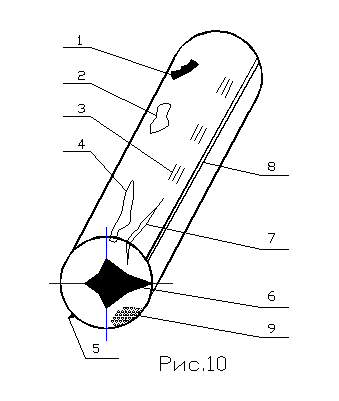
Все перечисленные поверхностные дефекты слитка подлежат обязательному удалению, как подлежат удалению и все нижеследующие дефекты проката (рис.10):

– поверхностные шлаковые включения 1 и раковины от них 2;

– риски 3, оставляемые на поверхности проката поврежденным инструментом;

– плены 4, образуемые вследствие раскатывания брызг на поверхности слитка;

– зажимы 5, возникающие в результате выхода части раскатываемого металла на нерабочие поверхности реборд валков;

– торцевые расслоения проката 6, образующиеся в результате раскатывания остатков усадочной раковины и усадочной рыхлости;

– волосовины 7 (тонкие неглубокие поверхностные долевые трещины), возникающие в результате раскатки подкорковых пузырей;

– закаты 8, образующиеся в результате раскатки долевых зажимов металла между валками;

– флокены 9 (скопление мельчайших трещин, видимых на срезах проката в виде белых хлопьев или пятен), возникающих в результате наличия в раскатываемых слитках пузырьков водорода, в которых при затвердевании расплава развиваются большие давления, приводящие к многочисленным мелким разрывам металла.

Для устранения всех названных выше дефектов в слитках и в прокате используются следующие способы:

– огневая зачистка без подогрева (выдувка дефектов с поверхности слитка или проката газово-кислородным пламенем) применяется для малоуглеродистых и низколегированных сталей и является самым дешевым способом;

– огневая зачистка с подогревом дороже первого способа примерно в 1,5 раза и рекомендуется для среднеуглеродистых и среднелегированных марок сталей;

– зачистка дефектов пневматическим зубилом примерно в 1,5 раза дороже первого способа зачистки и применяется для мало- и среднеуглеродистых, а также низко- и среднелегированных марок сталей в случае поражения дефектами незначительной части поверхности слитка или проката;

– обдирка дефектов на токарных станках примерно в 1,5–2,5 раза дороже первого способа зачистки и применяется для среднеуглеродистых или среднелегированных марок сталей в случаях поражения дефектами значительной части поверхности слитка или проката;

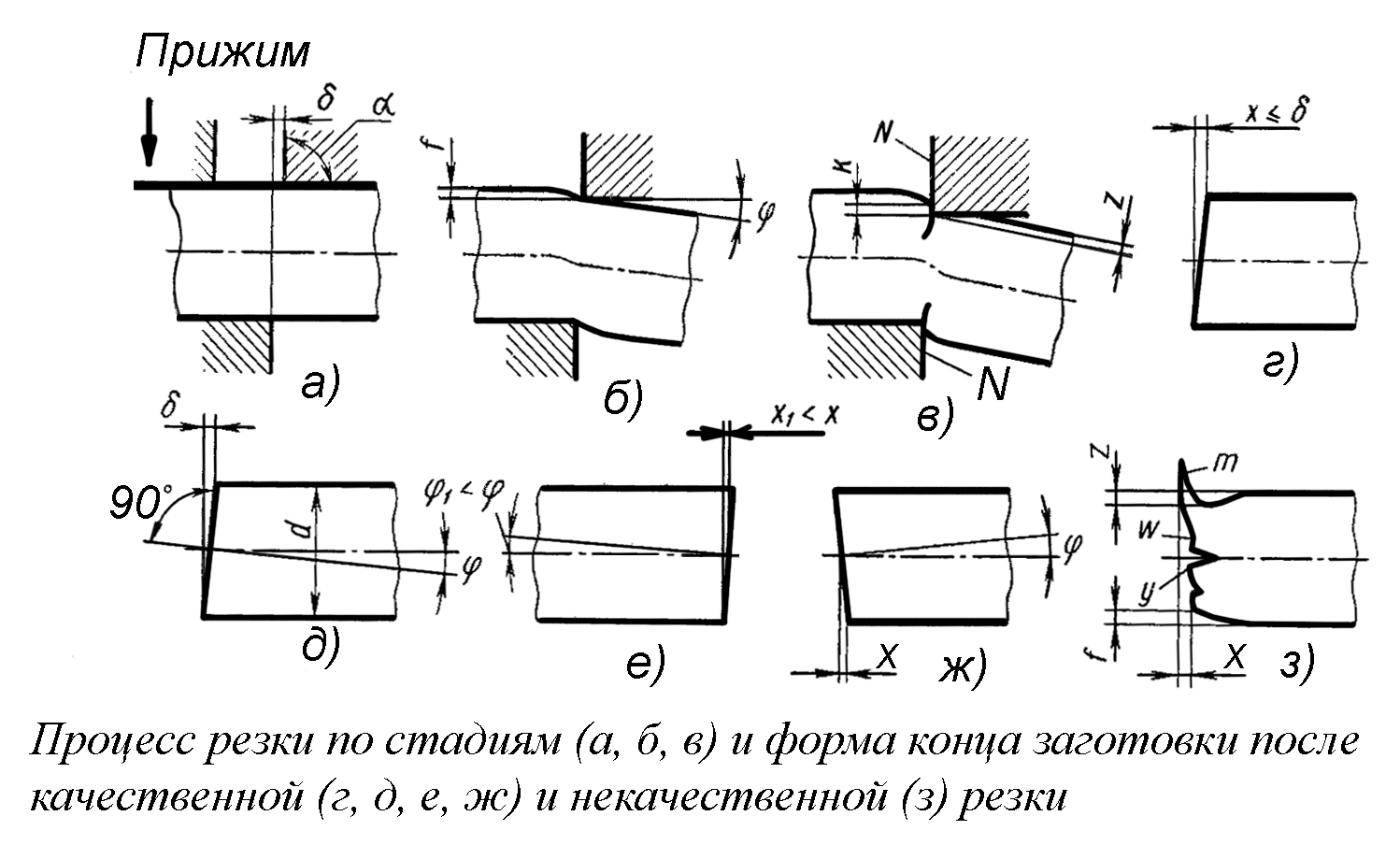
– зачистка дефектов абразивными кругами в 4-5 раз дороже первого способа зачистки и применяется для высокоуглеродистых и высоколегированных марок сталей.

**Лекция № 3**

*Основные способы разделки исходного материала на мерные заготовки*

*РАЗДЕЛКА СЛИТКОВ И ПРОКАТА НА МЕРНЫЕ ЗАГОТОВКИ.*

Процесс протекает в три стадии. В первой стадии в начальный момент реза а) в зонах близлежащих к режущим кромкам ножей, одновременно со смятием происходит утяжка металла, достигающая в конце первой стадии б) величины *f*. Вторая стадия процесса б) характеризуется началом внедрения ножей в хрупкую область, полученную в результате упрочнения. При этом происходит перерезание волокон режущими кромками ножей. На вновь образовавшиеся торцовые поверхности прутка начинают давить боковые поверхности *N* ножей. Это способствует растяжению и разрыву волокон вблизи режущих кромок и образованию трещин, направленных наклонно в толщу металла в).

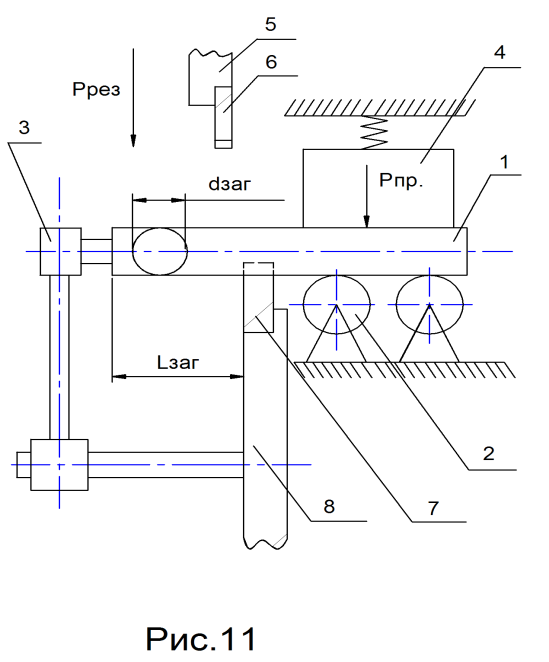


После устранения поверхностных дефектов на металле его можно подвергнуть разделке на мерные заготовки для последующей обработки.

Разделку металла на заготовки осуществляют кузнечной рубкой, резкой на пресс-ножницах, газово-кислородной резкой, резкой на дисковых и ножовочных пилах и токарных станках, анодно-механической резкой, холодной ломкой, рубкой в специальных штампах и др. [1,3,5].

В производственной практике наибольшее распространение получили три первых способа разделки.

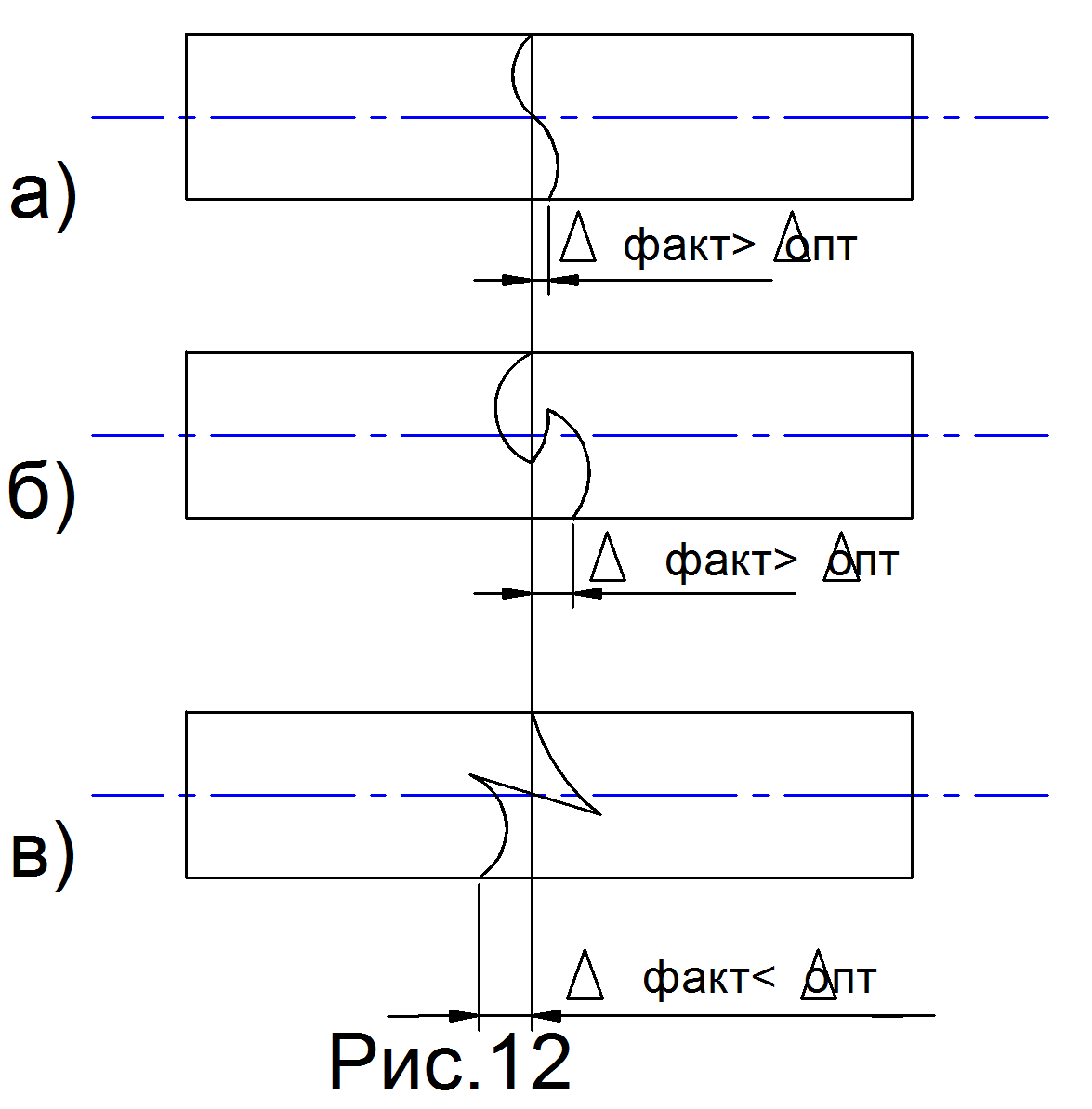
Кузнечная рубка относится к основным операциям свободной ковки. Она будет подробно рассмотрена позднее в отдельном разделе.

Резка на пресс-ножницах представлена схемой на рис. 11. Заготовка 1 диаметром *d*ЗАГ по рольгангу 2 подается до упора 3 в размер *l*ЗАГ. Прижимом 4 заготовка прижимается к нижнему ножу 7, закрепленному на столе пресс-ножниц 8. При ходе ползуна ножниц 5 вниз верхний нож 6 осуществляет отрезку заготовки заданных размеров.

Качественное осуществление процесса резки на пресс-ножницах будет иметь место в случае выполнения следующих обязательных условий.

1. Назначение оптимального зазора между верхним и нижним ножами, равного *Δ*ОПТ=(1–3%)·*d*ЗАГ/100%.

При этом:

а) если фактический зазор между ножами будет равен оптимальному (ΔФАКТ=ΔОПТ), то плоскости скола, образующиеся в металле прутка от верхнего и нижнего ножей пресс-ножниц, совпадают, образуя гладкую плавную плоскость (рис.12а);

б) при большом зазоре между ножами (ΔФАКТ>ΔОПТ) в плоскости среза прутка появляется заусенец (рис.12б);

в) при малом зазоре между ножами (Δ*ФАКТ*<Δ*ОПТ*) в плоскости среза прутка появляется своеобразная «нашлепка» металла (рис.12в).

Наличие заусенца или «нашлепки» в плоскости среза заготовок при дальнейшей их ковке (торцовой осадке) может привести к браку поковок.

2. Выбор профиля режущей кромки ножа, соответстветствующего профилю разрезаемого проката. В частности, при резке проката круглого поперечного сечения радиус закругления режущей кромки ножей следует выбирать, руководствуясь рекомендацией *R*=(1,05-1,10)·*d*ЗАГ/2 (рис. 13). Если радиус режущей кромки ножа будет меньше указанной величины, то на прутке и заготовке останутся следы боковых закусов, а если радиус будет больше, то заготовка в плоскости реза будет иметь существенно искаженный (раздавленный) профиль.

3. Выбор температуры нагрева разрезаемого прутка в зависимости от его материала (вида стали) и размеров поперечного сечения. Повышенная температура предотвращает появление торцовых трещин в плоскости разреза прутка и несколько снижает потребное усилие резки. Рекомендуемые значения температуры нагрева представлены в таблице ниже.

*Таблица*

*Рекомендуемая температура нагрева*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Виды сталей по содержанию углерода и легирующих компонентов | Диаметр (Ø) или сторона (□) профиля прутка, мм | |
| до 50 | св. 50 |
| Малоуглеродистые стали | Без подогрева | |
| Среднеуглеродистые и низколегированные стали | 450-500°*С* | 500-550°*С* |
| Высокоуглеродистые и среднелегированные стали | 500-550°*С* | 550-600°*С* |
| Высоколегированные стали | 550-600°*С* | 600-650°*С* |

4. Выбор пресс-ножниц по номинальной силе, соответствующей диаметру разрезаемого прутка. Отечественной промышленностью предусмотрен выпуск пресс-ножниц номинальной силой *Р*Н = 400–16000 Кн (ГОСТ 8248-80) для резки прутков диаметром Ø = 40–250 мм при временном сопротивлении разрыву разрезаемого материала σВ=450МПа (табл. 5.2).

В случаях, когда σВ =σХ≠450МПа, необходимо осуществлять пересчет диаметра разрезаемого прутка по формуле [1]:

, (1)

где *d*Х – искомый диаметр прутка при сопротивлении разрыву материала σХ, мм; *d*450 – диаметр прутка при сопротивлении разрыву σВ=450МПа.

Расчет усилия резки металла на пресс-ножницах может быть выполнен и по другой формуле [5]:

*P*=*KF*σВ10-6,

где *Р* – сила резки, МН; *K*=0,7–0,8 – коэффициент, учитывающий фактическую площадь среза разрезаемого проката и затупление режущих кромок ножей;

*F*=π·*d*2/4 – площадь поперечного сечения разрезаемого прутка, мм2.

В сравнении с другими способами разделки металла резка на пресс-ножницах характеризуется универсальностью, высокой точностью размеров получаемых заготовок и высокой производительностью.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  | *Таблица* | |
| номинальная сила пресс-ножниц *Р*Н, *КН* | диаметр разрезаемого прутка *d, мм* |  | номинальная сила пресс-ножниц *Р*Н, *КН* | диаметр разрезаемого прутка *d, мм* |
| 400 | 40 |  | 4000 | 125 |
| 630 | 50 |  | 6300 | 160 |
| 1000 | 63 |  | 10000 | 200 |
| 1600 | 80 |  | 16000 | 250 |
| 2500 | 100 |  |  |  |

**Лекция №4**

*Температурный интервал ковки и штамповки. Режимы нагрева заготовок под ковку и штамповку*

В соответствии с классификацией С.И.Губкина [6] различают следующие виды деформации металла по температурному фактору.

Холодная деформация обычно выполняется при температуре , где *Т*ПЛ – абсолютная температура плавления соответствующего металла. Холодная деформация характеризуется упрочнением (наклепом), который, в частности, проявляется в повышении прочностных показателей свойств металла (пределов текучести и прочности) при одновременном снижении его пластических показателей (относительного удлинения, относительного сужения, ударной вязкости).

Этот вид деформации металла возможен при обработке изделий малого объема (с массой менее 1кг, например, холодная высадка болтов, гаек и др.), но нежелателен для изделий большого объема, когда деформация становится затруднительной и может наступить разрушении обрабатываемого металла

Полухолодная деформация имеет место при температуре  и характеризуется наличием в деформируемом металле как упрочняющих процессов (наклепа), так и процессов возврата (отдыха), при которых происходит некоторое снижение напряжений, возникающих при наклепе. Последнее (частичное разупрочнение, возврат) объясняется появлением в деформируемом металле под воздействием повышенной температуры новых центров в кристаллической решетке и росте вокруг них новых зерен с иной ориентировкой кристаллографической решетки. Этот вид деформации, как и предыдущий, также является нежелательным для обработки крупногабаритных изделий.

Полугорячая деформация имеет место при температуре  и сопровождается процессами упрочнения при одновременной рекристаллизации. Этот вид деформации, хотя и является нежелательным для обработки средних и крупных изделий, имеет весьма широкое распространение в завершающих стадиях процессов ковки и штамповки.

Горячая деформация осуществляется при температуре  и характеризуется наличием в деформируемом металле полностью рекристаллизованной структуры. Таким образом, для процессов объемной обработки давлением горячая деформация является наиболее предпочтительной.

Горячая деформация является наиболее распространенным видом объемной обработки металлов давлением при осуществлении операций свободной ковки и горячей штамповки средних и крупных поковок.

Исходя из сказанного ранее, можно сделать следующий вывод: повышение температуры при деформировании металла повышает его пластические свойства, снижает его прочностные показатели и улучшает ковкость металла. Однако при температурах, весьма близких к температуре плавления железоуглеродистых сплавов, имеют место такие характерные дефекты металла как пережог и перегрев.

Перегрев проявляется при нагреве металла до температуры  и продолжительной выдержке при такой температуре. В результате этого в металле происходит процесс непрерывного роста зерен (собирательная рекристаллизация). Увеличение зерен приводит к резкому снижению механических свойств поковок. Поэтому при нагреве металла для его ковки или штамповки не следует превышать так называемую критическую температуру нагрева данного металла, при которой появляются признаки перегрева. В месте с тем, перегрев не является окончательным браком металла и может быть устранен

либо интенсивной деформацией (проковкой), либо специальной термической обработкой.

Пережог характеризуется тем, что при нагреве металла до температуры  начинается оплавление примесей и основного металла по границам зерен. При этом кислород атмосферы проникает вглубь нагреваемого металла и окисляет поверхности зерен, в результате чего связь между зернами ослабевает, а металл теряет пластичность и прочность. Это явление и называется пережогом. В отличие от перегрева пережог является окончательным браком, так как пережженный металл пригоден только для переплавки.

Таким образом, качественная деформация металла в горячем состоянии происходит в определенных температурных границах. Нижней границей является температура, менее которой имеет место упрочнение деформируемого металла. Верхней границей является критическая температура, выше которой наступает перегрев и пережог металла. Область температур, заключенная между названными границами, носит название температурного интервала горячей обработки давлением (температурного интервала ковки и штамповки).

