



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физическое и прикладное материаловедение»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторному практикуму
по дисциплине

«Технология получения изделий в машиностроении»

Авторы
Дьяченко Л.Д.,
Бровер А.В.

Ростов-на-Дону, 2014



Аннотация

Методические указания разработаны для использования студентами при выполнении лабораторного практикума по курсу “Технология получения изделий в машиностроении” и предназначены для практического освоения теоретических представлений о технологии получения изделий методами литья, ОМД, сваркой и резанием, разработка тех. процесса получения изделий в машиностроении, а также выявление влияния способа обработки на структуру металла.

Авторы

к.т.н., доцент Дьяченко Л.Д.,

к.т.н., доцент Бровер А.В.





Оглавление

Лабораторная работа №1 ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ.....	4
Лабораторная работа №2 ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СТАЛИ ПОСЛЕ ГОРЯЧЕГО И ХОЛОДНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ.....	12
Лабораторная работа №3 РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ РЕЗАНИИ.....	17
Лабораторная работа №4 ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ НА СТРУКТУРУ СТРУЖКИ.....	26
Лабораторная работа №5 РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ДУГОВОЙ СВАРКИ.....	32
Варианты задания.....	40
Лабораторная работа №6 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ. ЖИДКОТЕКУЧЕСТЬ.....	44



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение структуры и свойств изделий, полученных методом литья, в зависимости от условий заливки и скорости затвердевания.

1 ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Литейными называются сплавы, которые обладают свойствами, позволяющими получать из них фасонные отливки сложной конфигурации. Чистые металлы имеют худшие литейные свойства, чем сплавы, и редко применяются для изготовления отливок.

Требования, предъявляемые к литейным сплавам. Литейные сплавы в жидком состоянии должны хорошо заполнять полости литейной формы и обеспечивать после затвердевания требуемые механические, физические и химические свойства, а также точные размеры и плотность отливок при наименьшем браке и низкой стоимости. Таким образом, литейные сплавы должны обладать следующими свойствами:

1. высокой жидкотекучестью;
2. небольшой усадкой;
3. незначительной способностью в жидком состоянии к поглощению газов, которые уменьшают опасность образования газовых раковин при затвердевании и способствует получению более высоких свойств после охлаждения;
4. кристаллическим строением, обеспечивающим необходимые свойства отливок после затвердевания и охлаждения;
5. незначительной ликвацией, ослабляющей различие в свойствах отдельных частей отливок;
6. наименьшей стоимостью;
7. легко обрабатываться резанием на станках и иметь способность свариваться.

Кроме того, для получения качественного изделия (детали) методом литья необходимо правильно назначить *температуру разливки* сплава, которая всегда превышает температуру его плавления, иначе сплав не будет обладать нужной жидкотекучестью. В ряде случаев повышение температуры разливки благоприятно влияет на строение сплава - уменьшаются графитовые включения в чугунах, легче выделяются неметаллические включения в сталях. Также чем сложнее отливки, меньше их размеры и чем тоньше стенки, тем более высокий перегрев должен иметь сплав при разливке его по формам.

Однако повышение температуры разливки в ряде случаев вызывает рост кристаллитов сплава и усиливает склонность к образованию различного рода дефектов.



Технология получения изделий в машиностроении

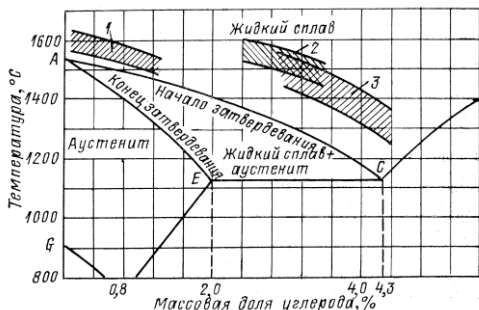


Рис.1. Температурные интервалы разливки железоуглеродистых сплавов: 1 - сталь; 2 - ковкий чугун; 3 -серый чугун

Как видно из рисунка 1, температура разливки углеродистой стали превышает на 30 -110°C температуру начала ее затвердевания. Нужно отметить, что в случае изготовления сложных тонкостенных отливок из низкоуглеродистой стали температура разливки стали может составлять 1700°C, а иногда еще выше.

Жидкотекучесть – способность сплава в жидком состоянии заполнять литейную форму и воспроизводить контуры полостей формы и стержней. Она определяется по специальным технологическим пробам, заполняемым жидким сплавом при некоторой постоянной температуре заливки. Так, жидкотекучесть стали, магниевых и других сплавов определяется по прутковой пробе, спиральной пробе трапецеидального сечения, и пробами U-образного вида. Жидкотекучесть резко уменьшается при наличии в жидком сплаве тугоплавких пленок и включений.

Усадка – общее уменьшение объема и размеров отливок при затвердевании и охлаждении. Вследствие усадки в отливках из ряда сплавов образуются полости - усадочные раковины (рис.2,а) или усадочные поры (рис.2,б).

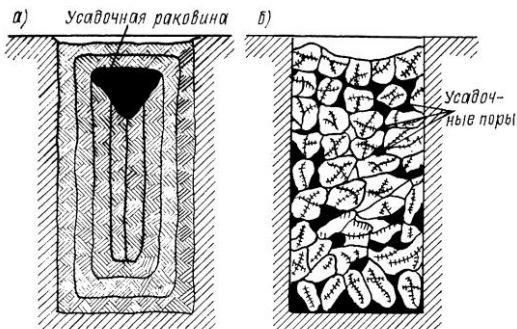


Рис.2. Схема образования в отливках усадочной раковины (а) и усадочных пор (б)

Уменьшению усадочных раковин и пор способствуют: понижение температуры и скорости заливки, увеличение скорости охлаждения отливки при ее затвердевании, меньшая толщина стенок, применение металлических форм и т.д.

В литейном производстве различают объемную и линейную усадку.

Под **объемной усадкой** подразумевают разницу между объемом жидкого сплава, заполнившего полость формы, и объемом отливки после ее полного охлаждения. **Линейной усадкой** называют разницу линейных размеров полости формы и охлажденной отливки. Для удобства усадку



Технология получения изделий в машиностроении

обычно выражают в процентах по отношению к первоначальному размеру. Можно считать, что для ряда сплавов объемная усадка приблизительно в три раза больше линейной.

Внутренние литейные напряжения вызываются в отливке затрудненной усадкой (усадочные напряжения), неодинаковым охлаждением ее отдельных частей (тепловые напряжения) и изменением кристаллического строения отливки (фазовые напряжения).

Горячие трещины образуются при высоких температурах, близких к температуре плавления, вследствие того, что сплавы отличаются при таких температурах низкими механическими свойствами. Они вызываются главным образом механическими сопротивлениями усадке, оказываемыми формой или стержнями. Трещины имеют окисленную (темную) поверхность.

Холодные трещины образуются если при усадке литейные напряжения превзойдут предел прочности сплава. Они имеют не окисленную поверхность и возникают в отливке в тем большей степени, чем выше упругие свойства сплава, чем значительнее его усадка при пониженных его температурах, чем ниже его теплопроводность и чем больше изменения объема сплава при фазовых превращениях его структуры.

2 МАКРОСТРУКТУРА ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК

В большинстве случаев лучшие свойства сплавы имеют в том случае, если их макроструктура является мелкозернистой без определенного направления осей кристаллитов (такая структура называется неориентированной) и без промежуточных пленок, ослабляющих связь между отдельными кристаллитами.

Для образования мелкозернистой структуры важно, чтобы в расплаве было много зародышей кристаллизации, которыми могут быть как отдельные кристаллы или группы кристаллов данного сплава, так и включения некоторых веществ (модификаторы). Также измельчение структуры литых сплавов может быть также достигнуто встряхиванием жидкого сплава во время его затвердевания или воздействием ультразвука.

Кроме того, большое влияние на кристаллическое строение слитков оказывают и другие факторы, в том числе температура сплава при заливке и скорость заливки, а также свойства материала формы (теплопроводность и теплостойкость), температура поверхности и т.д.

В случае заливки при высоком перегреве сплава формируется крупнозернистая структура, имеющая направленный (ориентированный) характер при затвердевании в металлической форме и неориентированный характер - при затвердевании в песчаной форме. Образование ориентированных кристаллитов в первом случае объясняется большим отводом теплоты стенками металлической формы; образующиеся при этом продолговатые кристаллиты, ось которых перпендикулярна стенкам формы, называются *столбчатями*. При сниженном перегреве жидкого сплава строение отливок получается более мелкозернистым, а столбчатый характер структуры - менее выраженным. Таким образом, понижение



Технология получения изделий в машиностроении

температуры заливки и ускорение затвердевания отливки приводят к получению более мелкозернистой структуры.

При изучении темплетов, вырезанных из полностью остывших слитков, можно обнаружить отдельные группы дендритных кристаллов (рис.3), отделенных друг от друга достаточно четкими границами, где скапливаются примеси и легкоплавкие составляющие сплава (сульфиды, фосфиды железа, марганца и т.п.).

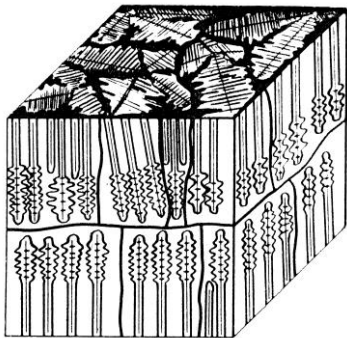


Рис.3. Схема роста поверхностных дендритов вглубь отливки

го происхождения. Поэтому литой металл, имеющий столбчатую структуру, обладает пониженной пластичностью, в связи с чем рекомендуется проводить его прокатку с пониженными степенями обжатия.

Возникновение характерных ликвационных дефектов вдоль средней плоскости (оси) слитка объясняется тем, что растущие навстречу друг другу участки фронта кристаллизации к концу процесса затвердевания сходятся под очень малым углом. Толщина твердой корки неравномерна как по периметру, так и по высоте слитка, и жидкое ядро в нескольких местах перекрывается так называемыми мостами, затрудняющими питание нижележащих объемов жидкого ядра расплавом для восполнения усадки (для стали 3,5-4%). В районе образования моста скорость перемещения жидкого металла, вызванного усадкой, резко увеличивается, что приводит к интенсификации процесса конвективной диффузии примесей. В результате объем металла, расположенный под мостом, обогащается ликвирующими элементами (в том числе сульфидами и фосфидами), а металл, входящий в зону моста, обедняется ими.

Структура моста обычно образована столбчатыми кристаллами и отличается высокой плотностью, в то время как объемы металла под мостом, характеризуются значительной рыхлостью, пористостью и скоплениями ликватов.

Если сравнивать между собой структуры отливок, имеющих различную толщину стенок, то можно установить, что более крупнозернистое строение получается в толстостенных отливках, затвердевающих медлен-

В зависимости от конфигурации дендритных кристаллов, образующих такие группы, принято различать зону столбчатых кристаллов, главные оси которых ориентированы вдоль линий стока тепла от центра к охлаждаемой поверхности слитка, и зону равноосных (слабо ориентированных) кристаллов, расположенную в центральной части слитка. Соотношение объемов слитка, занятых этими зонами, является важным показателем макроструктуры слитка. Это связано с тем, что на границе указанных зон развиваются дефекты ликвационно-усадочно-



Технология получения изделий в машиностроении

нее, чем тонкостенные отливки. При этом понижается плотность сплава и ухудшаются его механические свойства.

3 ЯВЛЕНИЯ, УХУДШАЮЩИЕ СВОЙСТВА ОТЛИВОК

К нежелательным явлениям в отливках относятся:

Неметаллические включения особенно заметно ухудшают свойства сплавов, когда они имеют остроугольную или вытянутую форму и располагаются по границам зерен в виде пленок или цепочек. Подобными включениями могут быть, например, сульфиды железа, окись алюминия и другие включения в стали и чугуна. Благоприятная форма включений - округлая, при которой влияние на свойства оказывают включения, расположенные не по границам, а внутри зерен сплава.

Удаление неметаллических включений обычно, происходит при отстаивании жидкого сплава, во время которого эти включения в большей или меньшей степени переходят в шлак. Для удаления из сплава таких включений, как окислы, в ряде случаев производится раскисление сплава элементами, имеющими большее сродство с кислородом, чем элемент, образовавший окисел, при действии которых образуются нерастворимые в сплаве соединения.

Ликвацией называется неоднородность по химическому составу как в отдельных частях отливки (зональная ликвация), так и в отдельных кристаллитах сплава (внутрикристаллитная ликвация); кроме того, она может иметь место при значительной разности плотности составляющих сплава (ликвация по плотности).

- *Зональная ликвация* для большинства сплавов является наиболее важной. Ликвация усиливается при повышенном содержании в сплаве ликвирующих примесей, а также при увеличении размеров и объема отливки, и уменьшается при понижении температуры и скорости заливки, а также при ускорении затвердевания отливок. Мелкозернистое строение сплавов в отливках благоприятно для ослабления зональной ликвации.