Верхняя граница температурного интервала ковки носит название температуры начала ковки, а нижняя граница – температуры конца ковки.

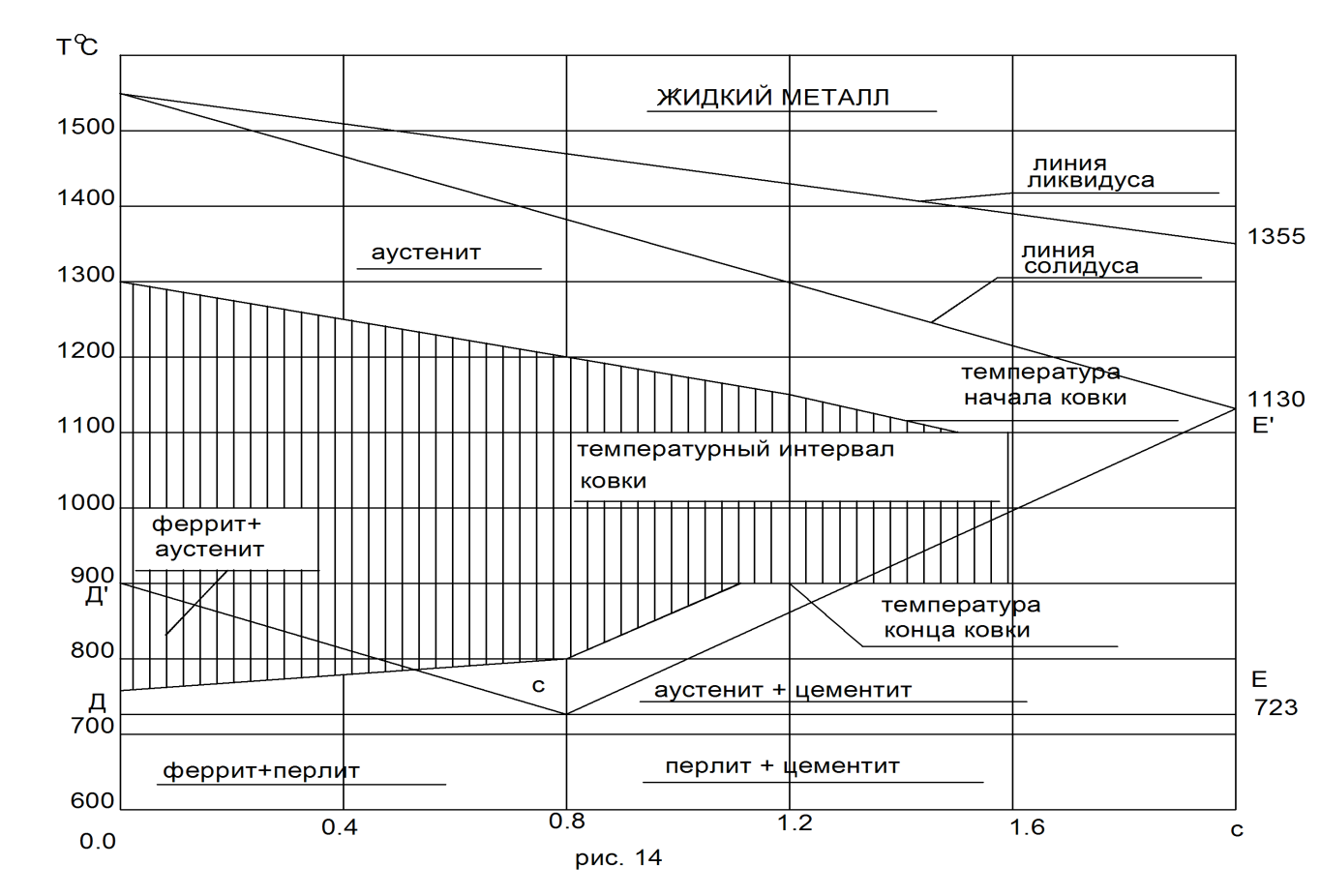
Каждый металл в зависимости от химического состава имеет свой определенный температурный интервал ковки и штамповки. Чем больше в металле углерода и легирующих компонентов, тем ниже верхняя граница температурного интервала и выше его нижняя граница (табл. 6.1) [5].

*Таблица*

*Влияние химического состава на температурный интервал ковки и штамповки*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Марки сталей | Рекомендуемый интервал  температуры ковки, °С |
|  | 0, 1, 2, 3, 10, 15 | 1280-750 |
|  | 20, 30, 35 | 1250-800 |
|  | 15Г, 20Г, 25Г, 30Г, 35СГ | 1230-800 |
|  | 40, 45, 50, 40Г, 45Г, 50Г | 1200-800 |
|  | 60Г, 65Г, 12ХН3А, 38ХГН | 1180-800 |
|  | 40ХН, 45ХН, 50ХН, 40ХГ, 40Х | 1180-830 |
|  | ШХ6, ШХ9 | 1150-870 |
|  | Р9, Р18 | 1150-900 |

Наглядную иллюстрацию зависимости температурного интервала ковки и штамповки стали от содержания в ней углерода (с учетом фазовых состояний железоуглеродистого сплава) дает приводимая ниже совмещенная упрощенная диаграмма фазовых превращений Fe-C и предельных температур нагрева металла для обработки давлением (рис.14) [11, 14].



В углеродистых сталях с содержанием углерода С0,8% металл имеет структуру, состоящую из феррита и перлита, а в углеродистых сталях с содержанием углерода С>0,8% металл имеет структуру, состоящую из цементита и перлита. При нагреве этих сталей до температур, лежащих ниже температуры структурных превращений (Т723°С – на диаграмме состояния железо-углерод линия ДСЕ) никаких структурных изменений в металле происходить не будет. При нагреве металла до температуры Т>723°С в сталях начинаются процессы структурных изменений, а именно:

– в мало- и среднеуглеродистых сталях по мере повышения температуры структура феррита и перлита постепенно превращается в соединения феррита и аустенита, а затем и в сплошной аустенит;

– в средне- и высокоуглеродистых сталях структура цементита и перлита превращается в соединения цементита и аустенита (на рис.14 участки АВСД и КВСГ соответственно).

Напомним, что феррит – это твердый раствор углерода в α-железе. Практически это чистое железо Fe. Перлит – соединение феррита с цементитом: Fe+Fe3C. Цементит – химическое соединение: карбид железа Fe3C. Аустенит – твердый раствор (внедрения) углерода в γ-железе. Аустенит представляет собой мягкую и пластичную структуру, наиболее желательную при обработке металлов давлением. Именно поэтому ковку и штамповку углеродистых сталей следует осуществлять в зоне структурных образований аустенита, то есть в диапазоне температур ковки, указанных на рис.14.

При остывании металла в пределах температурного интервала ковки происходят структурные превращения металла, обратные описанным выше (имеющим место при нагреве металла). Таким образом, металл возвратится к первоначальной своей структуре.

*Режим нагрева заготовок и охлаждения поковок*

Нагрев заготовок для ковки и штамповки следует осуществлять с технологически возможно большей скоростью, за возможно меньший промежуток времени. Это снижает рост зерна нагреваемого металла; уменьшает потери металла на окалину (угар) на поверхности нагреваемых заготовок под воздействием кислорода атмосферы; снижает расход топлива; уменьшает трудоемкость металлообработки; увеличивает производительность труда; повышает рентабельность нагрева.

Вместе с тем, при больших скоростях пламенного нагрева заготовок, из-за значительного температурного градиента (перепада температуры) между периферийными и срединными частями нагреваемого металла возникают термические напряжения, являющиеся причиной появления микро- и макротрещин. Поэтому наряду с технически возможной скоростью обязательно следует учитывать и допустимую скорость нагрева заготовок.

В пламенных печах, где нагрев заготовок осуществляется с их поверхности, технически возможная скорость нагрева зависит, в основном, от теплоотдачи, то есть от ее начальной температуры. Причем, температурный напор (разность между температурой печи и температурой заготовки) является основным фактором, с помощью которого можно регулировать скорость нагрева металла.

При данном температурном напоре допустимая скорость нагрева будет тем меньше, чем меньше температуропроводность нагреваемого металла, чем больше поперечное сечение заготовки и чем меньше отношение облучаемой поверхности

к объему заготовки. Стали с большим содержанием углерода и легирующих компонентов имеют меньшую температуропроводность и при этом нагревать их надо медленнее.

При различной форме поперечного сечения заготовок (круглой, квадратной и др.) и различной их укладке на поду печи, облучаемая поверхность будет разной и, следовательно, разным будет и время нагрева.

Вместе с тем, следует учитывать то, что при повышенной температуре (Т>800°С) металл становится более пластичным и опасность возникновения термических трещин снижается. Поэтому допускаемая скорость нагрева учитывается, обычно, только в начальной стадии нагрева металла.

В специальной технической литературе [5] имеется ряд рекомендаций для определения продолжительности времени нагрева различных заготовок. Обычно это развернутые табличные данные, в которых в зависимости от материала и размеров исходных заготовок, их укладки в печи и температуры печного пространства указано время (в минутах) продолжительности нагрева металла до ковочной температуры.

Время нагрева заготовок в методических или полуметодических печах может быть определено расчетным путем с достаточной для практики точностью и по формуле, предложенной Ю.М.Чижиковым [5]:

*t = K·d*,

где *t* – время нагрева в часах; *d* – диаметр заготовки в см; *K*=0,1–0,4 – коэффициент, меньшее значение которого приемлемо для малоуглеродистых, а большее значение – для высоколегированных сталей. Эта формула дает хорошие результаты для заготовок диаметром менее 300–350мм.

Время нагрева заготовок в камерных печах в интервале температур 20–1200°*С* может быть рассчитано по формуле, предложенной Н.Н. Доброхотовым [9]:

,

где *t* – время нагрева в часах;

α – коэффициент учета формы заготовки и ее укладки на поду печи;

*K*=10–20 – коэффициент, учитывающий содержание в нагреваемом металле углерода и легирующих элементов;

*d* – диаметр заготовки в метрах.

При выборе коэффициента α его назначают из интервалов значений α=1–2 или α=1–4 соответственно для заготовок с круглым или квадратным поперечным сечением. При этом меньшие значения α принимают в случае загрузки печи еди-

ничными заготовками, а большие значения – при загрузке печи партией заготовок «навалом».

При выборе коэффициента *К* его меньшие значения принимают для малоуглеродистых сталей, а большие значения – для высоколегированных сталей.

С учетом допустимой скорости нагрева металла, продолжительность первой стадии нагрева в интервале температур 20–800°*С* обычно составляет 2/3 всего времени нагрева. Продолжительность второй стадии нагрева в интервале температур 800–1200°*С* с учетом выдержки металла при конечной температуре составляет 1/3 всего времени нагрева.

Все сказанное выше относится к нагреву заготовок в пламенных печах. Что же касается электронагрева (индукционного, нагрева сопротивлением), когда нагрев заготовки осуществляется не теплопередачей с ее поверхности вглубь, а происходит одновременно по всему поперечному сечению металла, то тогда скорость нагрева увеличивается в 7–20 раз.

Температурный фактор оказывает существенное влияние на качество металла поковки не только в момент нагрева заготовки для последующей обработки давлением, но также и в момент охлаждения поковки после ее ковки или штамповки. При этом под воздействием атмосферы поверхность поковки остывает более интенсивно, чем ее внутренние слои. В результате в периферийных слоях поковки возникают растягивающие напряжения, а внутренние ее слои испытывают напряжения сжатия. Эта неравномерность напряженного состояния по поперечному сечению изделия может привести к возникновению поверхностных и внутренних микро- и макротрещин. Вероятность их образования тем больше, чем интенсивнее охлаждение поковки. Поэтому охлаждение металла нужно выполнять в режиме, обеспечивающем возможно большую равномерность остывания по поперечному сечению поковки.

Режимы охлаждения поковок (на воздухе, в штабелях, в термосах или в колодцах, вместе с печью) следует назначать, в зависимости от марки стали (низко-, средне- и высокоуглеродистые; мало-, средне- и высоколегированные) и размеров поперечного сечения изделий с учетом практических рекомендаций таблицы ниже. При охлаждении на воздухе (на спокойном воздухе, но не сквозняке) поковки размещают на полу цеха в индивидуальном порядке (вразброс). Земляной (глинобитный) пол, на котором происходит охлаждение поковок, должен быть сухим. Металлический пол цеха (уложенный металлическими плитами) может вызвать быстрый отвод тепла от наружных слоев поковок.

*Таблица*

*Рекомендуемые режимы охлаждения поковок*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вид сталей | Размеры поковок в поперечном сечении, мм | | |
| до 100 | св. 100 до 200 | св. 200 |
| Низкоуглеродистые | на воздухе | | |
| Среднеуглеродистые и малолегированные | на воздухе | в штабелях | в колодцах |
| Высокоуглеродистые и среднелегированные | в штабелях | в колодцах | вместе  с печью |
| высоколегированные | вместе с печью | | |

При охлаждении на полу следует предотвращать возможность возникновения сквозняка, вызывающего местные интенсивные охлаждения поковок. Вреден сквозняк также при охлаждении поковок, имеющих значительное отношение длины к диаметру, или при охлаждении поковок с переменным сечением. В этих случаях из-за неравномерности охлаждения поковку может «повести» (искривится ее осевая линия).

При охлаждении в штабелях поковки укладывают в кучи (штабели) навалом и также охлаждают на воздухе.

Мелкие поковки охлаждают в металлическом ящике (футерованном огнеупорным кирпичом) на подстилке из песка, асбестовой ваты или шлака. Если ящик не футерован, то его сверху закрывают крышкой из асбестовых листов и засыпают слоем песка или шлака.

Крупные поковки, требующие медленного охлаждения, помещают в колодцы (ямы). Каждую поковку в колодцах также засыпают песком или шлаком, а заполненный колодец закрывают металлическими листами и присыпают песком или шлаком.

Охлаждение вместе с печью дает возможность активно регулировать скорость охлаждающего процесса. При этом в печь, нагретую до температуры около 700°С, помещают партию поковок и выдерживают их до выравнивания температуры всей садки. После чего начинают охлаждение поковок вместе с печью либо по специальному ступенчатому графику, либо произвольно по мере естественного остывания печи.

**Лекция №5**

*Влияние ковки и штамповки на изменение структуры и свойств металла. Выбор способов обработки в зависимости от назначения поковок*

**Изменение структуры литого металла в результате ковки и штамповки.**

При ковке (прокатке) слитков наблюдаются следующие характерные изменения литой структуры: крупные кристаллы (дендриты) под влиянием деформации вытягиваются в направлении общего течения (удлинения) металла; вместе с кристаллами вытягиваются и неметаллические включения, расположенные по границам дендритов. По мере вытягивания эти включения принимают форму прядей и придают макроструктуре поковки (проката) характерное волокнистое строение [1].

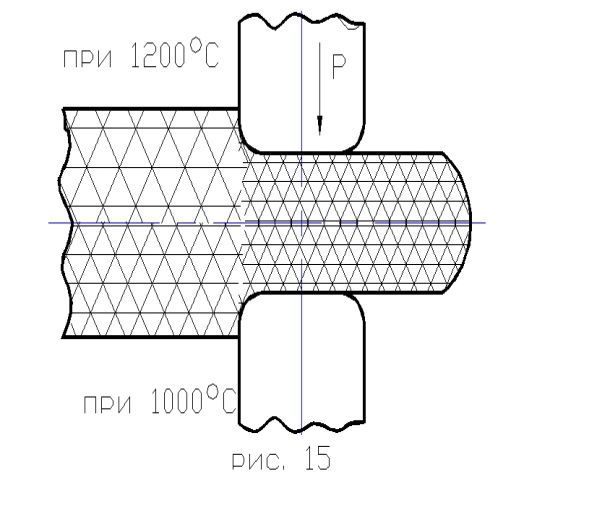
Образование волокнистого макростроения при протяжке обычно начинается в срединной части слитка, а потом уже распространяется на его периферийные слои в зону столбчатых кристаллов. Это объясняется тем, что в срединной части литой структуры (рис. 9) дендриты повернуты на некоторый угол к оси слитка; здесь же имеется область хаотично расположенных кристаллов и их частей. Таким образом, сам характер расположения кристаллов и их частей в средине слитка способствует их первоочередному повороту и вытягиванию в направлении общей вытяжки слитка, тем более, что это направление, как правило, совпадает с осью слитка.

В зоне столбчатых дендритов слитка последние расположены перпендикулярно к направлению вытяжки и поэтому для их переориентации в процессе обжима потребуется большая степень деформации, которая в данном случае характеризуется степенью вытяжки. В свою очередь, последняя определяется уковом: *K=F*НАЧ/*F*КОН=*L*КОН/*L*НАЧ (где *F*НАЧ и *F*КОН – соответственно начальная и конечная площади поперечного сечения слитка; *L*НАЧ и *L*КОН – соответственно начальная и конечная длина слитка).

В срединной части слитка волокнистое макростроение появляется уже при уковке *K*=2–3, а периферийная зона слитка приобретает волокнистое макростроение по всему сечению только при укове *K*=10.

Волокнистость макроструктуры проката невозможно устранить ни последующей термообработкой, ни обработкой давлением. Последняя приводит лишь к тому, что с изменением формы заготовки изменяется направленность (конфигурация) волокон, но характер волокнистости структуры сохраняется и в поковке, и в детали.

В отличие от этого микроструктура деформированного металла существенно изменяется последующей термообработкой. Причем для облегчения термической обработки желательно, чтобы после обработки давлением металл поковки имел бы более мелкое зерно.

Поэтому, учитывая тот факт, что рост зерен металла зависит от температуры нагрева, заготовки для обработки давлением следует нагревать до возможно низкой температуры ковки и все участки нагретой заготовки должны интенсивно проковываться. Следует также иметь в виду и то обстоятельство, что зерна деформируемого металла растут и после обработки давлением под воздействием повышенной температуры (рис. 15). Поэтому горячую обработку поковок необходимо заканчивать по возможности ближе к нижнему пределу допустимых температур ковки.

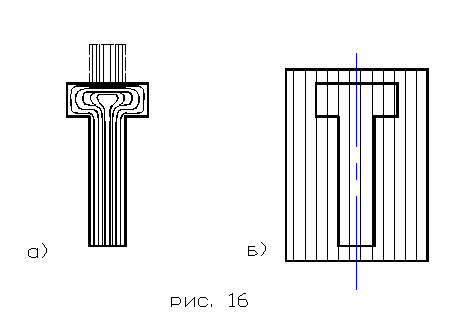
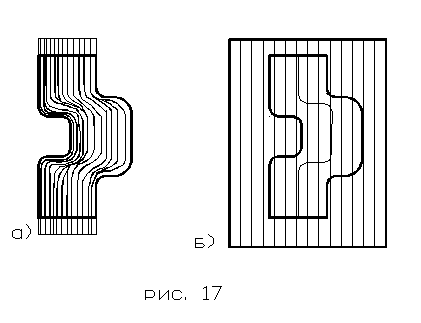
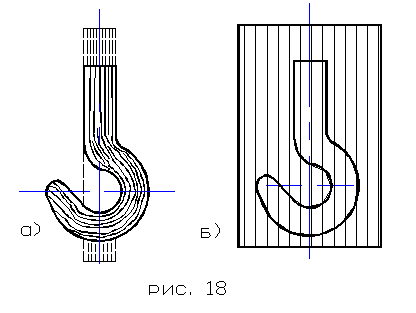
7.2. Зависимость свойств металла от обработки давлением.

Показатели механических свойств металла, обработанного давлением, зависят от степени его укова и от направления волокон макроструктуры. И если прочностные характеристики металла (пределы прочности и текучести) вдоль и поперек волокон оказываются практически одинаковыми, то характеристики пластичности (относительные удлинение и сужение, ударная вязкость, предел выносливости) разнятся весьма существенно. Это явление носит название векториальности механических свойств или анизотропии. Анизотропия увеличивается с увеличением степени укова. Так при *К*=10, ударная вязкость поперек волокон оказывается в 2–3 раза меньше, чем вдоль волокон. При этом разница в показателях предела прочности составляет всего лишь 10–15%.

Принимая во внимание то обстоятельство, что степень укова оказывает заметное влияние на изменение показателей механических свойств металла, в различных случаях рекомендуются и обработка давлением с определенными значениями укова. Например, для одинаковых механических свойств металла по всем направлениям *К*=3,5–4,0, а для лучших механических свойств в одном направлении К=6–10.

**7.3. Выбор способов обработки давлением**

**в зависимости от назначения поковок**

При разработке процессов обработки давлением следует учитывать направление волокон в исходной заготовке и желательное расположение волокон в готовой детали с учетом действующих на нее нагрузок. К примеру, болт или вал-шестерня, изготовленные высадкой головки из катаного прутка (рис. 16а) имеют более благоприятную макроструктуру для характера действующих на них сил, чем те же изделия, полученные из катаного прутка точением на токарном станке (рис.16б). Кроме того, стержневая часть у высаженных изделий оказывается прочнее, чем у точеных, так как при токарной обработке в стружку удаляется качественный наружный слой прутка, а менее качественная сердцевина остается в изделии. Коленчатые валы, полученные гибкой исходного прутка, имеют макроструктуру более благоприятную для действующих нагрузок (рис. 17а), чем те же валы, полученные точением прутка большего диаметра (рис.17б). К тому же, в первом случае волокна оказываются неперерезанными, что обеспечивает повышенную прочность металла колена.

Аналогичные соображения справедливы и для способа изготовления грузоподъемных крюков ковкой с последующей гибкой (рис. 18а) по сравнению с производством их обработкой резанием (рис. 18б).

**8. СВОБОДНАЯ КОВКА.**

Свободной ковкой можно изготовлять поковки различной массы: от нескольких граммов (кованые рыболовные крючки, лезвия ножей, коуши для петель тросов) до нескольких десятков и сотен тонн (детали гидротурбин, цилиндры гидроаккумуляторов, валы корабельных гребных винтов и т.д.).

Разновидности свободной ковки по характеру используемой деформирующей силы для наглядности можно представить в виде следующей схемы:

Ручную ковку выполняют на наковальнях с применением в качестве основного деформирующего инструмента кувалд с массой 2–16кг. В настоящее время этот вид ковки промышленного применения практически не имеет и служит, в основном, для выполнения ремонтных работ, а также для изготовления мелкой кузнечной продукции в небольших мастерских. Поэтому данный вид ковки в лекциях рассматриваться не будет.

Машинная ковка является весьма распространенной в единичном и мелкосерийном производствах с использованием молотового оборудования для обработки мелких и средних поковок и прессового – для средних и крупных поковок. При этом для области использования оборудования распределяются следующим образом.

Ковочные механические молоты (пружинно-рессорные, кривошипные и др.) с массой падающих частей *G* = 10÷100кг предназначены для изготовления поковок массой 0,1÷2,5кг (фасонных) из заготовок с размерами диаметром 20÷50мм соответственно.

Ковочные пневматические молоты с *G* = 50÷1000кг используют для ковки поковок массой 1÷70кг из заготовок диаметром 70÷160мм соответственно.

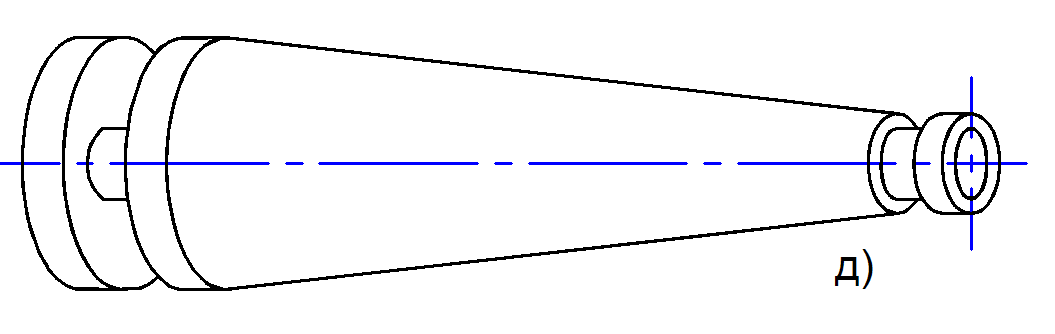
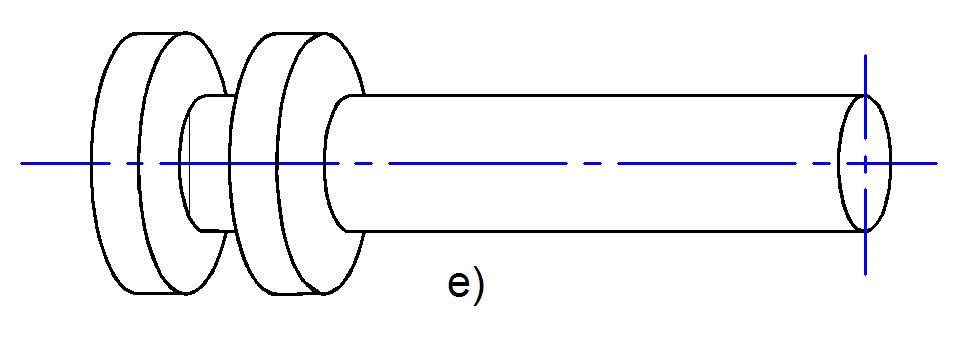
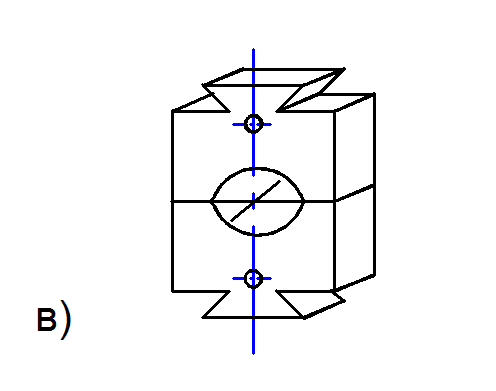
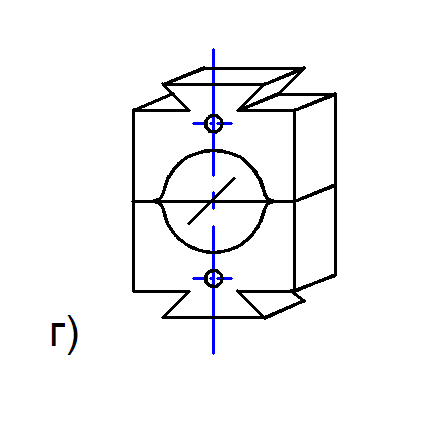
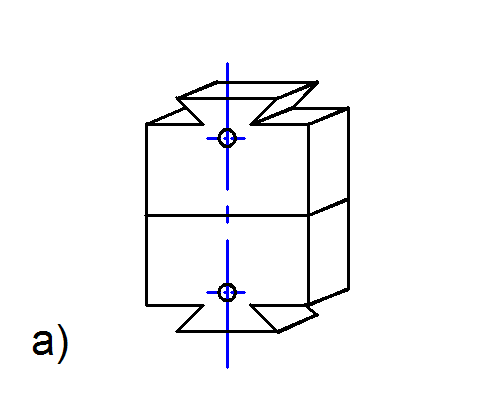
Ковочные паровоздушные молоты с *G* = 50÷1000кг используют для ковки поковок массой 70÷1300кг из заготовок диаметром 160÷400мм соответственно.

Ковочные гидравлические прессы номинальной силой *Р*Н = 5÷150МН используют для ковки поковок из слитков массой 2÷300тн соответственно.

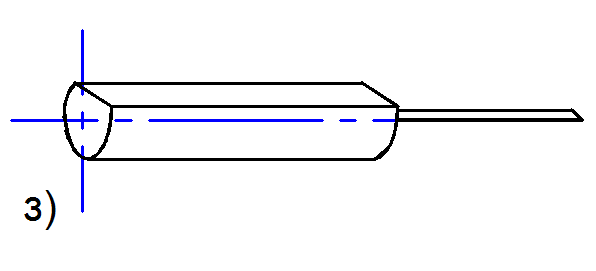
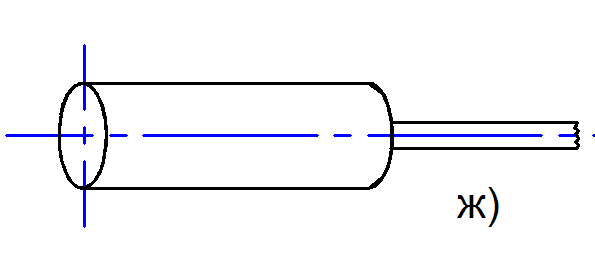
Ковочные механические прессы имеют ограниченное применение и поэтому данные по ним здесь не приводятся.

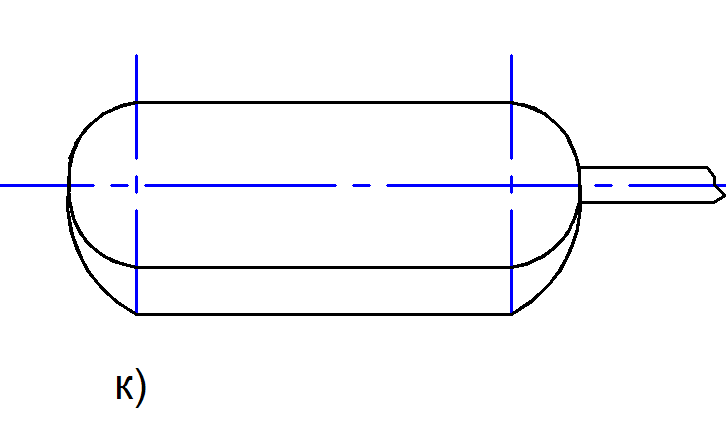
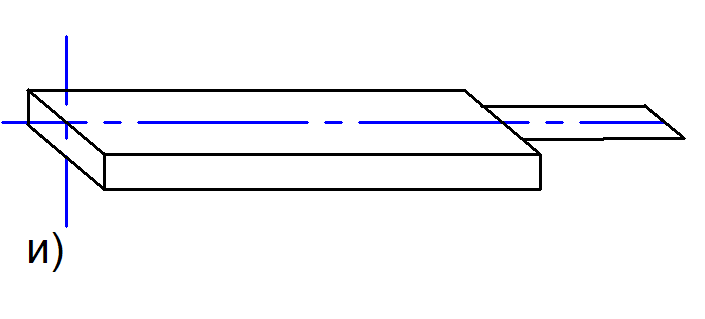
При машинной ковке используются специальные кузнечные инструменты, которые подразделяются на следующие виды: основные (рабочие или технологические), вспомогательные (поддерживающие) и измерительные.

К рабочим кузнечным инструментам относятся (рис. 19):

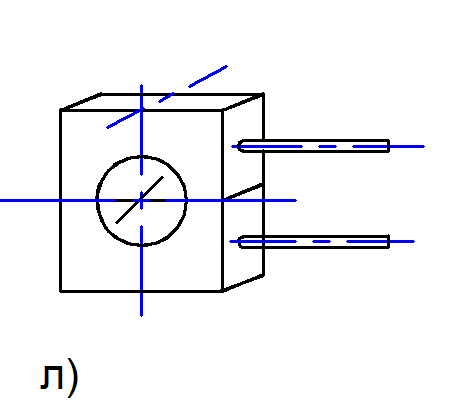
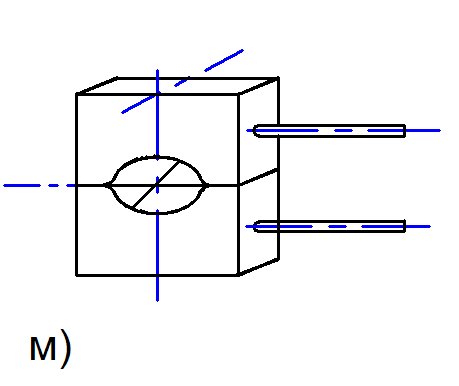


бойки плоские (а), закругленные (б), вырезные ромбические (в) и вырезные радиусные (г); оправки конусные (д) и цилиндрические (е);

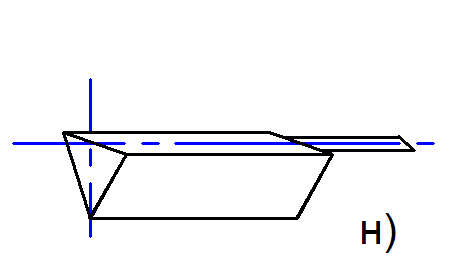


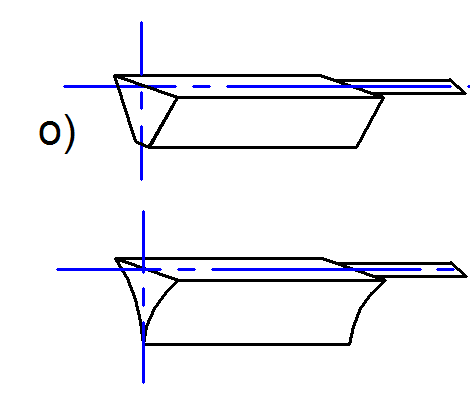
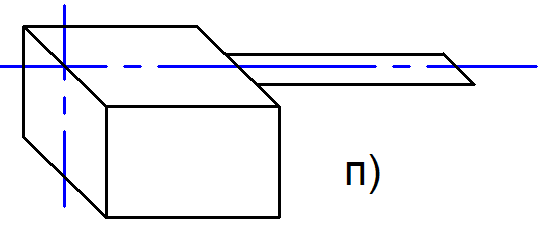


раскатки круглые (ж), полукруглые и овальные (з), прямоугольные (и) и фасонные (к);

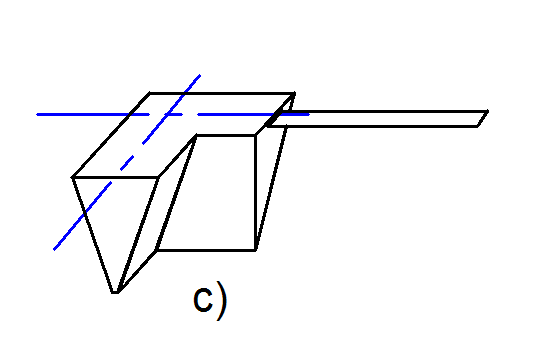
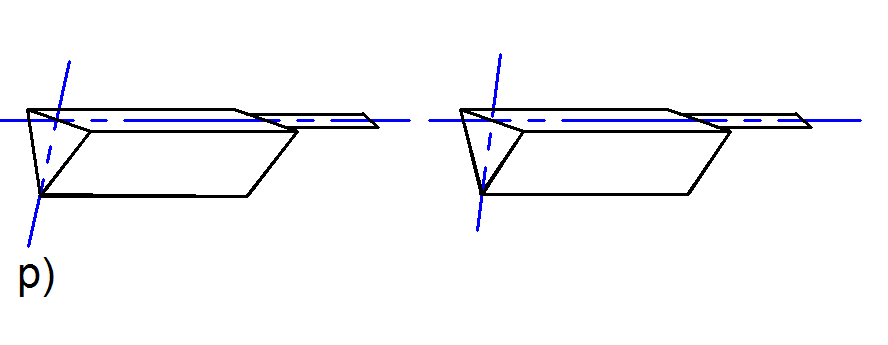


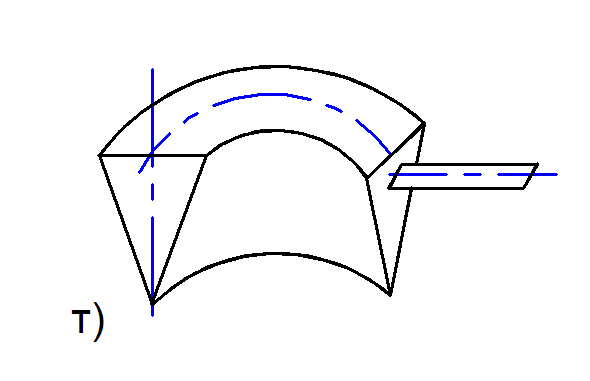
обжимки круглого (л) и квадратного (м) профиля;



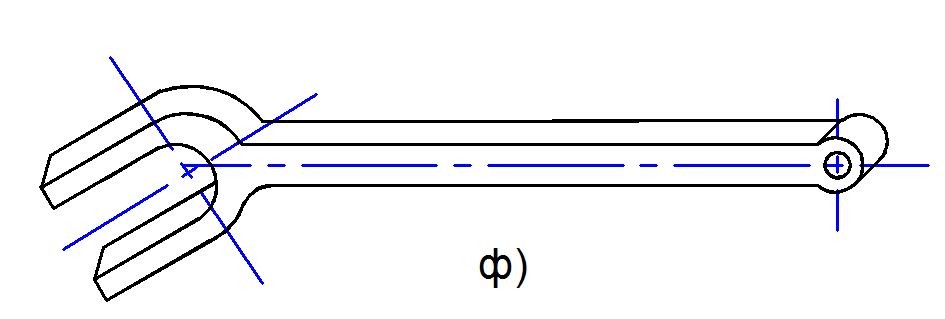
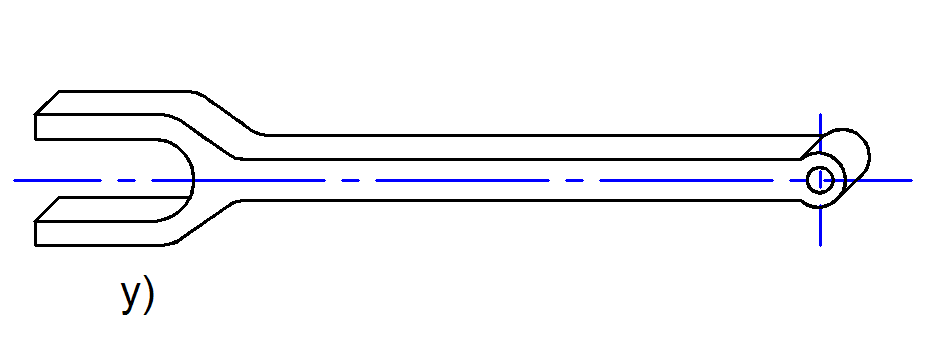


пережимки треугольные (н), трапециевидные и фасонные (о) и квадраты (п);

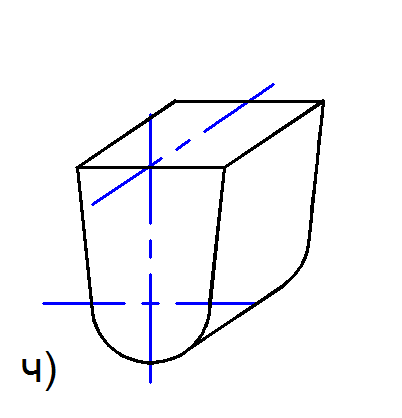
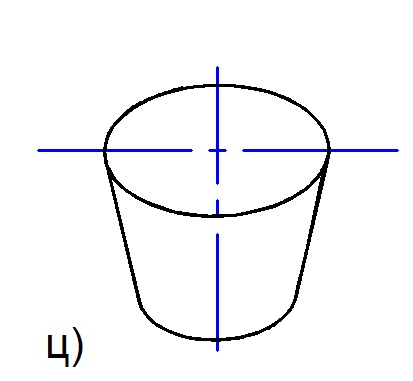
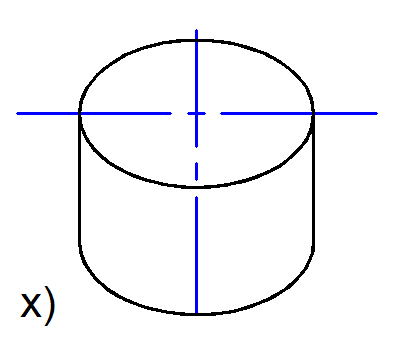
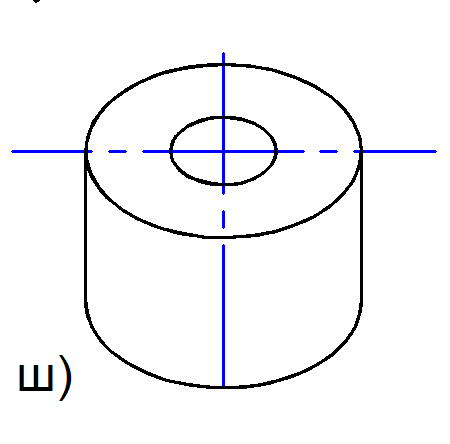




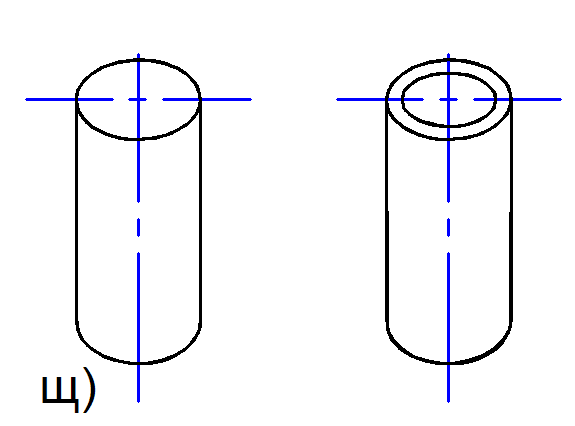
топоры односторонние и двухсторонние (р), угловые (с) и фасонные (т);



вилки для гибки и кручения с прямой (у) и с изогнутой (ф) осью;