- *Внутрикристаллитная ликвация* в большинстве случаев играет меньшую роль, чем зональная. Она несколько усиливается при ускоренном охлаждении отливок, так как, за короткое время затвердевания состав отдельных частей кристаллитов не успевает выровняться. Этот вид ликвации может быть ослаблен путем термической обработки - гомогенизирующего отжига, состоящего из длительной выдержки отливок при высоком нагреве.

- *Ликвация по плотности* наблюдается только в некоторых сплавах, содержащих тяжелые металлы, например свинец в высокосвинцовой бронзе. Она предотвращается хорошим перемешиванием сплава перед заливкой в формы и быстрым его затвердеванием (например, центробежное литье в металлических формах).

Ликвация - крайне не желательное явление в отливках, так как она может привести к понижению их свойств и даже к разрушению отливки в ликвационных зонах.

Способность к поглощению газов. Металлы и сплавы способны поглощать значительное количество различных газов (водород, азот, кис-



Технология получения изделий в машиностроении

лород, окись углерода, уголекислоту, метан и др.), причем эти газы могут находиться в следующих состояниях:

а) в виде механических, сравнительно крупных включений, получившихся при перемешивании жидкого сплава с воздухом или другими газами;

б) в растворенном состоянии;

в) в виде химических соединений.

С понижением температуры жидкого сплава уменьшается растворимость газов и значительно увеличивается вязкость сплава, что затрудняет выделение газовых пузырьков, это является причиной образования газовых раковин. Особенно усиливается возможность образования газовых раковин при затвердевании сплава, так как в это время растворимость газов в сплаве резко падает.

4 МИКРОСТРУКТУРА СЛИТКА

Для металлических отливок и слитков характерны дендритные формы роста кристаллов, во многом определяющие показатели качества литой стали, и поэтому являющиеся одним из основных объектов исследования в теории кристаллизации слитка. Показатели морфологии дендритного кристалла (степень развития ветвей первого, второго и т.д. порядков, расстояния между ветвями, толщина ветвей), характер распределения легирующих элементов и неметаллических включений в пространстве, занятым дендритным кристаллом - это основные показатели микроструктуры слитка.

На рисунке 4 показаны три наиболее часто встречающиеся формы дендритных кристаллов.

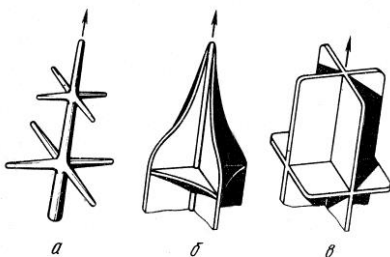


Рис.4. Схемы дендритного(а), дендритно-ячеистого(б), и ячеистого(в) роста древовидных кристаллов в расплаве

Величина скоплений неметаллических включений тесно связана с типом и размером дендритной ячейки, т.е. пространством между соседними ветвями дендритов (межосными промежутками). Чем больше межосные промежутки, тем, как правило, более крупными оказываются скопления неметаллических включений в полностью затвердевшем слитке. Между тем, именно такие скопления неметаллических включений оказываются ответственными за возникновение

в прокате дефекта типа "расслой". В связи с этим необходимо стремиться к возможно более тонкодисперсной микроструктуре литой стали, показатели которой зависят, главным образом, от локальной скорости охлаждения (или скорости затвердевания расплава).

Выделяют следующие особенности роста дендритных кристаллов: дендритный рост наблюдается только тогда, когда расплав переохла-



Технология получения изделий в машиностроении

жден; рост дендритных ветвей всегда происходит в определенных кристаллографических направлениях; ветвление происходит приблизительно через одинаковые промежутки времени, которые, однако, становятся все короче с повышением порядка ветвей; дендритно отвердевает лишь небольшая доля расплава. Длина дендритных ветвей первого порядка обычно намного превышает их условный диаметр, величина которого колеблется в очень узких пределах по всей длине первичной оси.

Ветви второго и третьего порядков обычно много короче первичной, но и для них характерно сравнительно малое изменение условного диаметра или толщины пластины.

Главные стволы дендритов (оси первого порядка) расположены строго вдоль линии стока тепла, а в поперечном сечении имеют крестообразную форму и расположены рядами. При этом ветви дендритов одного ряда размещаются в промежутках между ветвями дендритов соседнего ряда, в шахматном порядке, как показано на рисунке 5. Вторичные ветви дендритов расположены перпендикулярно к осям первого порядка.

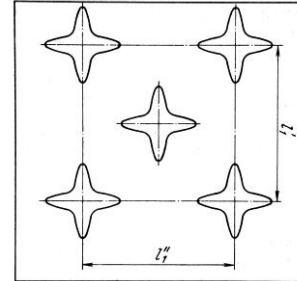


Рис.5. Схема взаимного расположения дендритных осей первого порядка

Расстояния между ветвями дендритов одного порядка обозначается l_x (x – номер порядка). Параметр l_2 отождествляют с размером дендритной ячейки, который определяет степень дисперсности легкоплавких неметаллических включений (в частности, сульфидов в стали), поэтому является одним из важнейших показателей кристаллической структуры слитка. Расстояния между ветвями дендритов l_1 и l_2 характеризуют "пористость" двухфазной зоны и тем самым определяют скорость фильтрации расплава в этой зоне.

Зона равноосных кристаллов занимает значительную часть слитка и особенно распространена в его центре. Развитие зоны равноосных кристаллов в стальном слитке сопровождается более равномерным распределением легкоплавких составляющих сплава по сравнению со случаем сильно развитой столбчатой структуры слитка.

Затвердевание слитков протекает последовательно, в направлении от охлаждаемой поверхности к его термическому центру. Соответственно, и очаги усадки металла возникают прежде всего на периферии зоны столбчатых кристаллов и далее последовательно перемещаются к центру слитка.

Если каналы между стволами дендритов достаточно широки, то восполнение усадки осуществляется путем притока жидкого металла к очагам усадки в направлении, противоположном направлению роста кристаллов. Если же переплетение дендритных ветвей создает достаточно высокое гидродинамическое со-



Технология получения изделий в машиностроении

плава через сетку дендритных ветвей (фильтрация) осуществляется с меньшей скоростью, чем это требуется для восполнения усадки. Так создаются условия, для образования пористости в зоне усадки затвердевающего сплава.

Другими причинами, вызывающими перемещение жидких масс в дендритной сетке являются газовыделение в затвердевающих отливках и капиллярное давление.

5 МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- Уяснить цель работы.
- Изучить сущность получения изделий (деталей) методом литья.
- Оцените факторы, влияющие на формирования структуры литых изделий.
 - Провести сравнительный микроструктурный анализ литых образцов из различных сплавов с выявлением характерных литейных дефектов.
 - Изобразить схемы микроструктур (таблица 1).
 - Составить отчет о работе.

Таблица 1

№	<i>Материал</i>	Схема микроструктуры	Примечания
1.			
2...			

6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- Цель работы.
- Определение литейных показателей изделия (детали).
- Схемы микроструктур литейных заготовок из различных сечений литниковой системы.
 - Схематичное изображение встречаемых литейных дефектов.
 - Выводы по работе.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СТАЛИ ПОСЛЕ ГОРЯЧЕГО И ХОЛОДНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Изучение микроструктуры и свойств металлов после горячего и холодного деформирования.

1 ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

При обработке металлов давлением (ОМД) получают полуфабрикаты и изделия пластическим деформированием исходной заготовки без снятия стружки. Этот процесс отличается большей экономичностью, высоким выходом годного и значительной производительностью.

Холодная обработка давлением осуществляется без нагрева или с нагревом до температур, лежащих ниже температуры рекристаллизации. Эта обработка характеризуется изменением формы зерен, которые вытягиваются в направлении наиболее интенсивного течения металла (рисунок 1), что сопровождается изменением механических и физико-химических свойств металла. Это явление называют наклепом (упрочнением).

Наклеп вызывает увеличение твердости металла, пределов прочности и текучести (нагартовку) и резкое снижение его пластичности (охрупчивание). Причем, чем выше степень деформации, тем более искаженной становится структура (рисунок 1) и тем больше наклеп.

Однако, с увеличением степени пластической деформации предел текучести возрастает быстрее, чем временное сопротивление; при этом процесс упрочнения наиболее интенсивно протекает при степени деформации примерно до 30%. При степени деформации 80-90% пластичность металла снижается настолько, что дальнейшая обработка давлением становится затруднительной и может привести к разрушению.

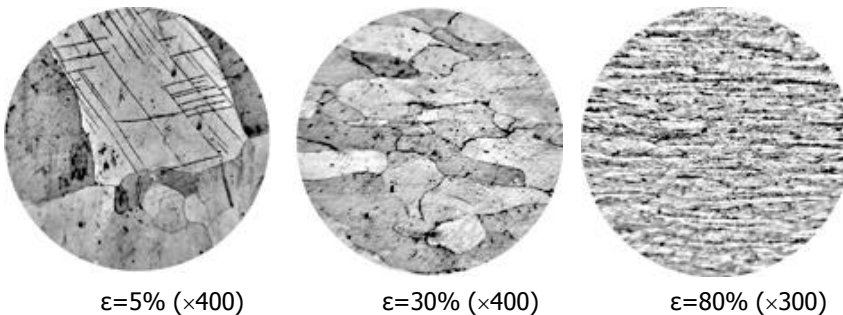


Рис.1. Микроструктура стали 05 после холодной обработки давлением с различной степенью деформации

Свойства наклепанного металла восстанавливаются термообработкой - рекристаллизационным отжигом, при котором снижается плотность



Технология получения изделий в машиностроении

дислокаций и металл восстанавливает свою пластичность и остальные начальные свойства. Рекристаллизационный отжиг осуществляется путем нагрева холоднодеформированного металла до температур выше температурного порога рекристаллизации $T_{РЕК}$. Для технически чистых металлов $T_{РЕК} \geq 0,4T_{пл}(K)$.

При образовании крупных зерен в процессе рекристаллизации прочность и в особенности пластичность металла снижаются (металл охрупчивается). Величина зерна зависит от многих факторов: степени пластической деформации, температуры, продолжительности нагрева и т.д. Степень деформации, при которой происходит максимальный рост зерна металла, называют критической. Так, например, для низкоуглеродистой стали она составляет 5-15%.

Горячая обработка давлением осуществляется с предварительным нагревом металла до температур, лежащих выше температур рекристаллизации. При таком виде деформирования упрочнение если и произойдет, то мгновенно снимается самопроизвольно протекающим процессом рекристаллизации с образованием равноосной структуры.

Горячая обработка давлением приводит к протеканию процессов динамической полигонизации и рекристаллизации, и следов упрочнения не наблюдается. Однако, конечный размер зерна также зависит от степени пластической деформации (рисунок 2).

Деформирование литой структуры приводит к дроблению кристаллитов и вытягиванию их в направлении наиболее интенсивного течения металла. Одновременно происходит и вытягивание в том же направлении межкристаллитных прослоек, содержащих неметаллические включения (сульфиды, силикаты).

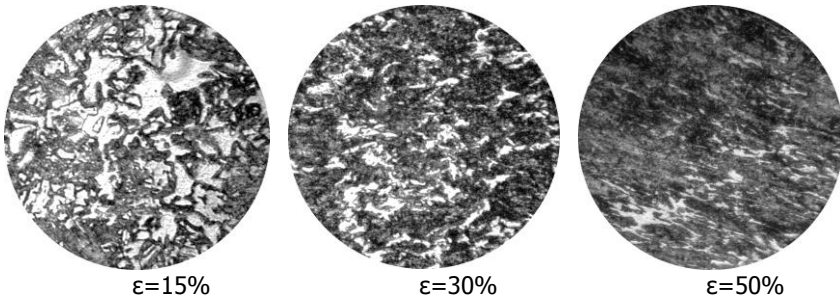


Рис.2. Микроструктура стали 45 после горячей обработки давлением с различной степенью деформации ($\times 400$)

При достаточно большой степени деформации неметаллические включения принимают форму прядей вытянутых в направлении интенсивного течения металла, образуя полосчатость макроструктуры (полосчатости микроструктуры при этом не наблюдается). Вытянутые оси и междендритные участки объема образуют совокупности параллельных волокон, которая явно просматривается на протравленном макрошлифе (рисунок 3).



Технология получения изделий в машиностроении

Полосчатость макроструктуры приводит к анизотропии металла. Показатели пластичности (предел текучести и удлинение) вдоль и поперек волокон значительно отличаются, причем разница их значений возрастает с увеличением степени деформации.