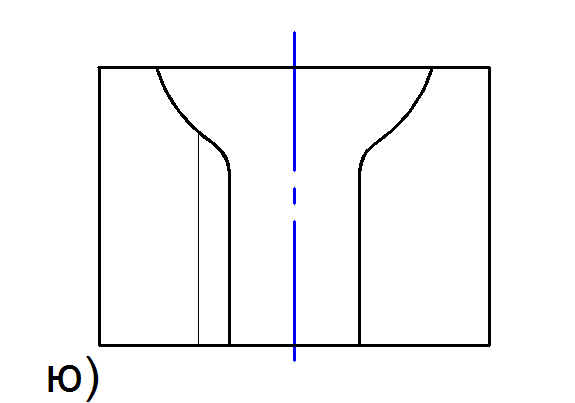
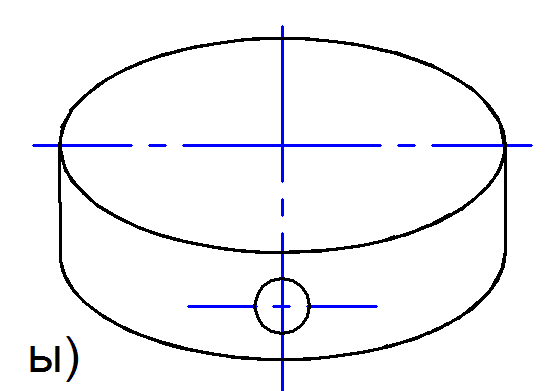
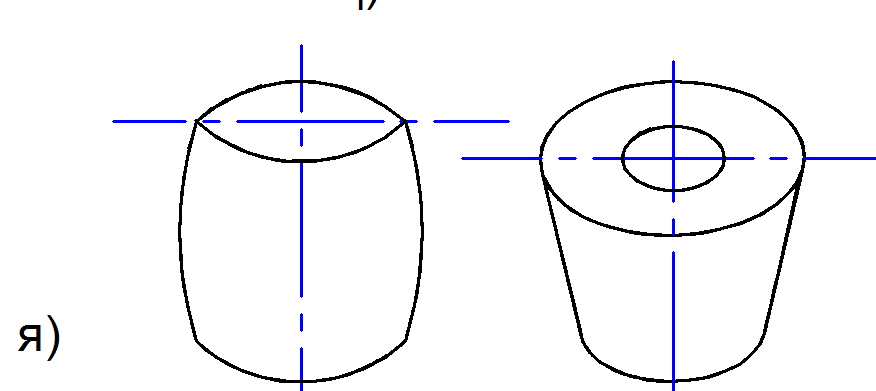


прошивни цилиндрические (х), конические (ц), клиновидные (ч) и пустотелые (ш), а также надставки к ним (щ) – сплошные и пустотелые цилиндры;

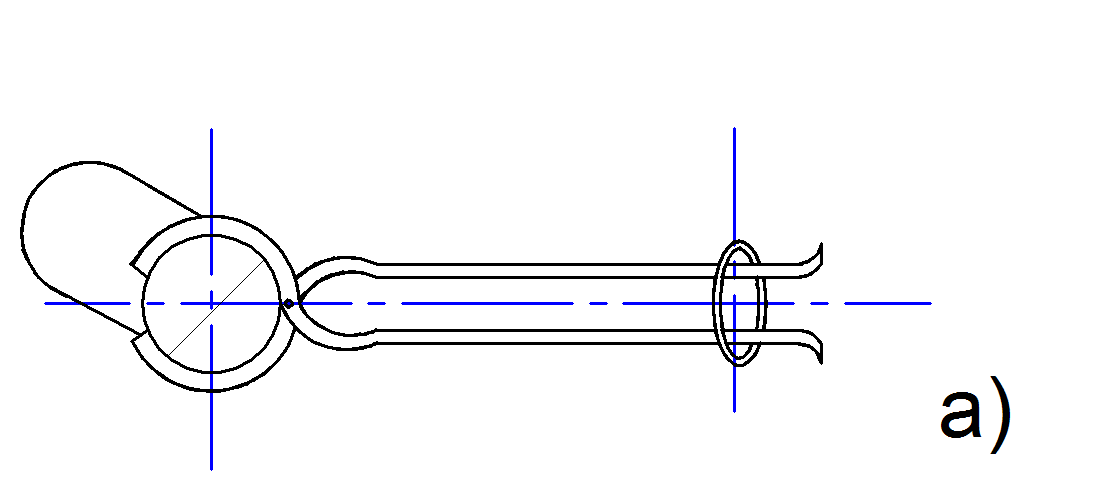


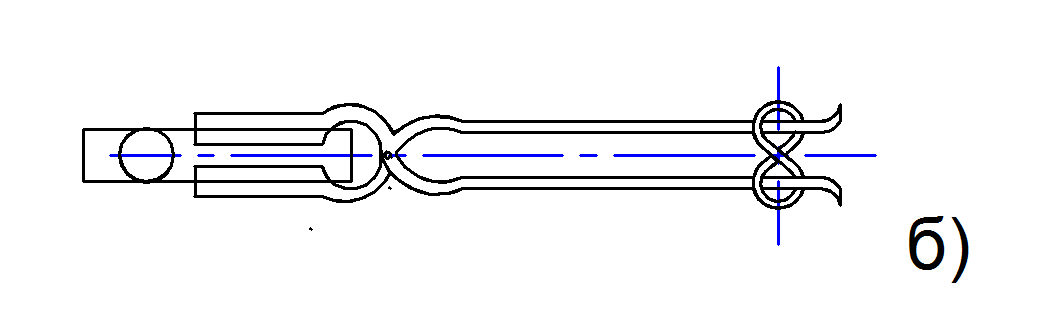
плоские (ы) и сферические (ю) осадочные плиты с отверстиями;

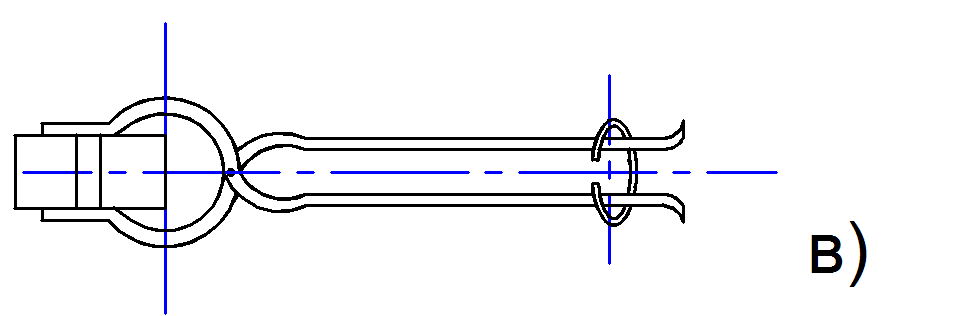
бочкообразные и конические калибровочные оправки для отверстий (я).

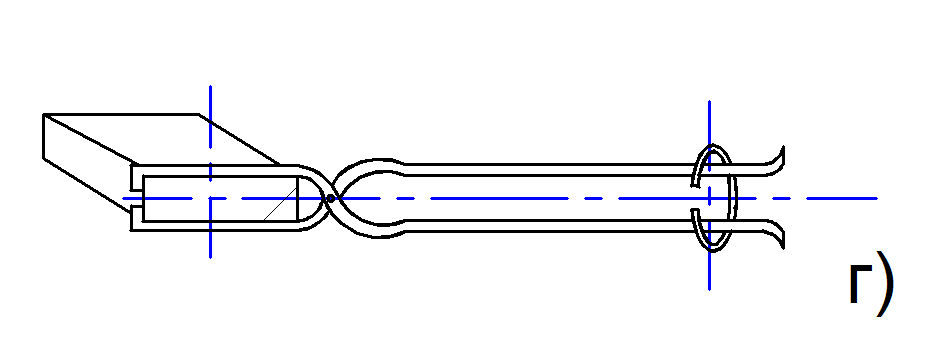


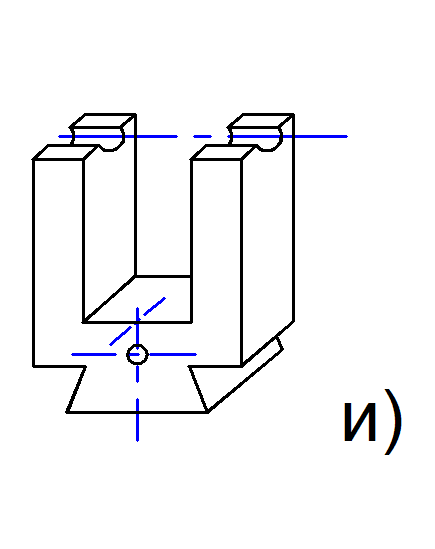
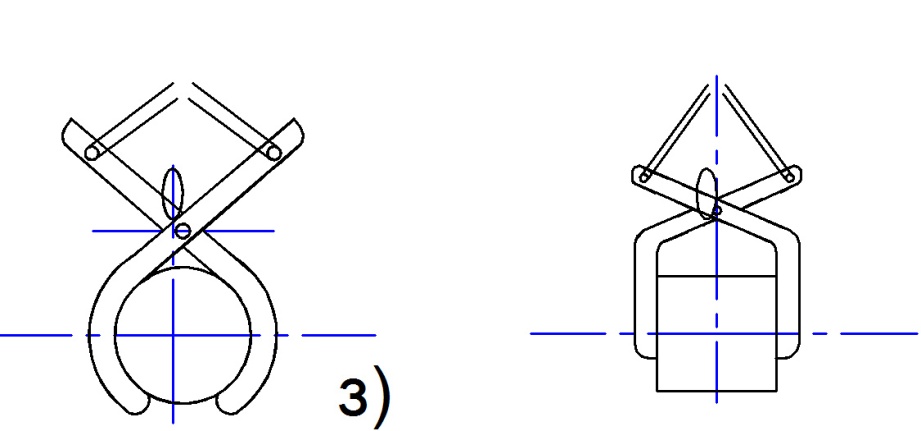
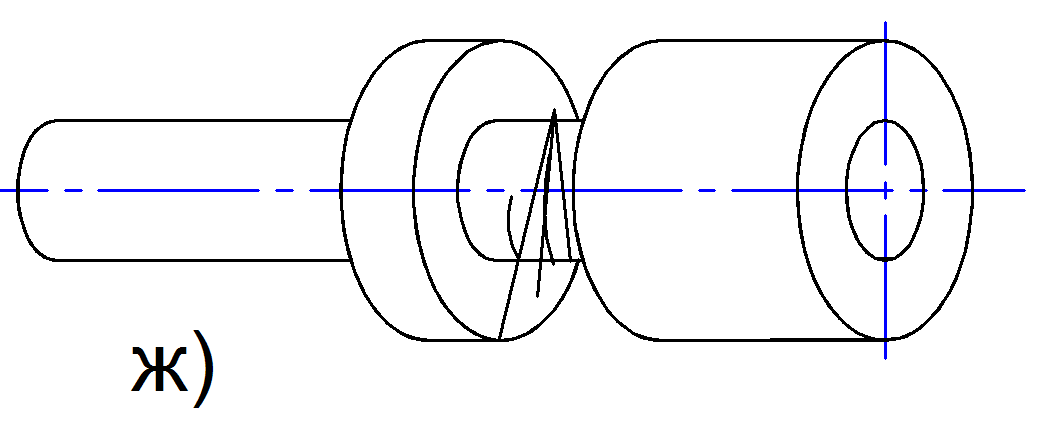
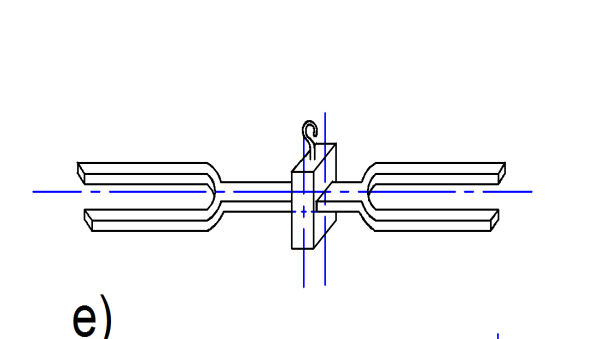
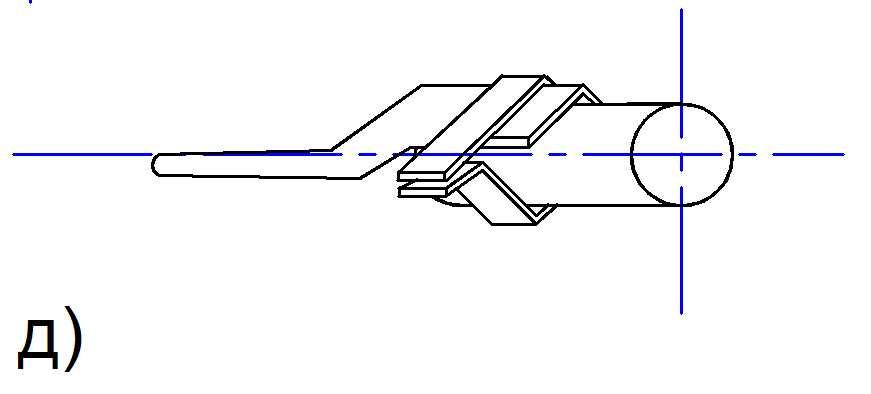
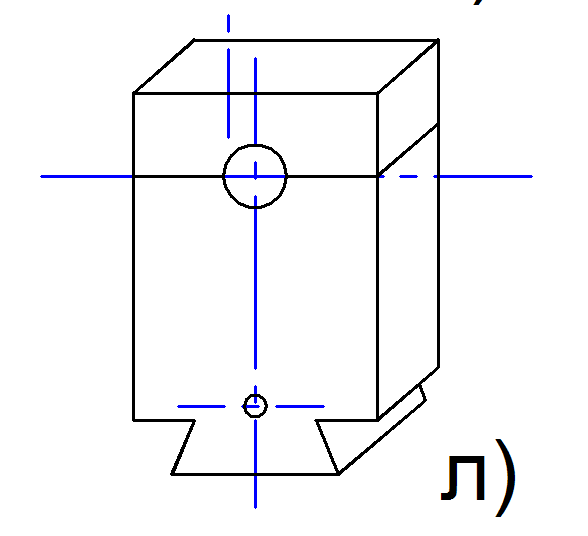
К вспомогательным кузнечным инструментам относятся (см. рис.20):







клещи кузнечные гаечные или поперечные (а), продольные или торцовые (б), продольно-поперечные (в), специальные (г) с кольцами, скобами, восьмерками, шпандырями для фиксации зажима заготовок губками клещей;

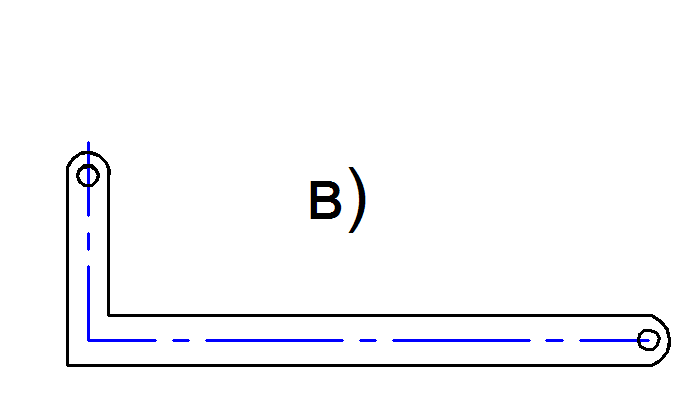
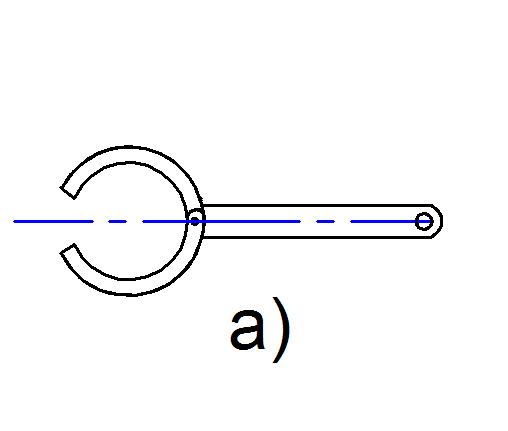


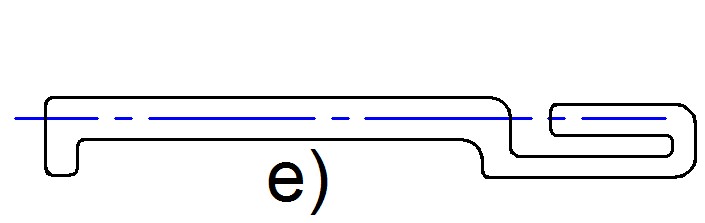
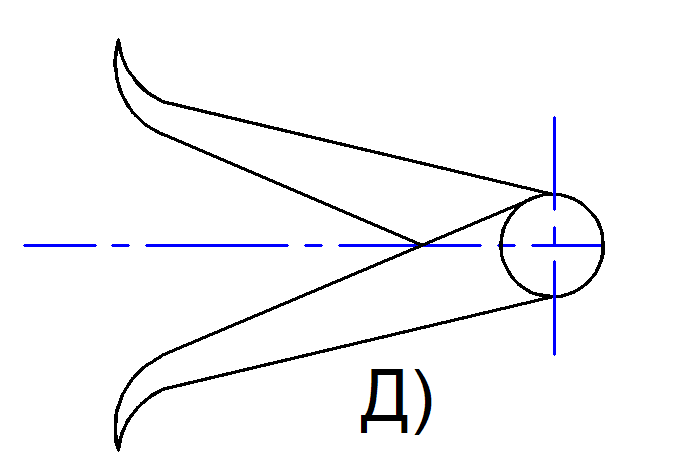
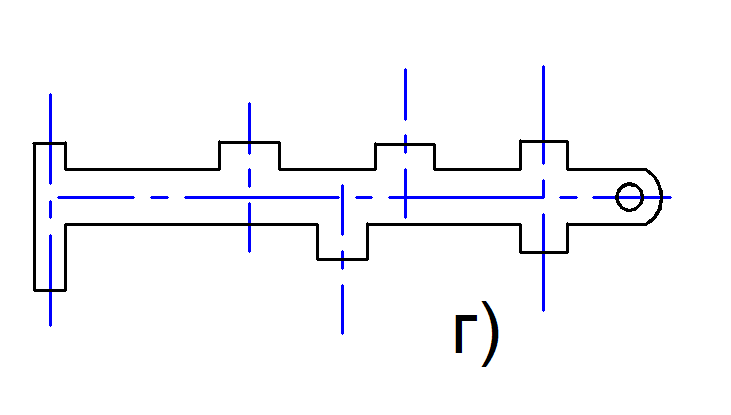
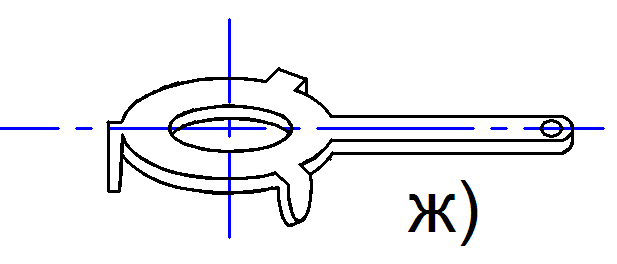
специальные приспособления для транспортных и кантовальных работ – воротяжки (д), загрузочно-разгрузочные вилки (е), патроны и уравновешивающие штанги кантователей (ж), клещи грузоподъемные крановые транспортные (з), козлы (и), захваты манипуляторов (к) и кузнечные люнеты (л).

К мерильным кузнечным инструментам относятся (рис. 21):

стандартный инструмент – штангенциркули и метрические линейки (на рис. 21 не показаны);

* специальный кузнечный инструмент – кронциркули (а), угломеры (б), угольники (в), калибры (г), нутромеры (д), проволочные мерители (е) и различного рода шаблоны (ж).





Инструмент для свободной ковки изготовляют из следующих марок сталей:

* бойки – стали 50, 50Г, 40ХН, 5ХНВ, 5ХГМ;
* оправки – стали 35, 40, 50, 40ХН, 5ХГМ, 50Х;
* раскатки – стали 40, 45, 40Х;
* обжимки – стали 40, 45, 50, У7, 40Х;
* пережимки – стали 40, 45, 40Х;
* топоры, просечки – стали 35ХМ, 5ХНВ, 7Х3, 8Х3, 5ХГМ, 5ХНМ;
* вилки – стали 40, 45, 40Х;
* прошивни – стали 40Х, 50, 5ХНВ, 5ХГМ;
* надставки к прошивням – стали 40, 50, 50Х;
* осадочные плиты – стали 35, 35Л и ст.3;
* клещи кузнечные – стали 15, 20, 25 и ст.3;
* вилки загрузочно-разгрузочные, гибочные – стали 40, 45, 50, 50Х;
* кузнечные козлы, люнеты, патроны кантователей – стали 35, 40, 45;
* кольца подкладные, осадочные – стали 35, 50, 5ХГМ;
* мерительный инструмент стандартный – стали У8А, У9А, У10А
* мерительный кузнечный инструмент нестандартный – стали 20, 30, 40, 45, 50 и ст.3, 5;
* ручки к топорам, раскаткам и другому инструменту – стали 15, 20, 25 и ст.3;
* уравновешивающие штанги к кантователю – стали ст.3, 4, 5.

Технологические процессы свободной ковки состоят из ковочных операций и переходов, выполняемых в определенной последовательности друг за другом в зависимости от конфигурации поковок и их размеров. При этом:

* под технологическим процессом подразумевают часть производственного процесса, непосредственно связанную с последовательным изменением состояния предмета производства;
* под ковочной операцией понимают часть технологического процесса, выполняемую на одном рабочем месте и охватывающую все действия рабочих и оборудования над обрабатываемым изделием (поковкой);
* под технологическим переходом понимают часть технологической операции, характеризующуюся неизменностью обрабатываемой поверхности и неизменностью режима работы оборудования.

Основными операциями свободной ковки являются: осадка (высадка), прошивка, вытяжка (протяжка), гибка, кручение (скручивание, разворот), рубка и сварка.

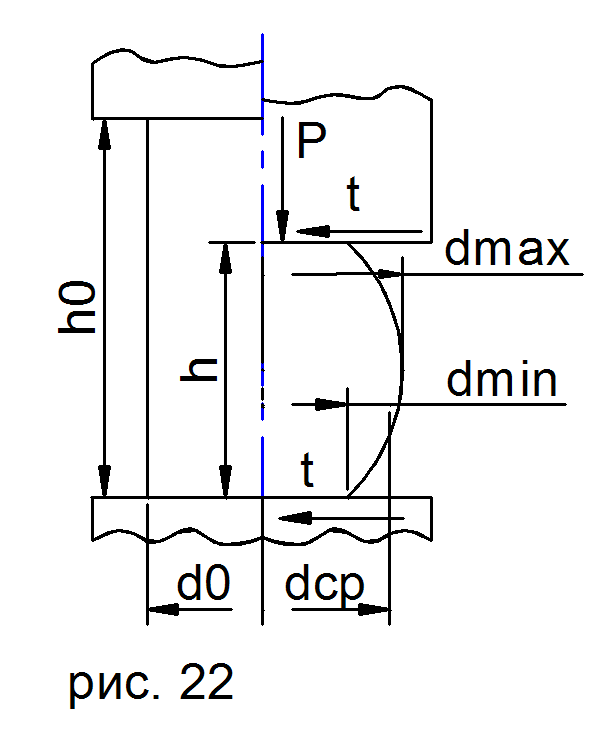
Главенствующее место среди перечисленных операций занимает осадка, которая используется либо в явном виде, либо проявляется в форме своих разновидностей в остальных операциях ковки. Поэтому при выборе деформирующего оборудования (ковочных молотов или прессов) для ковки поковок в качестве определяющего принимают технологическую силу операции осадки, или же силу протяжки и прошивки, расчет которой выполняют по формулам, основанным на закономерностях операции осадки.

**8.1. Осадка.**

Осадкой называют операцию свободной ковки (и объемной штамповки), в результате которой происходит увеличение поперечного сечения заготовки за счет уменьшения ее высоты (рис. 22).

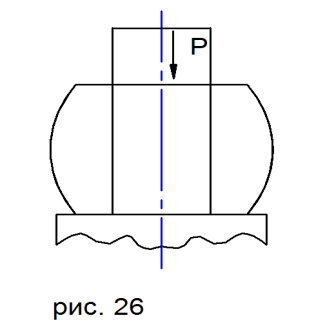
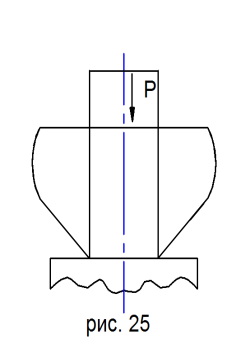
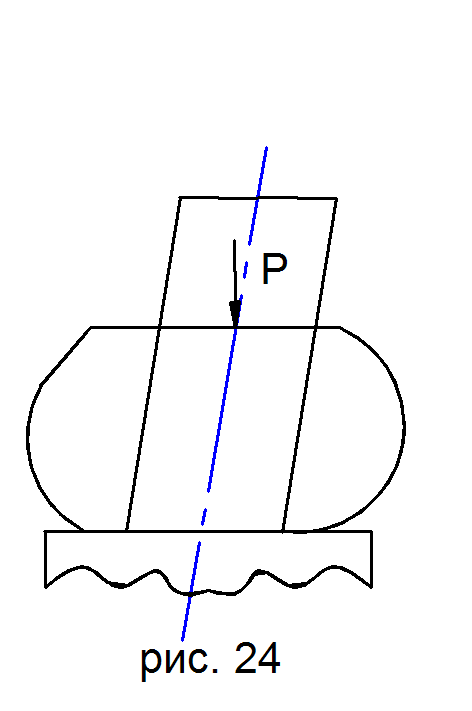
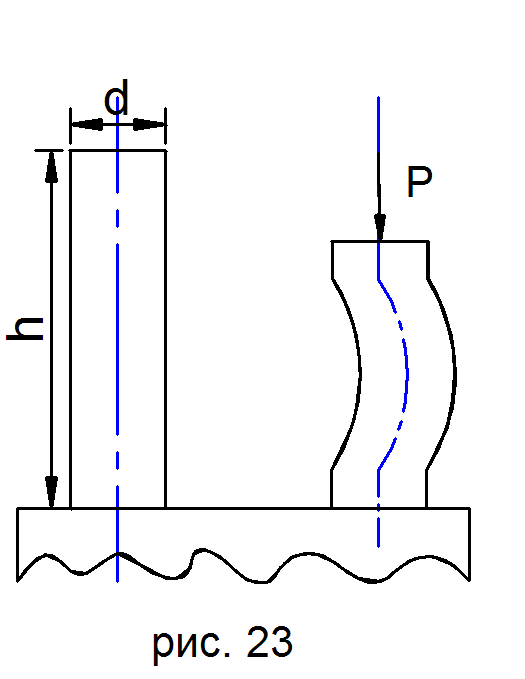
Как видно из рисунка, после осадки заготовка принимает бочкообразный вид. Объясняется это наличием внешнего трения между бойками и заготовкой,

которое препятствует течению металла в радиальном направлении как непосредственно на торцах заготовки, так и вблизи их. По мере удаления от торцов вглубь металла влияние внешнего трения уменьшается, чем и объясняется бочкообразность боковых поверхностей осаженной заготовки.

Исходя из условия постоянства объема исходной и осаженной заготовок, средний диаметр последней в любой момент осадки может быть определен зависимостью:

. [5]

Операцию осадки применяют: для повышения степени уковки в случаях, когда исходная площадь поперечного сечения слитка не обеспечивает необходимой степени укова при вытяжке; для получения поковок большего поперечного сечения из заготовок с меньшим сечением; как предварительная операция перед прошивкой при изготовлении пустотелых поковок; как предварительную операцию перед протяжкой с целью наибольшего разрушения дендритной структуры и получения одинаковых механических свойств в продольном и поперечном направлениях поковки; вместе с вытяжкой для равномерного распределения и измельчения карбидов в поковках из стали карбидного класса (быстрорежущих, высокохромистых, инструментальных).



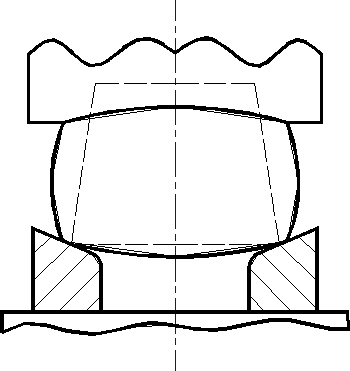
Для качественного выполнения операции осадки необходимо соблюдение следующих условий:

– размеры исходной заготовки должны находиться в пределах  – в противном случае возможно искривление заготовки (рис. 23);

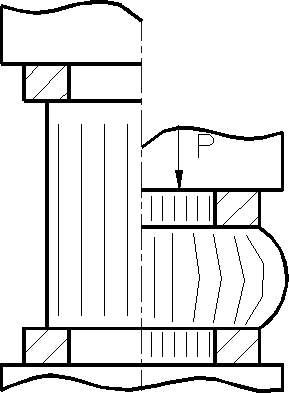
– торцы исходной заготовки должны быть перпендикулярны к ее продольной оси, – иначе образуется искривленная бочка (рис. 24);

– необходим равномерный нагрев металла перед осадкой до ковочной температуры как вдоль, так и поперек заготовки, – иначе поковка может получить грибообразную форму (рис. 25), или форму с явно выраженной односторонней бочкообразностью (рис. 26);

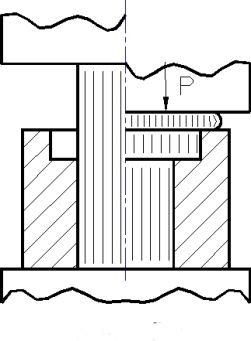
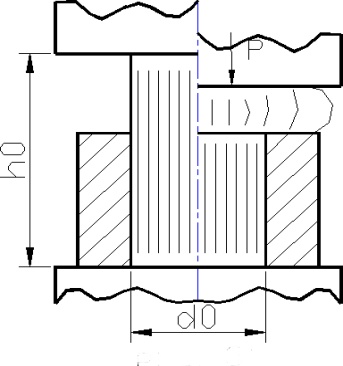
– заготовки квадратного или прямоугольного поперечного сечения (рис. 27а) перед осадкой должны быть подкатаны до цилиндрической формы (рис. 27б), затем осажены до заданной высоты (рис. 27в) и только после этого прокованы на большее квадратное или прямоугольное сечение (рис. 27г), – в противном случае (при непосредственной осадке квадратного или прямоугольного сечения) из-за неравномерности деформации металла, существенно искажается квадратное сечение заготовки, и появляются диагональные трещины в теле осаженной заготовки (рис. 28а, б).

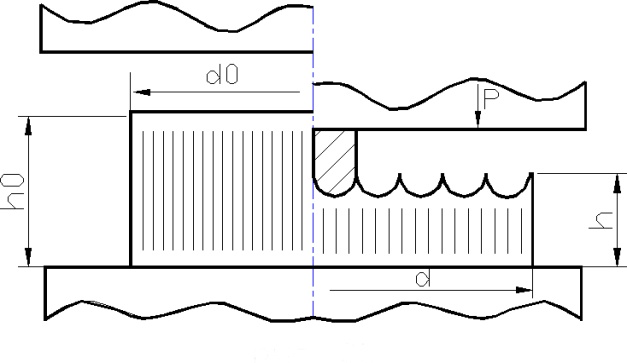
Помимо осадки на плоских бойках в практике кузнечной обработки используются и другие способы осадки.

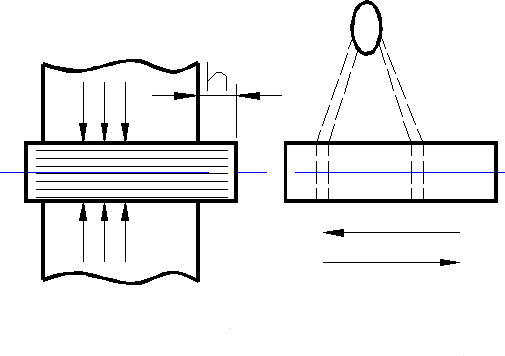
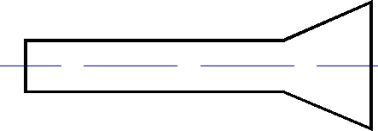
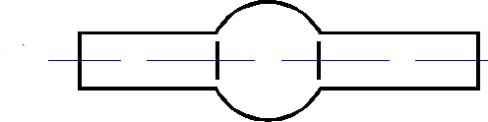
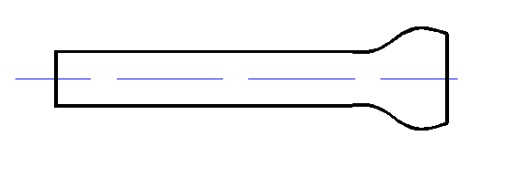
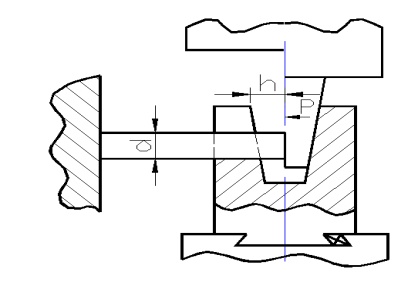
***Осадка слитков с хвостовиками*** (рис. 29) выполняется в подкладных сферических плитах (рис. 19ю), причем нижняя плита имеет цилиндрическое отверстие, куда вставляется предварительно оттянутый из прибыльной части слитка хвостовик, с помощью которого слиток удерживается в патроне кантователя при выполнении последующей протяжки.

***Осадка на плоских плитах*** (рис. 19ы) или на подкладных кольцах (текущий рисунок) выполняется тогда, когда получение хвостовиков, выступов, ступиц, цапф затруднено из-за малой длины последних (рис. 30). При этом происходит вдавливание части металла заготовки в отверстия плит (колец). Обычно используют кольца с высотой и диаметрами отверстий равными размерам выступов поковок и с наружными диаметрами равными диаметрам дисков (фланцев) поковок. После осадки бочкообразность боковых поверхностей устраняется обкаткой по фланцу поковок не снимая колец и, тем самым, обеспечивается получение точных заданных размеров поковок.

***Осадка (высадка) в нижняке (сподке)*** осуществляется в высоком подкладном кольце на части длины исходной заготовки (рис. 31). Часть заготовки, подлежащая высадке, должна удовлетворять условию , причем нагреву до

ковочной температуры подлежит только высаживаемая часть заготовки. Наружный диаметр сподка принимают равным диаметру высаживаемой части поковки; это дает возможность после высадки утолщение поковки обкатать по ее диаметру не вынимая из сподка. В некоторых случаях верхняя часть полости в сподке может быть изготовлена по форме и размерам высаживаемой головки поковки (рис. 32).

***Осадка раскаткой (разгонкой)*** с помощью раскаток различного поперечного сечения (рис. 19ж,з,и,к). В результате осуществления этого вида осадки за каждую установку раскатки деформируется молотом или прессом не вся торцевая поверхность осаживаемой заготовки, а лишь часть ее, находящаяся под раскаткой (рис. 33). Затем раскатку переставляют на соседний участок заготовки, подвергая и его осадке и т.д. При осадке этим способом уменьшается бочкообразность боковых поверхностей осаживаемой заготовки и значительно уменьшается усилие осадки, необходимое для деформации всей заготовки сразу.

***Осадка романением*** (рис. 34а) выполняется в том случае, когда из-за большой длины заготовки высадка ее в сподке невозможна; тогда заготовку зажимают между бойками молота или пресса, а по выступающему нагретому концу ее наносят удары «соколом» (тараном), подвешенным к подъемному крану. В зависимости от нагретого участка заготовки ее высадку (набор металла) можно осуществить на концах (рис. 34б) или в середине заготовки (рис. 34в), а если при этом осадку осуществлять легкими ударами молота, то вместо бочкообразной формы осадки можно получить коническую форму утолщения (рис. 34г). Высадку утолщений можно выполнять и, так называемой, «машинкой» (рис. 34д), при этом в качестве деформирующего уси

лия используется усилие пресса или энергия удара молота.

Расчетное усилие пресса, необходимое для выполнения операции осадки заготовки круглого сечения, можно определить по формуле [5]:

[т] или [*МН*] (6)

где *Р* – усилие осадки, МН;  - масштабный коэффициент, зависящий от массы осаживаемых заготовок (слитков) в пределах от 1 кг до 100 тн соответственно; *D* и *Н* – диаметр и высота поковки, мм (рис. 22); *F* – площадь поперечного сечения поковки (после осадки), мм2; *σ* ≈ *σ*В – напряжение текучести металла при температуре осадки, приближенно равное пределу прочности при той же температуре, МПа.

По расчетному усилию осадки выбирают ближайший наибольший гидравлический пресс из нормального ряда (ГОСТ 7284-80).

Расчетную массу падающих частей молота, необходимую для выполнения операции осадки заготовок круглого поперечного сечения, можно определить по формуле [5]:

, (7)

где *G* – масса падающих частей молота, кг; *V*ЗАГ – объем заготовки, мм3; – степень деформации поковки за последний удар молота, соответственно для крупных и мелких поковок; остальные данные см. выше. По расчетной массе падающих частей выбирают ближайший по нормальному ряду молот пневматический (ГОСТ 712-82) или паровоздушный (ГОСТ 9752-75).

Число ударов молота *n*, необходимое для осадки, находят по формуле [7]: ,

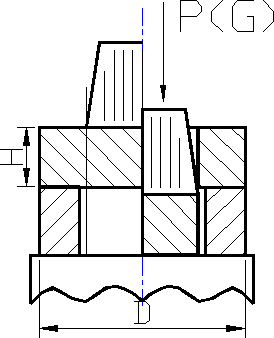
где  – коэффициент неравномерности ударов молота;  – полная работа молота при операции осадки, КДж;  – энергия одного полного удара молота, КДж;

*l*П – высота падения бабы, мм;

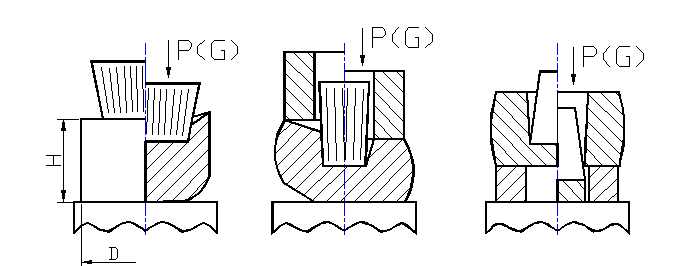
остальные обозначения см. выше.

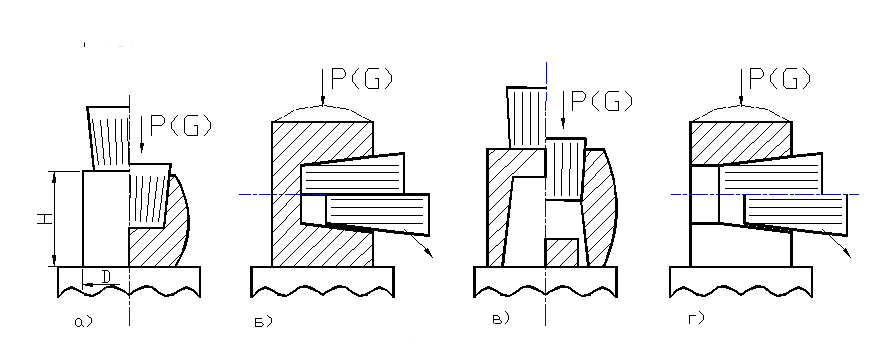
**8.2. Прошивка**

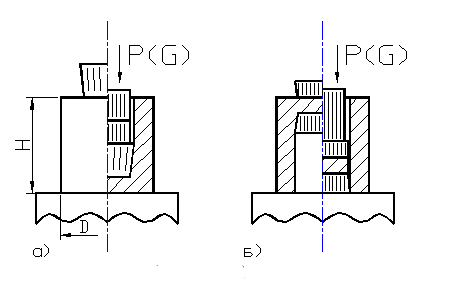
Прошивкой называют операцию свободной ковки, в результате которой в поковках обработкой давлением получают отверстия или глухие полости. При прошивке в качестве инструмента используют плоские бойки, различного рода прошивни, надставки к ним и подкладные кольца (рис. 19х-щ).

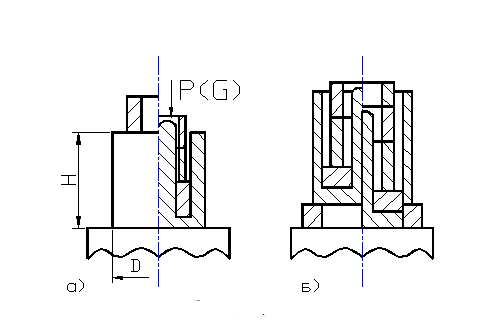
Прошивка является своего рода разновидностью операции осадки, при которой часть металла заготовки, осаживаемая прошивнем, вытесняется из-под него в стороны. В зависимости от соотношения размеров поковки используют различные приемы прошивки, рассматриваемые ниже.