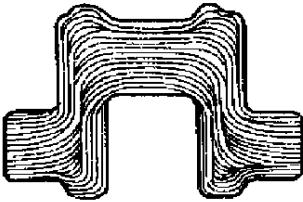


Рис.3. Волокнистое строение детали после горячей деформации

В направлениях наибольших нормальных напряжений в условиях работы детали, то есть, чтобы волокна следовали конфигурации изделия и не пересекались.

При горячей деформации пластические свойства металла выше, а сопротивление деформации ниже, чем при холодной деформации, поэтому горячая обработка давлением сопровождается меньшими затратами энергии, чем холодная. Вследствие этого холодную деформацию заменяют только в том случае, если горячая неприменима.

Нагрев металла при обработке давлением влияет на качество и стоимость продукции. Основные требования при нагреве металла: необходим равномерный прогрев слитка или заготовки по сечению и длине до соответствующей температуры за минимальное время с наименьшей потерей металла в окалину и экономным расходом топлива. Неправильный нагрев металла вызывает различные дефекты: трещины, обезуглероживание, повышенное окисление, перегрев и пережог.

Температуру начала и конца горячего деформирования опре-

деляют в зависимости от температуры плавления и рекристаллизации, т.е. начальная температура должна быть ниже температуры плавления, а конечная – выше температуры рекристаллизации. Так, например, для углеродистой стали температуру начала горячего деформирования выбирают по диаграмме – состояния железо-углерод (рисунок 4) на 100-200°C ниже температуры начала плавления стали заданного химического состава, а температуру конца деформирования углеродистых ста-

Прочностные характеристики металла вдоль и поперек волокон отличаются незначительно, а увеличение степени деформации на их величине практически не сказывается. Поэтому при горячей обработке металлов давлением стремятся вести процесс деформирования таким образом, чтобы волокна макроструктуры были расположены в на-

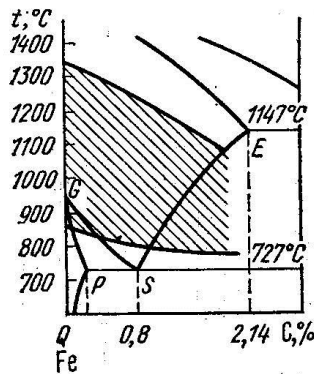


Рис.4. Температурный интервалковки углеродистой стали



Технология получения изделий в машиностроении

лей принимают на 50-100°C выше температуры рекристаллизации или определяют по эмпирической формуле $t \times R = 100 \times (9,1 \div 1,1 C)^\circ\text{C}$, где C - содержание углерода в процентах.

Для качества изделий, получаемых горячей обработкой давлением, имеет существенное значение не только режим нагрева, но режим охлаждения. Слишком быстрое и неравномерное охлаждение может привести к образованию трещин или, наоборот, к короблению вследствие термических напряжений. Чем меньше теплопроводность стали и чем массивнее и сложнее конфигурация изделия, тем медленнее должно быть охлаждение.

Штампуемость - это способность материала в холодном или горячем состоянии принимать требуемую форму в процессе деформирования. При материал не должен образовывать разрывов, складок и гофров и других дефектов на поверхности детали. Готовая деталь после извлечения из штампа не должна производить значительных упругих перемещений в результате подпружинивания.

На штампуемость оказывают большое влияние величина зерна и его однородность. Неоднородность зерна вызывает неравномерную деформацию объема металла и является причиной разрывов при обработке. Рекомендуемая величина зерна 0,026-0,057 мкм.

Кроме того, на поведение сплава при пластической деформации оказывает его состав. Для понимания подобных различий используют коэффициенты пластической анизотропии R , дающие информацию о способности материала деформироваться в заданном направлении за счет вытяжки, в противоположность утонению. Низкие R -коэффициенты (порядка 0,7), характерные для алюминиевых сплавов, указывают на склонность к избыточному утонению и разрывам, то есть к низкой штампуемости. $R=1$ более характерен для горячекатаных и высокопрочных сталей. Наконец, высокие значения $R=2$ достигаются для холоднокатаных низкоуглеродистых сталей для глубокой вытяжки.

2 МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- Уяснить цель работы.
- Изучить сущность объемного деформирования в холодном и горячем состоянии.
- Выполнить операцию обработки давлением в горячем состоянии (свободнойковки) применительно к заготовке из углеродистой стали, со степенью деформации $\varepsilon=15$, $\varepsilon=30$, $\varepsilon=50\%$
- Выполнить измерения твердости (HRC) исходного образца, и образцов, деформированных в холодном и горячем состоянии. Полученные данные занести в таблицу 1.

Таблица 1

№	Материал, марка	Темпер. интервал деформирования, С°	ε , %	HR C	Схема микро- и макроструктуры



Технология получения изделий в машиностроении

1.	Сталь45	исх., отож.	0		
2.	Сталь45	1200-900	15		
3.	Сталь45	1200-900	50		
4.	Сталь45	18 - 25	15		
5.	Сталь45	18 - 25	50		

- По полученным данным построить зависимость твердости от степени деформации.

- Провести сравнительный микроструктурный анализ образцов из углеродистой стали до деформирования, после холодной и горячей деформации, проводимой с различной степенью, пользуясь рис.1 и 2.

- Изобразить схемы структур в соответствующей графе таблицы 1.
- Составить отчет о работе.

3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- Цель работы.
- Определения холодной и горячей обработки давлением.
- Схемы микроструктур после холодной и горячей деформации (таблица1).

- Схема температурного интервалаковки.
- Краткое описание процесса свободнойковки.
- Зависимость твердости от степени деформации.
- Выводы по работе.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ РЕЗАНИИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Ознакомление с методикой расчета и уточнения отдельных элементов технологического процесса механической обработки на примерах точения и сверления.

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Обработка резанием - это процесс срезания режущим инструментом с поверхности заготовки слоя металла для получения требуемой геометрической формы, точности размеров и шероховатости поверхности. В большинстве случаев обработка, резанием является заключительной операцией изготовления деталей.

Все виды обработки материалов резанием осуществляются на соответствующем типе металлорежущих станков и предусматривают наличие системы: станок- приспособление- инструмент- деталь (СПИД). Приспособление - это устройство, в котором ориентируется и закрепляется заготовка. От жёсткости этой системы зависит точность обработки.

Для осуществления процесса резания необходимо, чтобы заготовка и режущий инструмент осуществляли относительно друг друга следующие движения.

Движение резания – это движение, при котором с обрабатываемой заготовки срезается слой материала. Движение резания подразделяются на главное рабочее движение и движение подачи.