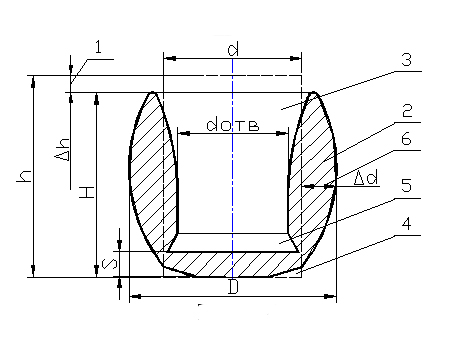
***Просечка отверстий*** применяется для низких поковок (при *Н/D* ≤ *1/5*) и выполняется на подкладных кольцах, у которых диаметр внутреннего отверстия немногим больше диаметра просечного пуансона. Просечка характеризуется большими технологическими отходами – выдрой (рис. 35).

***Односторонняя прошивка*** применяется для сравнительно невысоких поковок (при *1/5< Н/D ≤ 1/2*) и выполняется в три перехода: прошивка заготовки на глубину *(2/3÷3/4) Н*, освобождение прошивня из поковки с помощью нажимного накладного кольца, просечка выдры на подкладном кольце (рис. 36а,б,в). Односторонняя прошивка характеризуется относительно небольшой выдрой при использовании простых инструментов: прошивней и подкладных колец.

***Двухсторонняя прошивка*** применяется для сравнительно высоких поковок (при *1/2< Н/D ≤ 2,0*) и выполняется в четыре перехода: прошивка заготовки с одного торца на глубину *(2/3÷3/4) Н*, обкатка ее по диаметру с целью извлечения прошивня, прошивка заготовки с противоположного торца с просечкой выдры, обкатка поковки по диаметру с извлечением прошивня (рис. 37а,б,в,г). Этот вид прошивки характеризуется малым объемом выдры и использованием только одного прошивня.

***Двухсторонняя прошивка с надставками*** применяется для высоких поковок (при *Н/D > 2,0*) и выполняется с помощью следующих переходов: прошивка заготовки первым прошивнем с использованием надставок с одного торца на глубину *0,8⋅Н*, кантовка заготовки на 180О и прошивка ее вторым прошивнем с противоположного торца опять-таки с использованием надставок (рис. 38а,б).

В описанных выше четырех случаях прошивки использовались сплошные прошивни; обычно их применяют чаще всего при прошивке отверстий диаметром до  мм. Прошивка высоких заготовок с большими диаметрами отверстий, как правило, осуществляется ***пустотелыми прошивнями*** с надставками; операция выполняется с одного торца заготовки без ее кантовки на 180О, с последующей просечкой выдры на подкладном кольце (рис. 39а,б). Прошивка пустотелыми прошивнями характеризуется незначительными искажениями прошиваемой заготовки, уменьшенным усилием деформации металла, возможностью удаления внутреннего дефектного слоя слитка в его прибыльной части, но большим объемом выдры грибообразной формы.

При прошивке сплошным прошивнем в поковках появляются характерные дефекты (рис. 40), к которым относятся:

1 – уменьшение высоты исходной заготовки на величину ;

2 – бочкообразность боковых поверхностей;

3 – утяжина по верхнему торцу поковки;

4 – выпучивание нижнего торца;

5 – кольцевые отслоения металла по периферии нижнего торца прошивня.

Первые четыре искажения проявляются тем существеннее, чем больше величина отношения ; при  указанные выше искажения малозаметны, но уже при  они резко возрастают. Поэтому при ковке поковок с большими отверстиями первоначально прошивают отверстие , а затем увеличивают его до нужных размеров при помощи:

– последовательной раздачи коническими прошивнями, если ;

– раскатки на цилиндрической оправке (рис. 47), если .

Появление 5-го искажения в прошиваемой поковке (кольцевого отслоения) тем реальнее, чем тоньше перемычка металла под прошивнем *S* (будующая выдра). Практически толщину перемычки выдерживают в пределах , тогда указанного выше искажения 5 поковки при прошивке не наблюдается.

Помимо названных выше условий для качественного выполнения операции прошивки еще необходимы:

– перпендикулярность торцов исходной заготовки к ее осевой линии;

– равномерный нагрев заготовки по поперечному сечению;

– осадка заготовки перед прошивкой для выравнивания ее торцов,

– уменьшение высоты и снижение потерь металла на выдру;

– смазывание прошивней графито-масляной смазкой для снижения трения инструмента о деформируемый металл.

Усилие пресса для операции прошивки определяют по формуле [5]:

, [8]

где *Р* – усилие прошивки, МН;

*d*ОТВ – диаметр прошиваемого отверстия, мм;

*S* – толщина выдры, мм;

 – наружный диаметр прошитой заготовки при соблюдении условия , мм;

*σ*В – предел прочности металла при температуре деформирования, МПа (для горячего металла *σ*В =*σ*Т).

Массу падающих частей молота (*кг*) для операции прошивки определяют по формуле [5].

, [9]

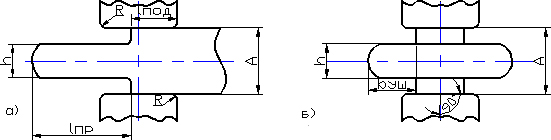
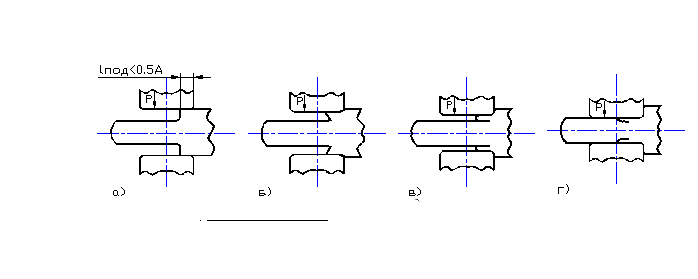
где *V*ВЫД – объем выдры, мм; остальные обозначения в формуле [9] приведены выше.

После расчетов, выполненных по формулам [8] и [9], выбирают деформирующее оборудование по соответствующим ГОСТам.

**8.3. Протяжка (вытяжка)**

Протяжкой (вытяжкой, поперечным обжимом) является операция свободной ковки, при которой происходит увеличение длины исходной заготовки за счет уменьшения площади ее поперечного сечения. Протяжка – противоположность осадки и, в то же время, выполняется с помощью последней.

При выполнении различных разновидностей операции протяжки используют рабочий инструмент, представленный на рис. 19а,б…и.

В практике свободной ковки применяют многие приемы протяжки, но наиболее распространенным из них является ***протяжка на плоских бойках*** (универсальных). Схематично такой вид протяжки представлен на рис. 41. После подачи части металла заготовки под бойки на величину *l*ПОД и нажатии (ударе) верхним бойком по металлу происходит местная осадка последнего. При этом, как и при операции осадки, металл течет как вдоль оси заготовки (*l*ПРОТ – величина протяжки), так и поперек нее (*b*УШИР – уширение). Но, так как протяжку выполняют с целью увеличения длины заготовки, а не ее уширения, то необходимо последнюю, по возможности, уменьшить. Это достигается ограничением величины подачи металла под бойки в пределах . При  существенно увеличивается уширение металла, а при  возникает опасность образования зажимов на протягиваемой поверхности металла (последовательность образования таких зажимов см. на рис. 42а-г).

Протяжка заготовок квадратного и прямоугольного сечения на плоских бойках можно осуществлять тремя способами:

– протяжкой по двум сторонам с одной промежуточной кантовкой на угол 90О;

– протяжкой по двум сторонам с периодическими кантовками на угол 90О;

– протяжкой по винтовой линии (протяжкой по четырем сторонам), - см. рис. 43а,б,в.

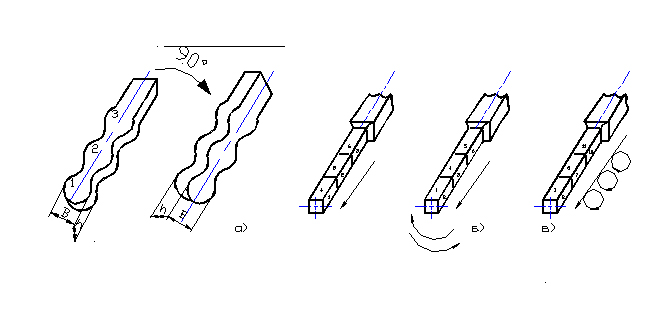
Такие способы протяжки обычно рекомендуют для высокопластичных сталей. При этом необходимо выполнять следующие рекомендации:

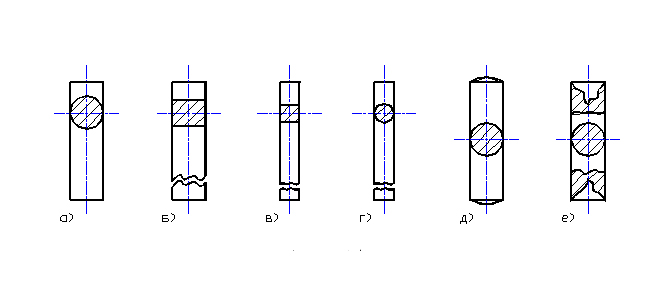
1. Рабочие плоскости бойков должны быть строго параллельны между собой и перпендикулярны к действующей силе.

2. Грани бойков, примыкающие к их рабочим плоскостям, должны быть заовалены достаточным радиусом во избежание надрывов и зажимов металла на поверхностях поковок (рис. 41).

3. Протяжку слитков следует выполнять от их середин по направлению к концам с целью вытеснения в концевые отходы наиболее дефектных частей слитков (донных и прибыльных);

4. После очередной кантовки следует следить за тем, чтобы боковые поверхности протягиваемых заготовок были бы перпендикулярны к рабочим плоскостям бойков во избежание появления сдвигающих усилий, которые могут привести к трещинам в деформируемом металле или к его вырыву из-под бойков.

5. В процессе протяжки заготовки по двум сторонам с кантовками на угол 90О следует контролировать соблюдение условия  (рис. 43), иначе при деформации металла после очередной кантовки может произойти изгиб сечения заготовки, как при осадке высоких заготовок (рис. 23).

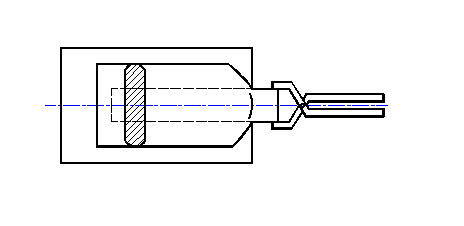
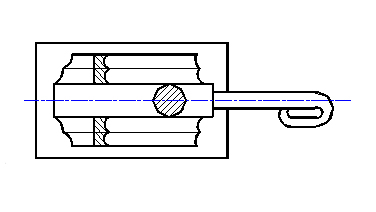
6. При протяжке заготовок с большего круглого поперечного сечения (с диаметром *D)* на меньшее (с диаметром *d*) прежде всего первое следует перековать на квадратное (со стороной квадрата ), а затем протянуть последнее на квадратное сечение со стороной квадрата  и только потом из этого квадратного сечения протягивать заготовку диаметром *d* (рис. 44а,б,в,г). Такая последовательность ковки необходима для того, чтобы в операцию протяжки вовлекалось все поперечное сечение заготовки, а не только ее периферийные слои, как это имеет место при протяжке с круга диаметром *D* на круг диаметром *d*.

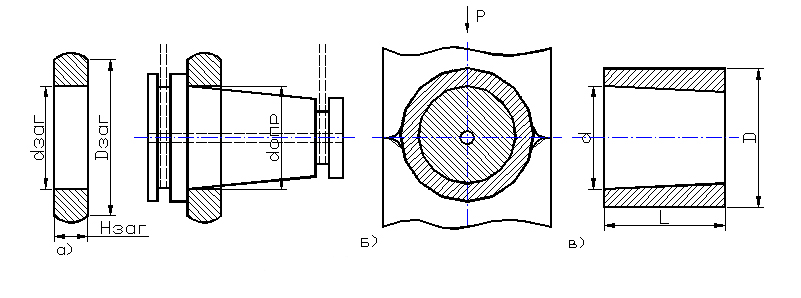
В первом случае протянутая заготовка имеет на торцах сферические выпуклости, а во втором случае – воронкообразные утяжины, нередко перерастающие в продольные осевые трещины-свищи (рис. 44д,е).

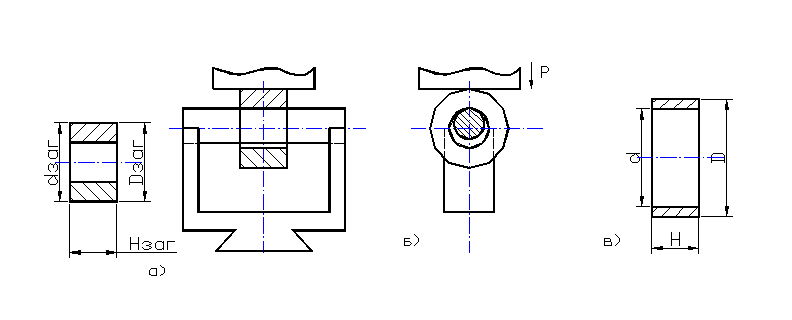
7. При протяжке длинных поковок ковку осуществляют от середины заготовки к ее концам. Это диктуется возможностью подогрева концевых частей заготовок для продолжения ковки. При этом протяжку следует выполнять с подачей заготовки «на себя» (по направлению к кузнецу).

Для интенсификации протяжки высокопластичных сталей можно использовать специальные бойки с закругленной рабочей поверхностью (рис. 19б).

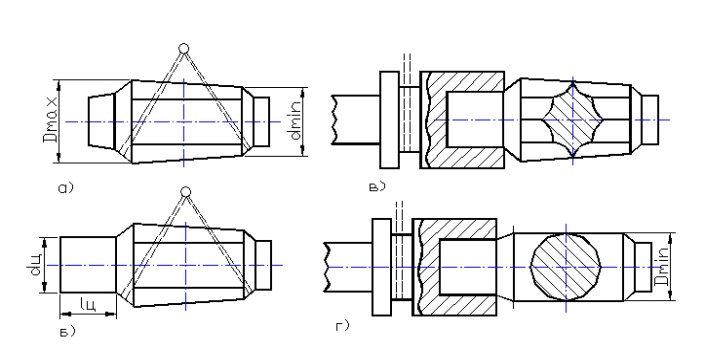
Малопластичные стали следует протягивать в вырезных бойках радиусных или ромбических (рис. 19в,г), ограничивающих уширение металла.

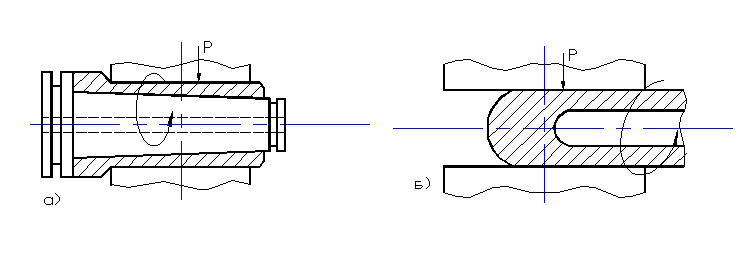
Разновидностью операции протяжки является ***расплющивание***, при котором достигается наибольшее уширение и наименьшее удлинение деформируемой заготовки. Расплющивание можно выполнять плоскими бойками, при расположении оси исходной заготовки поперек бойков (рис. 45а), но наиболее интенсивное расплющивание достигается с помощью разгонок (рис. 45б). Если в первом случае в уширение смещается до 25% деформируемой площади, то во втором случае эта площадь достигает 60%.

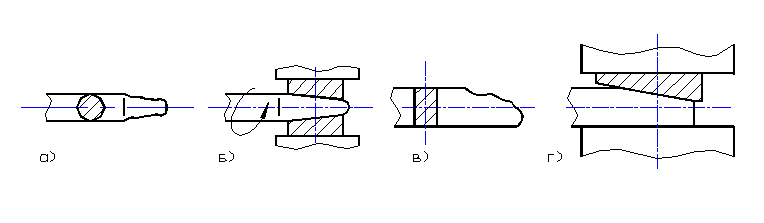
***Протяжка на конусной оправке*** используется для ковки пустотелых цилиндрических поковок большой длины. Этой протяжке предшествует операция прошивки отверстия в заготовке диаметром  при ;  и . Затем в прошитую заготовку вводят конусную оправку (рис. 19д) и последовательно обжимают на ней по всей длине кругло вырезными бойками в размеры *D*, *L*, *d* (рис. 46а-в).

***Протяжка на цилиндрической оправке*** предназначена для ковки тонкостенных цилиндрических поковок. Этой протяжке предшествует операция прошивки в заготовке отверстия диаметром  при  и . Затем

в заготовку вводят цилиндрическую оправку (рис. 19е), которая, в свою очередь, устанавливается на козлы (рис. 20и). Цилиндрическая оправка, на которой осуществляется деформация поковки, является для последней своеобразным нижним бойком. Очередную подачу под бойки заготовки выполняют путем вращения ее вокруг собственной оси на угол **** (рис. 47а,б,в).

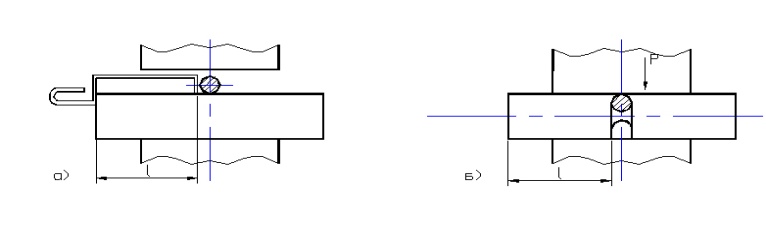
Разновидностью операции протяжки является ***биллетировка*** слитка, состоящая в обжатии его ребер и граней с целью придания поперечному сечению цилиндрической или призматической формы по всей длине. При этом степень укова обычно равна , считая по меньшему диаметру слитка *D*MIN  (рис. 48в,г). Перед биллетировкой выполняют ***отковку цапфы*** для патрона кантователя с размерами  и  (рис. 48а,б).

***Заковка концов*** пустотелой заготовки также относится к операции протяжки, а ей предшествует ступенчатая протяжка на конусной оправке предварительно прошитой заготовки (рис. 49а,б). Заковку концов выполняют с помощью вырезных (радиусных) бойков (рис. 19г) или в обжимках для круглого профиля (рис. 19л).

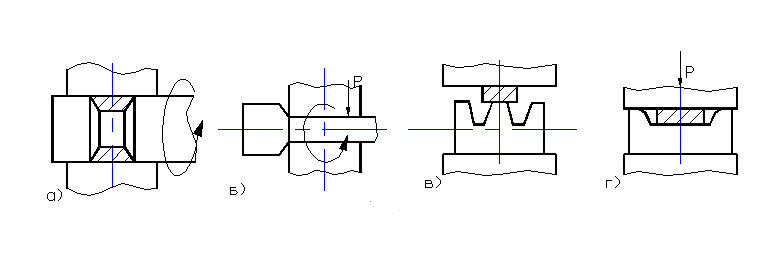
Вытяжка на ***конус и клин*** – этим разновидностям протяжки предшествует грубая проковка концевых частей заготовки на плоских бойках, после чего следует проковка подготовленных частей заготовки в конусных оправках или на клиновых подкладках (рис. 50а,б,в,г).

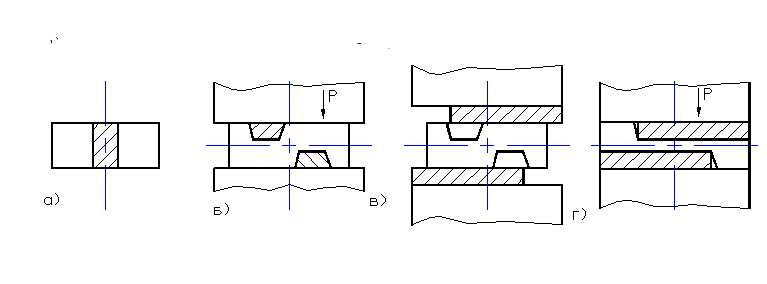
Помимо названных разновидностей протяжки в практике ковки используют еще и вспомогательные приемы и операции протяжки, к которым относятся:

***–******наметка***, предназначенная для разметки заготовки на отдельные участки по ее длине с помощью небольших круглых раскаток (рис. 51а,б);

***–******пережим*** (перебивка), предназначенный для углубления разметочных углублений до необходимой

величины с помощью пережимок (рис. 19н,о,п и рис. 52а,б);

***–***ковка ***уступов и выемок***, выполняемая осадкой части заготовки после ее пережима (рис. 53а,б,в,г);

***–******передача***, производимая для смещения по длине одной части заготовки относительно другой после ее разметки и пережимов (рис. 54а,б,в,г).

Расчетное усилие протяжки на плоских бойках может быть определено по формуле [5]:

, [10]

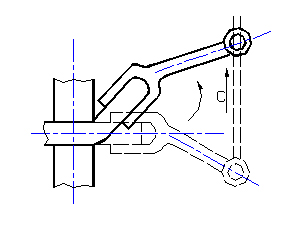
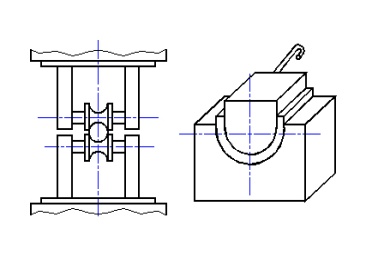
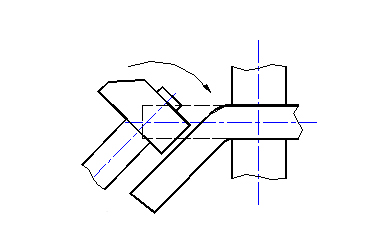
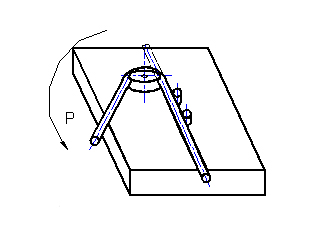
где *Р* – усилие протяжки, МН; *ψ* и *σ*Т – см. [6]; *ν* – коэффициент учитывающий форму бойков (для плоских *V=*1,0, а для вырезных *V=*1,25); *l*– подача заготовки, мм; *h*ЗАГ и *b*ЗАГ – высота и ширина заготовки, мм.

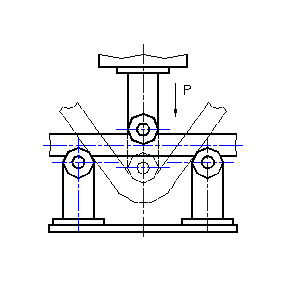
Расчетную массу падающих частей молота для протяжки определяют по формуле [5].

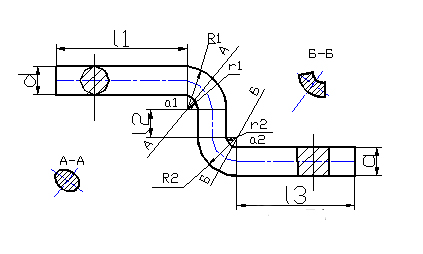
, [11]

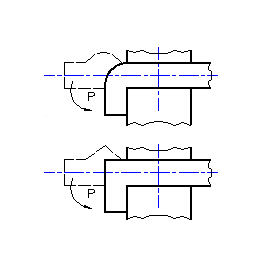
где *G* – масса падающих частей молота, *кг*;  ***–*** степень деформации металла за один удар молота; остальные обозначения см. [10].

**8.4. Гибка**

Гибкой называют операцию свободной ковки, при которой исходной заготовке придают изгиб на заданный угол и в заданном направлении. 

В качестве деформирующей силы при гибке крупных и средних поковок используют подъемную силу мостовых кранов, усилия прессов, энергию молотов, а для мелких поковок энергию удара кувалд и молотков (ручников). При гибке используют гибочные вилки (рис. 19у,ф), специальные гибочные плиты и приспособления, подкладные штампы. На рис. 55а,б,в,г,д показаны способы гибки с использованием названных рабочих инструментов.

Операции гибки сопровождаются искажением профиля поперечного сечения заготовки в месте гиба: круглое исходное сечение превращается в эллипсное, а квадратное и прямоугольное ***–***в сечение близкое к трапециевидному (рис. 56). При этом по внешнему радиусу *R* изгибаемой поковки появляется утяжина, а по внутреннему радиусу *r* – гармошка. Причины указанных дефектов объясняются тем, что при гибке внешние слои поковки растягиваются, а внутренние сжимаются. Причем эти искажения будут тем больше, чем меньше внутренний радиус *r* и больше угол гиба *α*.

Для качественного выполнения операции гибки в исходной заготовке круглого поперечного сечения в местах гиба следует предусматривать эллипсные утолщения, а в заготовках квадратного и прямоугольного сечения – гребешки (рис. 57а,б).

Общий размер заготовки для операции гибки (развертки) определяют как сумму прямолинейных и криволинейных участков, то есть (рис. 56):

, [12]

, [13]

, [14]

Значение *R* определяют по средней линии поковки, если ее внутренний радиус  или . Если значение *r* меньше указанных величин, то длины разверток гибов определяют как суммы прямолинейных участков с добавлением 1/4 толщин или диаметров заготовки на каждый угол гиба. К полученным длинам разверток обычно прибавляют до трех толщин (или диаметров) исходной заготовки на обрезку ее концов после гибки.

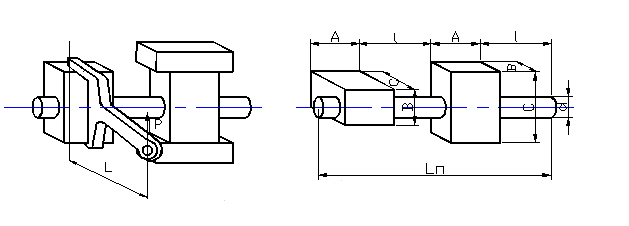
Усилие свободной гибки на один угол можно определить по формуле [7].

, [15]

где *Р* – расчетное усилие гибки, МН; *δ* и *b* – соответственно толщина и ширина изгибаемой заготовки, мм; *L* – рабочая длина гибочной вилки, мм; σВ – предел прочности материала заготовки при температуре гибки, МПа. Если гибка выполняется с помощью подъемной силы крана *G*, то в этом случае необходимо соблюдение условия .

**8.5. Закручивание**

Закручиванием (разворотом, кручением) называют операцию свободной ковки, при которой одну часть поковки разворачивают относительно другой вокруг их общей оси на заданный угол и в заданном направлении.

Оборудованием при кручении являются молоты, прессы, подъемные краны; рабочим инструментом – вилки (рис. 19у,ф); а вспомогательным инструментом ***–*** люнеты (рис. 20л), позволяющие предотвращать искривление продольной оси поковки при скручивании.

Операция закручивания (рис. 58а,б) сопровождается некоторым уменьшением длины скручиваемого участка. Поэтому место скручивания заведомо отковывают утолщенным для возможности последующей протяжки в размеры поковки. Закручиваемая поверхность не должна иметь дефектов (зажимов, заковок, трещин). В противном случае в местах дефектов концентрируются напряжения, что приводит к трещинам в поперечных сечениях скручиваемого металла. Кроме того, необходим равномерный нагрев скручиваемого объема металла до ковочных температур, так как при закручивании неравномерно прогретого металла в его поперечном сечении образуются микро- и макротрещины. После закручивания следует соблюдать режим охлаждения поковки для данной марки стали, иначе возможны искажения изделия.

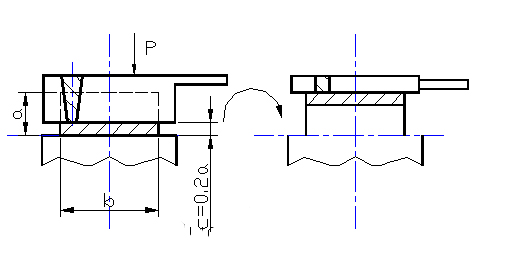
Расчетное усилие закручивания можно определить по формуле [5]:

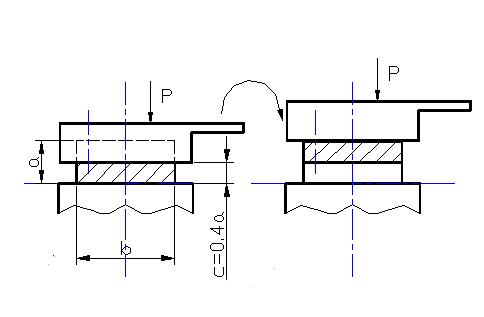
, [16]

где *Р* – усилие закручивания, МН; *d* – диаметр поковки в месте кручения, мм; α ***–*** угол поворота вилки при закручивании в градусах; остальные обозначения см. в [15]. При закручивании поковок с помощью подъемной силы крана *G* необходимо соблюдать условие .

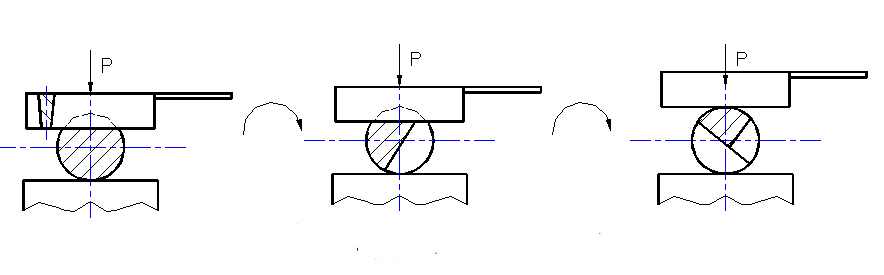
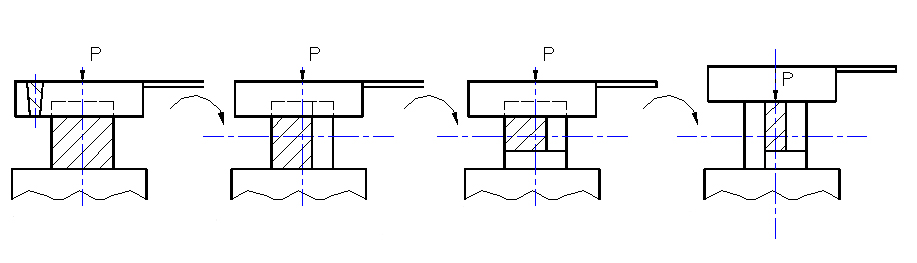
**8.6. Кузнечная рубка**

Рубкой называют операцию свободной ковки, в результате которой происходит разделение прутка на исходные заготовки, отделение откованной поковки от прутка, или отделение от поковки излишков металла.

Кузнечную рубку выполняют на прессах и молотах с использованием рабочего инструмента: бойков, топоров, просечек (рис. 19а,в,г,р,с,т). Рубка может быть осуществлена четырьмя способами:

***–***с одной стороны (рис. 59а,б), применительно к поковкам квадратного и прямоугольного сечения небольших размеров;

***–***с двух сторон с промежуточной кантовкой поковки на угол *α* =180О (рис. 60а,б), применительно к заготовкам и поковкам тех же сечений, но больших размеров;

***–***с трех сторон с промежуточными кантовками поковок на угол *α*=120О (рис. 61а,б,в), применительно к заготовкам и поковкам круглого поперечного сечения;

***–***с четырех сторон с промежуточными кантовками поковок на угол *α*=90О (рис. 62а,б,в,г), применительно к заготовкам и поковкам квадратного и прямоугольного сечения больших размеров.

Для качественного выполнения рубки необходимы:

***–*** равномерный нагрев металла по поперечному сечению до ковочных температур;

***–***соблюдение условия перпендикулярности установки топора к горизонтальной плоскости разрубаемой заготовки;

***–***обязательное выдерживание рекомендуемых недорубов металла (перемычки «С») для последующей просечки.

Кроме того, размеры рабочей части топоров (их длина и высота) должны быть несколько больше соответствующих размеров сечений разрубаемого металла.

Усилие рубки обычно не рассчитывают, так как оно значительно меньше усилий необходимых для выполнения других кузнечных операций.

**8.7. Кузнечная сварка**

Кузнечная сварка – операция свободной ковки, с помощью которой осуществляют неразъемное соединение двух и более поковок или их частей. Сварка выполняется путем совместного деформирования свариваемых частей, в результате чего возникают прочные связи между атомами соединяемых тел. Для осуществления сварки необходимо привести в действие силы сцепления, связывающие в единое целое элементарные частицы, из которых состоят свариваемые объемы металла. Силы сцепления проявляются во взаимодействии электронных оболочек атомов свариваемых тел. Поэтому в процессе сварки необходимо, во-первых, сблизить атомы свариваемых поверхностей на расстояние порядка атомного радиуса и, во-вторых, заставить взаимодействовать электронные оболочки атомов. Первое достигается интенсивной деформацией, второе обеспечивается высокой температурой нагрева, при которой электроны на электронных оболочках атомов свариваемых частей выходят из состояния устойчивого равновесия, что как раз и способствует активизации сил сцепления.

В настоящее время кузнечная сварка имеет ограниченное применение в производстве. В основном она используется при ремонте отдельных частей машин, или при изготовлении некоторых мелких поковок (звеньев цепей, соединительных колец грузоподъемных крюков и т.д.). Это объясняется появлением более производительных способов сварки, к которым относятся электросварка, газосварка, сварка трением и др.

Для качественного осуществления кузнечной сварки необходимо выполнение следующих обязательных условий.

1. Содержание углерода в металле не должно превышать 0,25%, так как при большем содержании углерода качество свариваемых соединений ухудшается, а при содержании углерода свыше 0,45% происходит резкое снижение механических свойств свариваемого металла в месте сварного шва.

2. Температура металла при кузнечной сварке должна быть на С выше верхней границы температуры ковки свариваемого металла.

3. Нижняя граница температурного интервала сварки должна быть не ниже «порога свариваемости», который определяется температурой 1100ОС.

4. Нагрев металла для операции сварки лучше выполнять в закрытых печах (камерных), так как при нагреве в открытых печах и в горнах происходит интенсивное окисление поверхностей нагреваемого металла.

5. Для предотвращения интенсивного окисления во время нагрева заготовок под сварку их рекомендуется присыпать флюсами, которые с окалиной нагреваемого металла образуют низкотемпературноплавкие шлаки, покрывающие в виде тонкой пленки нагреваемую поверхность и, таким образом, предотвращают образование окалины. После нагрева до сварочной температуры шлаковая пленка легко удаляется с нагретой поверхности металлической щеткой или легким ударом нагретой заготовки по наковальне. В качестве флюсов используют кварцевый песок SiO2 (речной), поваренную соль NaCl и буру. Безводная бура получается прокаливанием водной буры (минерала тикала – Na2⋅B4⋅O2⋅10H2O), в результате чего последняя превращается в стекловидный хрупкий порошок различных цветовых оттенков в зависимости от температуры прокаливания. В качестве флюсов используют также смесь из песка, соли и буры.

Сварку вручную с одного нагрева можно осуществить для заготовок диаметром до ∅30мм, а с двух нагревов ***–***для заготовок диаметром до ∅60мм. Сварку на молотах выполняют для прутков диаметром до ∅120мм. На прессах можно сваривать заготовки диаметром до ∅240мм.

В производственной практике различают два основных вида сварки обработкой давлением: сварку кузнечную и газопрессовую.

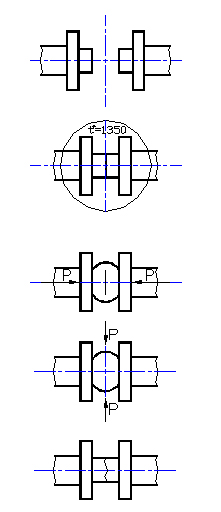
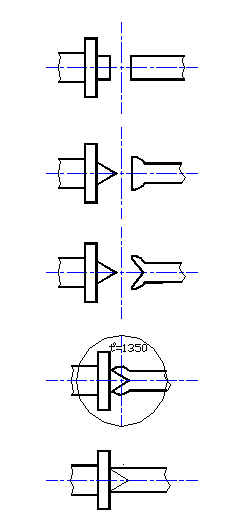
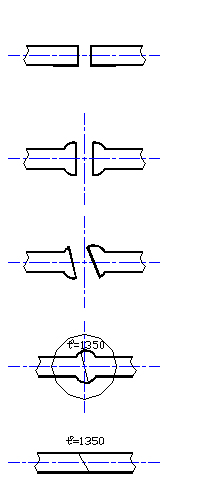
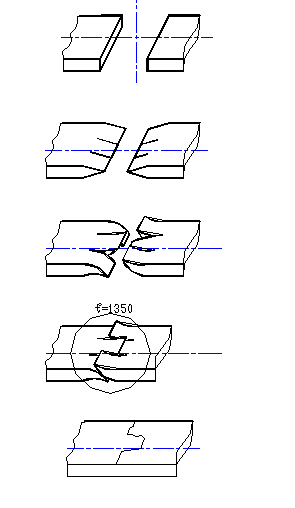
*Кузнечная сварка* может быть выполнена следующими приемами:

***–***внахлестку (внакладку), осуществляемую в случае возможности отковки (заделки) в свариваемых заготовках скосов-лацканов (рис. 63а);

***–***вразруб (в замок), осуществляемую в случае возможности откова в одной из заготовок специальной замковой части, тогда концевая часть второй заготовки оттягивается на клин (язычок), см. рис. 63б;

***–*** встык (впритык), осуществляемую в случае невозможности специальных отковок ни в одной из свариваемых заготовок (рис. 63в);

***–*** врасщеп, осуществляемую при сварке полосового материала (рис. 63г).



Кроме того, различают сварку, при которой соединение концов заготовок выполняют с помощью металлических вставок-шашек.

Из названных видов сварка внахлестку является наиболее качественной.

*Газопрессовая сварка* выполняется при постоянном газовом нагреве свариваемых частей заготовок в самом процессе сварки. Она осуществляется на прессах по схеме, показанной на рис. 63в.

Расчет усилия, обеспечивающего сварку, обычно не выполняют, но в случае необходимости оно может быть найдено по формулам для определения усилия соответствующих операций (протяжки, осадки).

**9. Разработка технологических процессов**

**ковки поковок**

При разработке техпроцессов ковки предусмотрено выполнение следующих основных этапов: выбор вида деформирующего оборудования; проектирование чертежей поковок; определение параметров заготовок; назначение температурных интервалов ковки и режимов нагрева заготовок и охлаждения поковок; выбор кузнечных операций; определение параметров деформирующего оборудования; назначение состава рабочей бригады и норм выработки ковки.

**9.1 Выбор вида деформирующего оборудования**

Выбор вида деформирующего оборудования (молотового или прессового) должен быть обязательно выполнен в качестве первого этапа разработки техпро

цесса ковки. Необходимость этого объясняется тем, что проектирование чертежей молотовых и прессовых поковок осуществляется по разным ГОСТам.

При решении настоящего вопроса необходимо учитывать следующие факторы:

* молотовая ковка характеризуется большими скоростями перемещения рабочих инструментов (≈6,5 м/сек), что в начале деформирования нагретого металла не только сохраняет температуру нагрева, но даже повышает ее; поэтому высокоуглеродистые, средне- и высоколегированные марки сталей, чувствительные к перегреву, следует обрабатывать на прессах, имеющих пониженную скорость деформирования (≈0,3÷0,5 м/сек);
* стали, обладающие низкими скоростями рекристаллизации и низкой пластичностью, также рекомендуются для прессовой обработки;
* важное значение имеют размеры поперечного сечения исходных для ковки проката и слитков: если эти размеры превышают 400×400мм, то, учитывая силовые возможности, рекомендуют ковку на прессовом оборудовании;
* в остальных случаях, принимая во внимание меньшие припуски и допуски изготавливаемых поковок при относительно пониженной трудоемкости и повышенной производительности, предпочтение отдают молотовой ковке.

**9.2 Проектирование чертежей поковок**

Проектирование чертежей поковок осуществляется на основании чертежей готовых деталей с учетом припусков на механическую обработку и допусков на изготовление поковок свободной ковкой, назначаемых по ГОСТам 7829-70 и 7062-79 соответственно для молотовой и прессовой обработки. При этом под ***припуском*** на механическую обработку понимают слой металла, после снятия которого обработкой резанием, получают требуемые чертежом чистовые размеры и шероховатость поверхности готовой детали. В размер припуска (*δ*/2) входят (рис. 64): 1 – слой окалины, 2 – слой обезуглероженного металла, 3 – слой дефектного металла с поверхностными трещинами, 4 – слой металла, необходимый по технологии механической обработки для получения соответствующей шероховатости поверхности детали (рис. 64). ***Допуском*** на изготовление поковки называют предусмотренные чертежом поковки положительные (+∆/2) и отрицательные (–∆/2) отклонения от ее номинальных размеров.

На величины припусков и допусков влияет ряд факторов, в том числе: количество отковываемых поковок, форма и размеры готовой детали, требуемая шероховатость ее поверхности, свойства исходных материалов и состояние их поверхностей, технологические возможности и состояние оборудования, квалификация кузнецов и др. В силу этого в каждом конкретном случае помимо основных могут быть назначены и дополнительные припуски и допуски, а также технологические припуски на пробы для механических испытаний, контроля макроструктуры поковок и т.д.

При разработке чертежей поковок нередко используют так называемые ***кузнечные напуски*** – слой металла, назначаемый сверх припуска для упрощения конфигурации поковки (рис. 65).

Как уже упоминалось, припуски, допуски, а вместе с ними и кузнечные напуски на поковки при их молотовой и прессовой ковке регламентированы соответственно ГОСТ 7829-70 и ГОСТ 7062-79. Они представляют собой сводные таблицы, в которых с учетом конфигурации и размеров деталей, приведены числовые значения основных и дополнительных припусков и допусков. Практическая работа с указанными таблицами затруднений не вызывает, о чем свидетельствуют приводимые ниже примеры разработки сравнительных чертежей поковок детали «брус» для молотовой и прессовой ковки (рис. 66а-д).