Главным рабочим движением называется движение, которое определяет скорость отделения стружки. Оно оценивается скоростью резания V и измеряется для всех видов обработки в (м/мин), а для шлифования и полирования в (м/с); может сообщаться как заготовке (точение), так и инструменту (фрезерование).

Движением подачи называется движение, обеспечивающее непрерывное врезание режущего лезвия инструмента в новые слои обрабатываемого материала. На схемах обработки резанием движение подачи обозначается S и также может совершаться как инструментом (точение), так и заготовкой (фрезерование).

Установочные движения (S_t) обеспечивают такое положение инструмента относительно заготовки, когда в определенный момент времени срезается необходимый слой материала. К ним относят установку инструмента или заготовки на глубину резания, подвод и отвод суппорта и т.д.

Вспомогательные движения – это такие движения рабочих органов станка, которые не имеют непосредственного отношения к процессу резания и служат для транспортировки и закрепления заготовки и инструмента, быстрого перемещения рабочих органов, переключения скоростей резания и подачи.

При обработке металлов ре- занием изделие получается в ре-



Технология получения изделий в машиностроении

зультате срезания с заготовки слоя припуска, который удаляется в виде стружки.

Припуск – это слой материала, срезаемый с заготовки в процессе механической обработки. Припуски бывают односторонними (обработка одного торца) и двусторонними, симметричными (обработка двух торцов, цилиндрических поверхностей т.п.). Величина припуска и размеры детали по чертежу необходимы для расчета размера заготовки по формуле:

$$D = d + 2 \cdot z, \quad (1)$$

где D и d – диаметры заготовки и детали, мм;

z – величина припуска, в мм

При несимметричном припуске в формуле (1) отсутствует цифра 2.

Элементы технологического процесса, изучаемые в данном задании, предусматривают расчет припуска на токарную и сверлильную обработку, выбор технологического маршрута (последовательность обработки отдельных поверхностей заготовки) и назначение режимов резания на универсальных токарно-винторезных станках.

Точение – метод обработки металлов резанием, при котором заготовке сообщается вращательное главное движение, а инструменту движение подачи.

Основным инструментом для токарных работ являются токарные резцы. В зависимости от рода выполняемой работы они делятся на *проходные прямые* и *отогнутые* для обработки наружных цилиндрических поверхностей (рис.1, а и б); *проходные упорные* для обработки цилиндрических поверхностей и торцовых поверхностей, расположенных перпендику-

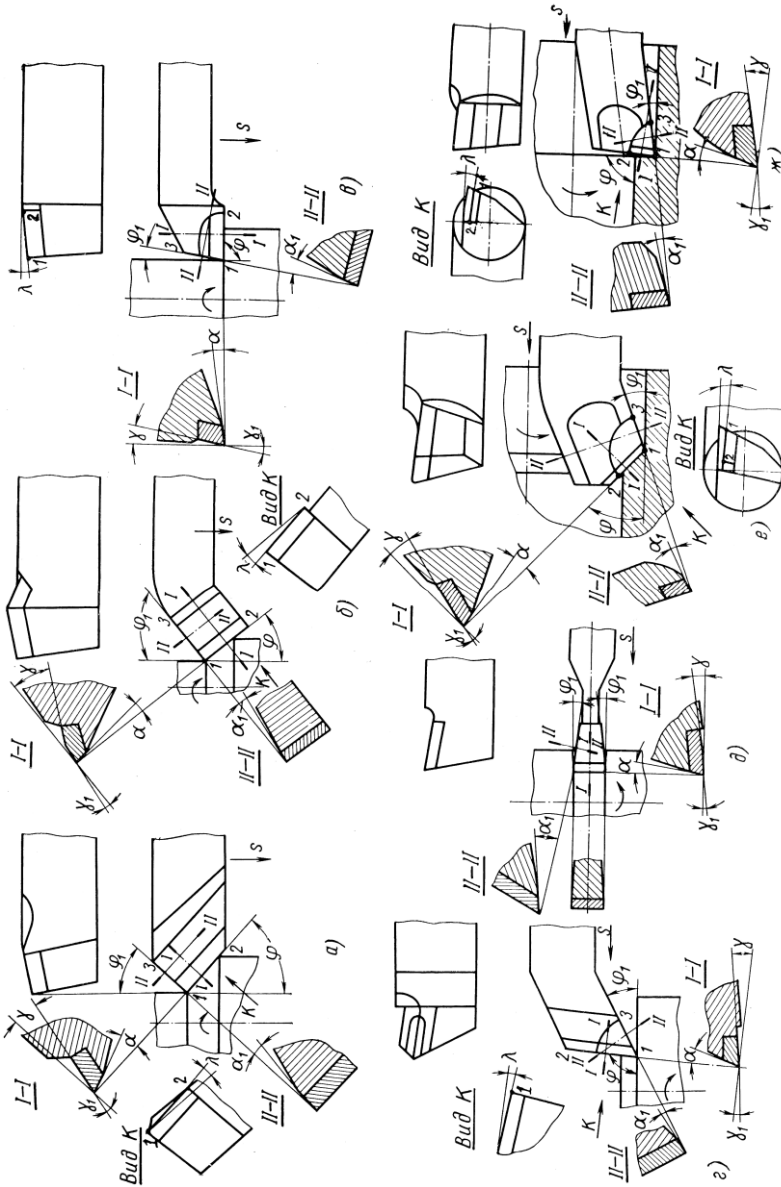


Рис.1. Основные виды токарных резцов.

лярно оси вращения заготовки (рис.1, в); *подрезные* для обработки поверхностей в направлении, перпендикулярном к оси вращения заготовки (рис.1, г); *отрезные* для отрезки заготовки или детали (рис.1, д); *расточные* для обработки отверстий (рис.1, е и ж).

Основным свойством инструментального материала является



Технология получения изделий в машиностроении

красностойкость - способность сохранять режущие свойства при длительном повышении температуры в процессе резания. В соответствии с этими требованиями для изготовления токарных резцов применяются следующие материалы: быстрорежущие стали (P18, P6M5 и другие), твердые сплавы (BK8, T15K6, TT7K12 и другие марки).

По характеру обработки различают резцы черновые, получистовые и чистовые, которые отличаются друг от друга величиной радиуса (r , мм) при вершине резца (табл.3 и 5).

На токарных станках возможна обработка отверстий осевым инструментом - сверлами, зенкерами, развертками (рис.2, 3).

Сверление (рис.2,а) – распространенный метод получения отверстий в сплошном металле. Сверлением получают сквозные и глухие отверстия. На токарных станках оно осуществляется при сочетании вращательного движения заготовки вокруг оси и поступательного движения инструмента. Скорость резания в этом случае определяет вращение заготовки. Движение подачи осуществляет инструмент.

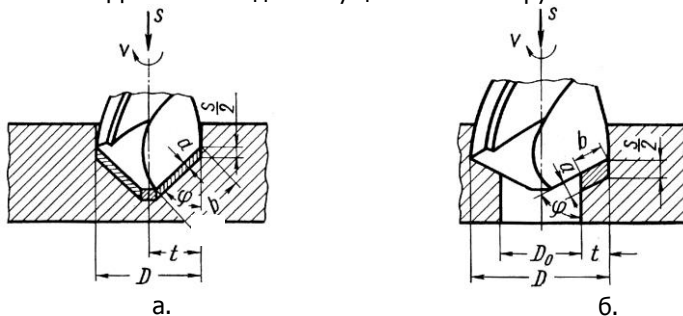


Рис.2. Схема резания при сверлении (а) и рассверливании (б)

Рассверливание (рис.2,б) - процесс увеличения диаметра ранее просверленного отверстия сверлом большого диаметра.

Зенкерование (рис.3,а) - обработка предварительно полученных отверстий для придания им более правильной геометрической формы, повышения точности и снижения шероховатости поверхности. Применяется многолезвийный режущий инструмент - зенкер, который имеет 3-4 режущих лезвия, столько же направляющих поверхностей.



Технология получения изделий в машиностроении

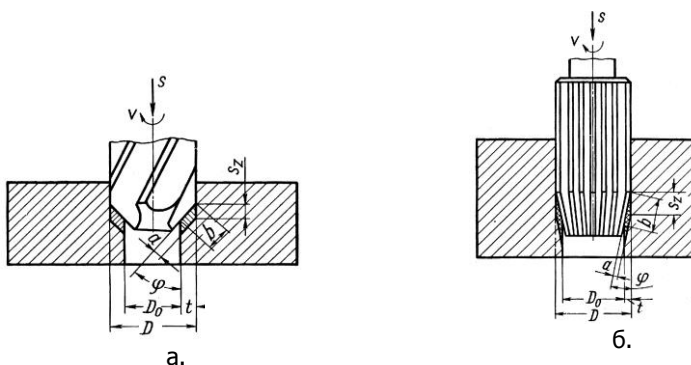


Рис.3. Схема резания при зенкеровании (а) и развертывании (б)

Развертывание (рис.3,б) - окончательная обработка отверстий, в целях получения высокой точности отверстий и малой шероховатости поверхности (обычно после зенкерования). Развертки имеют 6-12 главных режущих кромок, калибрующая часть имеет столько же направляющих.

Геометрия токарных резцов оказывает существенное влияние на процесс резания и качество обрабатываемой поверхности. У токарного резца различают углы в плане и углы в главной секущей плоскости.

Углы в плане (рис.1;табл.3):

φ - главный угол в плане;

φ_1 - вспомогательный угол в плане;

ε - угол при вершине резца

$$\varphi + \varphi_1 + \varepsilon = 180^\circ$$

Углы в главной плоскости А-А (рис.1, табл.3)

a – задний угол, β – угол заострения,

γ – передний угол, δ – угол резания

$$a + \beta + \gamma = 90^\circ; a + \beta = \delta$$

Расчет режима резания предусматривает определение: *глубины резания* – t , *подачи* – S и *скорости резания* – V .

Скорость резания оказывает наибольшее влияние на стойкость инструмента, поэтому её выбирают последней и такой, чтобы стойкость инструмента была близка к оптимальной.

Стойкостью инструмента (T , мин) называется время непрерывной работы инструмента при постоянных режимах резания между двумя переточками (табл.4).

Выбор режима резания производится в следующей последовательности. После того как определены оптимальная геометрия инструмента и его материал, выбирают режим, резания таким образом, чтобы наиболее полно использовать режущие свойства инструмента и возможности металлорежущего станка.

Глубина резания задается в начале, при этом стремятся снять при-



Технология получения изделий в машиностроении

пуск на обработку за один проход, оставляя лишь небольшую часть для её последующей обработки.

Подача выбирается далее, также стремясь принять её возможно большей с учётом технологических ограничений.

Скорость резания. Далее, при принятых глубине резания и подаче, заданной стойкости инструмента и прочих условиях резания, определяют скорость резания по формуле (2).

2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

1. Ознакомиться с первой частью методического руководства.
2. Получить индивидуальное задание (по вариантам).
3. Начертить эскиз детали с указанием материала.
4. Определить маршрут технологического процесса обработки детали.
5. Найти величину припуска на обработку и определить размеры заготовки (по таблице 2 и формуле 1).
6. Выбрать тип, материал и геометрические характеристики режущих инструментов (таблица 3).
7. Задаться периодом стойкости режущих инструментов (таблица 4).
8. Выбрать глубину резания (при отсутствии дополнительных ограничений, глубина резания t принимается равной припуску).
9. Исходя из чертежа детали, условий обработки, геометрии инструмента, материале и т.д. по таблице 5 выбрать подачу S .
10. Уточнить величину подачи по паспорту станка, приняв окончательно ближайшее к расчетным значение (таблица 6).

11. Рассчитать скорость резания по формуле:

$$\text{для точения: } V = C_v / t^{xv} \cdot S^{yv} \cdot T^m \quad (\text{м/мин}) \quad (2)$$

$$\text{для сверления: } V = C_v \cdot D^{zv} / t^{xv} \cdot S^{yv} \cdot K^v \quad (\text{м/мин}), \quad (3)$$

где D^{zv} – диаметр инструмента,

K^v – поправочный коэффициент (принять равным 1).

12. Рассчитать частоту вращения по формуле:

$$n = 1000 V / \pi \cdot D \quad (\text{мин}^{-1}), \quad (4)$$

где V – скорость резания в м/мин;

D – диаметр заготовки при точении или инструмента при фрезеровании и сверлении в мм.