При разработке технологического процесса немаловажное значение придают оформлению чертежа поковки. Контур поковки следует вычерчивать контурными линиями по номинальным размерам. Габаритный контур готовой детали должен быть вписан в контур поковки тонкими линиями. Над размерными линиями проставляют номинальные размеры поковок с указанием положительных и отрицательных допусков. Под размерными линиями в скобках проставляют номинальные размеры готовых деталей. На чертеже поковки указывают места технологических проб (при необходимости таковых) и места клеймения поковок цифровыми и буквенными клеймами. Чертежами поковок оговариваются допускаемые величины углов скосов при кузнечной рубке, а также допускаемые величины утяжин, бочкообразностей, заусенцев и т.д.

По геометрическим размерам поковки определяют ее объем *V*ПОК в мм3, см3, дц3 в зависимости от величин этих размеров, а затем с учетом удельного веса стали (*g*=10-6⋅7,85 кг/мм3=10-3⋅7,85 кг/см3=7,85 кг/дц3) определяют массу поковки *G*ПОК в *кг* по формуле

 [17]

**9.3 Определение параметров заготовок**

Определение параметров заготовок для процессов ковки начинают с выбора вида исходного материала – слитка или сортового проката. Слитки выбирают при ковке крупных поковок, для изготовления которых в производственной практике нет соответствующих прутковых материалов (например, валы диаметром свыше 400 мм и массой свыше 800 *кг*; диски, бруски, цилиндры сплошные и с отверстиями массой более 200 *кг* и т.д.).

Требуемую массу слитка *G*СЛ определяют исходя из масс его прибыльной и донной частей, масс поковки, выдры, обрубок и угара по формуле [7]

, [18]

где *G*ПОК – масса поковки при ее номинальных размерах (см. выше), кг;

*G*ВЫД – масса выдры (кг), определяемая по ее объему и плотности металла;

*G*ОБР – масса обрубок (и обсечек), определяемая по их объему и плотности металла, кг;

*П* и *Д* – прибыльная и донная части слитка в долях (или в %) от общей массы слитка;

*У*% – отход металла на угар при его нагреве в % от массы нагреваемых заготовок и количества нагревов.

Перечисленные параметры нуждаются в следующих пояснениях.

Доля донной части (*Д*) обычно составляет 0,03÷0,05 для углеродистых и 0,05÷0,10 для легированных сталей.

Доля прибыльной части (*П*) составляет *П*=0,15÷0,25 для конструкционных углеродистых сталей; *П*=0,25÷0,30 для конструкционных легированных сталей в слитках, заливаемых сверху с утепленными надставками; *П*=0,35÷0,40 для слитков отливаемых без утепленных надставок. Для инструментальных легированных сталей возможны значения *П*=0,5÷0,6.

Объем выдры рассчитывают по формуле , в которой *d* – диметр прошиваемого отверстия поковки (мм); *Н* – высота поковки перед прошивкой (мм); *К* – коэффициент, учитывающий условия прошивки: *К*=0,70÷0,75 при прошивке с подкладным кольцом; *К*=0,20÷0,30 при односторонней и двухсторонней прошивке; *К*=1,1÷1,15 при прошивке пустотелым прошивнем. В по

следнем случае объем выдры определяют с учетом внутреннего диаметра прошивня.

Объемы обрубок рассчитывают по формулам [7]:

– для молотовой ковки  и ; [19]

– для прессовой ковки  и . [20]

В приведенных формулах *D* – диаметр поковки; *B* – ширина сечения (наибольшая), *H* – высота сечения поковки, мм.

Отход металла на угар *У*% определяется видом нагрева. При нагреве слитков и заготовок в печах, работающих на жидком и газообразном топливе, принимают *У*%=3÷2% за каждый нагрев (первый вынос) и *У*=1,5% за каждый подогрев (последующий вынос). При нагреве металла в электропечах (индукционных, печах сопротивления) принимают *У*%=0,5÷1%.

После определения массы слитка следует уточнить величину его большей площади поперечного сечения *F*СЛ (мм2). Это делают, исходя из площади большего поперечного сечения поковки *F*ПОК (мм2) и рекомендуемого коэффициента укова *У* по формуле [7]:

 [21].

Значение коэффициента укова для углеродистых и среднелегированных сталей обычно пронимают равными *У*ОБЩ=2,5÷4,0, а для высоколегированных сталей *У*ОБЩ=3,0÷10. При этом под *У*ОБЩ понимают произведение *У* для отдельно взятых операций, используемых для ковки данной поковки, начиная с биллетировки слитка, при которой *У*=1,15÷1,2. Таким образом:

*У*ОБЩ=*У*1⋅*У*2⋅*У*3…*Уi*.

В случае ковки поковок из проката используют одну из двух методик расчета параметров исходной заготовки:

а) если ковку выполняют операциями протяжки, то площадь поперечного сечения заготовки определяют по формуле [21], но при этом принимают *У*ОБЩ≥1,25, так как это обеспечивает измельчение выросших при нагреве зерен металла проката;

б) если ковку выполняют операциями осадки, то размеры заготовок определяют из условия равенства объемов металла поковки с учетом отходов и заготовки по следующим формулам [7]:

; , [22]

где *D*3 – диаметр заготовки, *А*3 – сторона квадрата исходной заготовки, мм;  – объем исходной заготовки с учетом угара ( значения *V*ПОК, *V*ВЫД, *V*ОБ, *У*% оговорены выше); *m* – коэффициент обозначающий величину отношения *L*3 /*D*3 или *L*3 /*A*3, принимают в пределах 2,5÷3,0 (*L*3 – длина заготовки).

После определения расчетных размеров поперечного сечения исходных заготовок (*D*3 и *A*3) выбирают их окончательные значения по ГОСТ 2590-71 (для проката круглого поперечного сечения) и по ГОСТ 2591-71 (для проката квадратного поперечного сечения) и находят величины площадей этих сечений *F*ГОСТ.

Длину исходной заготовки определяют по формуле

 [23]

Расчет масс заготовок для ковки поковок различной формы можно выполнить, используя нормативные коэффициенты выхода годного [5]:

. [24]

Величина , обратная , получила название коэффициента расхода металла. Тогда примерная масса заготовки составит

. [25]

Численные значения  устанавливают на основании статистических данных для каждого вида кузнечного производства и типа поковок.

Расход общего количества металла на изготовление поковки из слитка определяется массой выбранного слитка, а общее количество металла, расходуемое на изготовление поковки из проката, определяется нормой расхода металла и рассчитывается по формуле [10]

, [26]

где *G*3 – масса заготовки, кг;  – заготовительный коэффициент; *L*РУ – расчетная унифицированная длина прутка, мм (*L*РУ=2500÷3750мм);  – полезная длина прутка, мм;  – длина торцового обрезка прутка, мм; *d*3 – диаметр прутка заготовки, мм;  – величина некратности (мм) при резке прутка на заготовки длиной .

Экономичность процесса ковки по расходу металла может быть охарактеризована двумя показателями: упомянутым ранее коэффициентом выхода годного  и коэффициентом использования металла , где *G*ДЕТ – масса готовой детали, кг. При свободной ковке коэффициенты  и *К*ИМ всегда меньше единицы, но экономичность процесса оказывается тем выше, чем ближе эти коэффициенты оказываются к единице.

**9.4 Температурные интервалы ковки и режимы нагрева**

**заготовок и охлаждения поковок**

Назначение температурных интервалов ковки и режимов нагрева заготовок и охлаждения поковок следует выполнять по рекомендациям, приведенным в табл. 6.1 и 6.2.

**9.5 Выбор кузнечных операций**

Выбор кузнечных операций для ковки поковок целесообразнее всего производить по техпроцессам ковки аналогичных поковок в условиях данного кузнечного цеха. Если указанным способом выбор кузнечных операций почему-либо невозможен, то следует воспользоваться рекомендациями соответствующей технической литературы [1,5,7,8], основанными на промышленном опыте ковки типовых поковок, для чего следует ознакомиться с технологической классификацией поковок, состоящей из шести групп:

1-я группа – поковки валов гладких, с уступами, выемками и фланцами круглого, квадратного и прямоугольного сечения, а также плит, пластин и т.д;

2-я группа – поковки коленчатых валов различной конфигурации;

3-я группа – поковки дисков, фланцев, колес муфт с отверстиями и без них;

4-я группа – поковки бандажей, колец, обечаек, получаемых раскаткой;

5-я группа – поковки барабанов, цилиндров, полых валов и колонн, получаемых протяжкой в кругловырезных бойках на конусных оправках;

6-я группа – поковки сложной конфигурации: крюки, скобы, бугели, днища и др.

Технологические переходы ковки указанных типовых поковок представлены в табл. 9.1.

**9.6 Параметры деформирующего оборудования**

Определение параметров деформирующего оборудования для процессов свободной ковки осуществляется по соответствующим ГОСТам для ковочных молотов и прессов на основании расчетных формул для определения массы падающих частей ковочных молотов и усилия гидравлических прессов, приведенных ранее для основных операций ковки в курсе лекций.

**9.7 Назначение состава рабочей бригады и норм выработки**

Назначение состава рабочей бригады и норм выработки осуществляется на основании руководящих материалов по техническому нормированию процессов свободной ковки [7]. При этом состав кузнечной бригады определяется в зависимости от вида деформирующего оборудования и его мощности (массы падающих частей молота или пресса) по рекомендациям, приведенным в таблице 9.2.

Таблица 9.2

Рекомендуемый состав рабочей бригады для молотового оборудования

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № №  п/п | Рабочая профессия | Масса падающих частей молота, кг | | | | | |
| 50 | ….. | 1000 | ….. | 8000 | ….. |
| 1  2  3  4  5 | Кузнец  Помощник кузнеца  Подручный кузнеца  Машинист молота  Крановщик мостового крана | 1  –  1  –  – |  | 1  –  1–2  1  1 |  | 1  1  4–6  1  1–2 |  |
| Итого: | | 2 |  | 4–5 |  | 8–9 |  |

Рабочую бригаду для прессов выбирают аналогичным образом.

Нормы времени, предусматриваемые для ковки поковок, зависят от вида и мощности деформирующего оборудования, выполняемых кузнечных операций и массы поковок; их рассчитывают по формулам [7]:

, [27]

где *Т*ШТ – штучное время (мин), затрачиваемое на изготовление поковки;

*Т*ОП=*Т*ОСН+*Т*ВСП – оперативное время, мин;

*Т*ОСН – основное технологическое время (мин), в течение которого происходит технологический процесс формоизменения заготовки;

*Т*ВСП – вспомогательное время (мин), затрачиваемое рабочими на действия, обеспечивающие выполнение основной технологической работы и повторяющиеся либо при изготовлении каждой поковки, либо периодически через определенное их количество (выгрузка заготовок из печи, подача их к оборудованию, перемещение их по бойку оборудованию и т.д.);

*а*% – время технического обслуживания рабочего места (в % от *Т*ОП), затрачиваемое на уход за ковочным и нагревательным оборудованием и кузнечным инструментом (регулировка и смазка оборудования, забивка клиньев бойков, подгонка клещей по размерам заготовок и т.д.);

*б*% – время организационного обслуживания рабочего места (в % от *Т*ОП), затрачиваемое на получение рабочим инструктивных указаний, касающихся выполняемой работы, ознакомление с технологической документацией, приведение в порядок рабочего места, раскладку и уборку инструмента, уборку оборудования и т.д.;

*в*% – время (в % от *Т*ОП), затрачиваемое на перерывы, связанные с утомляемостью рабочих и на их естественные надобности.

Сумма  обычно составляет 10÷20%.

Рассчитав *Т*ШТ, можно определить норму выработки поковок рабочей бригады в смену, при продолжительности последней *Т*ШТ=420÷480 мин:

. [28]

**10. Техника безопасности.**

**Требования безопасности при работе на молотах.**

Работа на молотах, относящихся к машинам ударного действия, более опасна, чем на других видах кузнечно-штамповочного оборудования. Обеспечить работу без травм можно лишь при условии строгого выполнения всех требований безопасности, содержания оборудования в исправном состоянии, использования защитных приспособлений, правильной организации труда и соблюдения заводских инструкций.

Необходимо периодически проверять состояние клиновых креплений штампов в шаботе и бабе – они должны быть прочными и надежными. Следует каждодневно следить за исправностью сальников, не допуская утечек пара и конденсата. Горячая вода, вытекающая из уплотнителей, может вызвать сильные ожоги, поэтому набивать сальники следует только при отключенной подаче пара.

Необходимо поддерживать в требуемом надежном состоянии органы управления (даже при их небольшой неисправности возможно неожиданное падение бабы, что может вызвать очень тяжелые последствия). Как при работе, так и при техническом обслуживании молотов необходимо пользоваться специальными предохранительными приспособлениями, а также защитными ограждениями и средствами, к которым относятся: приспособления для удержания бабы в поднятом состоянии; предохранительное приспособление против выбивки верхних крышек цилиндров и повреждения сальников; всевозможные щиты и ограждения, предохраняющие окружающих от отлетающей окалины; защитные средства против теплового излучения. Все перечисленные предохранительные приспособления и защитные ограждения надлежит содержать в исправном состоянии.

Не только штамповщики, но и все находящиеся в штамповочном цехе люди должны надевать защитные противоударные каски. Кроме того, штамповщик обязательно должен быть обеспечен фартуком, бахилами, рукавицами и др.

**Требования безопасности при работе на гидравлических прессах.**

В гидравлических прессах в качестве энергоносителя используется жидкость высокого давления, поэтому все детали гидропрессовой установки, находящиеся под высоким давлением, должны подвергаться постоянному осмотру. К таким деталям относятся цилиндры пресса и мультипликатора, уплотнения, а также детали и гидросистемы – трубопроводы\* (в зависимости от значения давления и характера жидкости трубопроводы высокого давления окрашивают в красный цвет, низкого – в зеленый, воздухопроводы – в голубой, а трубопроводы смазки – в желтый), жидкостные баллоны, водо и маслораспределители. Каждая неисправность должна быть зарегистрирована в специальном журнале.

Перед началом работы следует убедиться в исправности всех клапанов управления, переводя рычаги в каждое из рабочих положений. После этого все рычаги управления ставят в исходное положение «Стоп». Работать на неисправном прессе запрещается.

Во избежание заклинивания подвижная поперечина не должна доходить до своего верхнего положения на 30-40 мм, для чего на прессе установлены специальные конечные выключатели, исправность которых проверяется перед началом работы. Нельзя допускать также перекоса поперечины, который может привести к поломке колонн или стоек. Колонны необходимо периодически смазывать; их гайки должны быть всегда затянуты.

Перед началом работы мастер получает информацию от работающих в предыдущей смене о всех возникших неисправностях, проверить записи в журнале, обеспечивает устранение дефектов. Если оборудование исправно, он знакомит членов бригады с заданием и проводит инструктаж о правилах безопасности. Во время работы мастер обязан следить за тем, чтобы все члены бригады соблюдали эти правила.

Категорически запрещается во время выполнения рабочих операций производить уборку, смазку либо ремонтные работы. Команда оператору и другим рабочим подается только бригадиром. Члены бригады обязаны неукоснительно выполнять его указания.

**Организация рабочего места и безопасность труда при ковке.**

**Организация рабочего места кузница.**

Правильная организация рабочего места является основой производительной и безопасной работы кузнецов. Важнейшим условием рациональной организации рабочего места является правильное расположение оборудования: оно должно быть установлено так, чтобы расстояние между машинами, печами и т.д. было по возможности минимальным, но в то же время достаточным для свободного и безопасного обслуживания. На рабочем месте должно находиться только то, что необходимо для работы; оно должно быть хорошо освещено, иметь надежную вентиляцию, душирующую установку, содержаться в чистоте и порядке. Рабочий инструмент и приспособления хранят на стеллажах (исправные отдельно от неисправных).

Предусматриваются средства механизации тяжелых и трудоемких процессов, облегчающие условия труда и повышающие его производительность. Кузнечные цехи при необходимости должны быть обеспечены мощными мостовыми кранами с двумя крюками (для главного и вспомогательного подъемов), поворотными кранами консольного типа, кантователями, ковочными манипуляторами и др. Рабочее место должно удовлетворять требованиям безопасности труда – над печами устанавливают вытяжные зонты, опасные места ограждают.

Перед началом работы бригадир должен принять от сменщика рабочее место чистым и в полном порядке, проверить состояние оборудования и инструмента и в случае неисправности немедленно сообщить об этом мастеру. Как правило, работающие в предыдущей смене обязаны подать заготовки к рабочему месту и загрузить их в печь с таким расчетом, чтобы к началу работы новой смены они были нагреты до ковочной температуры. Кузнец не должен уходить из цеха, не дождавшись сменщика и не передав ему рабочее место.

**Безопасность труда.**

Рабочие должны хорошо знать и строго выполнять требования, обеспечивающие безопасность труда. При ковке необходимо:

* Клещи держать сбоку от себя, а обрабатываемую заготовку зажимать плотно, для чего следует надевать на клещи предохранительное кольцо ( без кольца разрешается ковать только небольшие заготовки на молотах малой мощности);
* Во время удара молота по заготовке, подвешенной на кантователе, своевременно травить (ослаблять) цепь, чтобы удар не передавался на нее;
* Все работы при поднятой бабе молота выполнять только клещами; не вводить руки в рабочее пространство молота без закрепления бабы на подставке;
* Бригадиру подавать команду машинисту четко, коротко, громким голосом;
* Первый удар наносить легко (особенно это относится к случаям ковки с применением подкладного инструмента);
* Следить за тем, чтобы бойки были сухими;
* Ковать только нагретый до ковочной температуры металл (запрещается ковать «темный» металл, охладившийся ниже 7000С);
* При отрубке топор устанавливать строго вертикально; последние удары по топору наносить как можно легче;
* Во время отрубки стоять в стороне от торца отрубаемой заготовки, рубить только исправным топором, не пользоваться клиновидными накладками;
* Проявлять особую осторожность при использовании подкладными штампами, следить за центрированием половин штампа, устанавливать штампы строго под бойком молота.

Заключение

В предлагаемом электронном варианте курса лекций «Ковка на молотах и прессах» рассмотрены операции свободной ковки, для осуществления которых используется, в основном, универсальный рабочий кузнечный инструмент: бойки, топоры, прошивни, оправки и др. и лишь в отдельных случаях при выполнении операций осадки, протяжки и гибки, указывается на применение специального инструмента: нижняки, сподки, обжимки и др.

Вместе с тем, в последнее время все большее число поковок изготовляется ковкой с применением специальных подкладных штампов, обеспечивающих повышение точности поковок, обеспечивающих меньший расход металла, меньшую трудоемкость изготовления поковок и большую производительность труда. Это емкий и весьма интересный материал, являющийся своеобразным переходным этапом между свободной ковкой и объемной штамповкой. Изучение его требует большого времени и в данном курсе лекций этот материал не рассматривается. Желающим изучить указанный материал можно порекомендовать литературные источники: [1,2,3,5,7,8].

По ковке малопластичных и цветных металлов, которые в данном конспекте лекций также не рассматриваются, может быть рекомендована следующая литература: [5,13,15].

**Список литературы**

1. Брюханов А.Н. Ковка и объемная штамповка, М.: Машиностроение, 1975.

2. Охрименко Я.М. Технология кузнечно-штамповочного производства, М: Машиностроение, 1976.

3. Семенов Е.И. Ковка и объемная штамповка, М.: Высшая школа, 1972.

4. Шальнев В.Г. Развитие методов обработки металлов давлением, М.:

Машгиз, 1962.

5. Ковка и штамповка, Справочник в 4-х томах (под редакцией Е.И. Семенова), М.: Машиностроение, 1985-87.

6. Губкин С.И. Пластическая деформация металлов, М.: Металлургиздат, 1960-61.

7. Технологический справочник по ковке и объемной штамповке (под редакцией М.В. Сторожева), М.: Машгиз, 1959.

8. Энциклопедический справочник «Машиностроение» (под редакцией Н.И. Корнеева), М.: Машиностроение, т. 6, 1947.

9. Хржановский С.Н. Проектирование кузнечных цехов и заводов, М.: Машиностроение, 1972.

10. Ковка и объемная штамповка стали, Справочник в 2-х томах (под редакцией М.В. Сторожева), М.: Машиностроение, 1967-68.

11. Лахтин Ю.М. Основы металловедения, М.: Металлургиздат,1957.

12. Сторожев М.В., Середин П.И., Кирсанова С.Б. Технология ковки и горячей штамповки цветных металлов и сплавов, М.: Высшая школа, 1967.

13. Губкин С.И. Ковка и штамповка цветных металлов и сплавов, М.: Металлургиздат, 1940.

14. Гликин Н.М. Ковка на молотах и прессах, М.: Высшая школа, 1968.

15. Коньков А.С. Кузнечное производство, М.: Машиностроение, 1966.