1. Уточнить полученную по формуле (4) величину по паспорту станка, приняв ближайшее к ней значение $n_{ст}$ (таблица 8).
2. Найти фактическую скорость резания по формуле:

$$V_{\phi} = (n \cdot D \cdot n_{ст}) / 1000 \quad (\text{м/мин}) \quad (5)$$

3. Рассчитать тангенциальную составляющую усилия резания по формулам для точения (таблица 7):

$$P_z = C_p t^{xp} \cdot S^{yp} \cdot V^{np} \quad (\text{Н}) \quad (6)$$

4. Рассчитать мощность станка по формулам для точения:

$$N = (P_z \cdot V) / 1040 \cdot 60 \cdot \eta \quad (\text{кВт}), \quad (7)$$

где η – коэффициент полезного действия передач станка, равный 0,7...0,9



Таблица 1

Индивидуальные задания

№	Эскиз детали, №	Марка материала	Размер, $\varnothing d$, мм
1.	1	Сталь10	20
2.	2	Сталь10	25
3.	3	Латунь Л62	30
4.	4	Латунь Л62	35
5.	1	Латунь Л62	15
6.	2	Латунь Л62	20
7.	3	Сталь10	25
8.	4	Сталь10	30
9.	1	Сталь10	25
10.	2	Сталь10	30
11.	3	Латунь Л62	25
12.	4	Латунь Л62	20
13.	1	Латунь Л62	30
14.	2	Латунь Л62	30
15.	3	Сталь10	20
16.	4	Сталь10	30
17.	1	Сталь10	35
18.	2	Сталь10	20
19.	3	Латунь Л62	35
20.	4	Латунь Л62	25

Таблица 2

Рекомендуемые значения припусков на механическую обработку

№	Вид обработки	Обрабатываемая поверхность	Размер обраб. поверхности, мм	Припуск на сторону, z , мм
1.	Точение	цилиндрич.	10...50	1,0-1,5
2.	Точение	торцевая	10...50	1,5
3.	Сверление	любая	10...50	0,5 D

Таблица 3

Материал и геометрия проходных отогнутых резцов

№	Обраб. материал	Марка инстр. материала	φ	φ_1	γ	α	r
1.	ЛатуньЛ62	P18	90°	10..45°	5...15°	8..12°	0,5..0,2
2.	Сталь 10	T15K16	90°	15..45°	-5°...	5..12°	0,5..0,2

Таблица 4

Рекомендуемые периоды стойкости режущего инструмента

№	Обраб. материал	Тип инструмента	Марка инстр. материала	Тип, размер, мм	Стойкость, T , мин
---	-----------------	-----------------	------------------------	-----------------	----------------------



Технология получения изделий в машиностроении

1.	Латунь Л62	резцы	P18	проходн.	30...60
2.	Сталь 10	резцы	T15K16	подрзн.	60...90
3.	Сталь 10	сверла	P6M5	5	15
4.	Сталь 10	сверла	P6M5	10	25
5.	Сталь 10	сверла	P6M5	20	45
6.	Латунь Л62	сверла	P6M5	5	20
7.	Латунь Л62	сверла	P6M5	10	35
8.	Латунь Л62	сверла	P6M5	20	60
9.	Сталь 10	сверла	T15K6	10	40

Таблица 5

Рекомендуемые подачи при точении

№	Обраб. материал	Шероховатость поверхности R_a , мкм	Радиус при вершине резца, r , мм		
			0,5	1,0	2,0
			подача, S , мм/об.		
1.	Сталь10	10	0,30...0,50	0,45...0,60	0,55...0,70
2.	Латунь Л62	10	0,25...0,40	0,40...0,50	0,50...0,60
3.	Сталь10	5	0,18...0,25	0,25...0,30	0,30...0,40
4.	Латунь Л62	5	0,15...0,25	0,25...0,40	0,40...0,60
5.	Сталь10	2,5	0,10...0,11	0,11...0,16	0,15...0,25
6.	Латунь Л62	2,5	0,10...0,15	0,15...0,20	0,20...0,35

Таблица 6

Коэффициенты для расчета скорости резания при точении

№	Марка инстр. материала	Обраб. материал	Подача, S , мм/об	C_v	x_v	y_v	m
1.	P18	Латунь Л62	$\leq 0,2$	270	0,12	0,25	0,23
2.	P18	Латунь Л62	$> 0,2$	182	0,12	0,50	0,23
3.	T15K6	Сталь10	0,3	420	0,15	0,20	0,20
4.	T15K6	Сталь10	0,7	350	0,15	0,35	0,20

Таблица 7

Коэффициенты для расчета усилия резания (Н) при точении

№	Марка инстр. материала	Обраб. материал	C_p	x_p	y_p	η_p
1.	P18	Латунь Л62	589,5	1,0	0,66	0
2.	T15K6	Сталь 10	294,3	1,0	0,75	-0,15



Таблица 8

Основные паспортные данные токарно-винторезного станка

№	Параметр	Величина
1.	Частота вращения шпинделя $n_{ст}$ мин ⁻¹	100; 160; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3150; 4000; 5000
2.	Продольная подача суппорта, $S_{ст}$ мм/об.	0,025; 0,03; 0,04; 0,05; 0,063; 0,08; 0,10; 0,125; 0,2; 0,25; 0,315; 0,40; 0,50; 0,63; 0,8; 1,0
3.	Мощность электродвигателя, $N_{ст}$ кВт	10

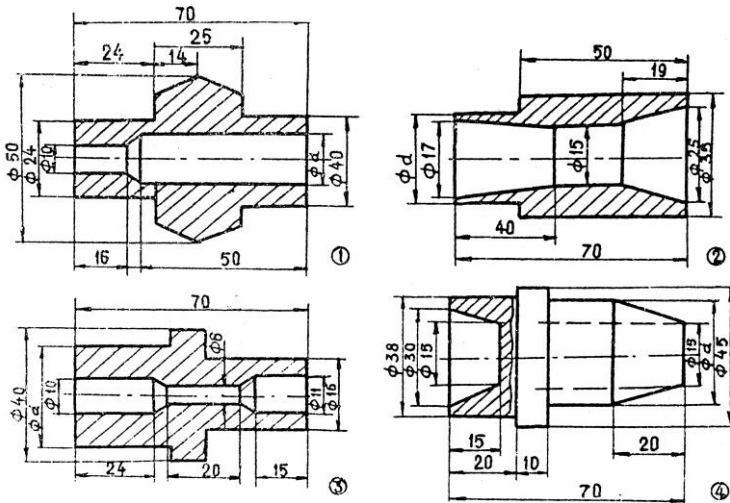


Рис.4. Эскизы деталей для выполнения задания

3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- Цель работы.
- Определения обработки металлов резанием.
- Движения, необходимые для осуществления процесса резания.
- Технологическое назначение токарных резцов и инструментов для обработки отверстий.
- Определение элементов технологического процесса при резании.
- Выводы по работе.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ НА СТРУКТУРУ СТРУЖКИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Изучение технологического процесса обработки резанием; влияния режимов резания на строение стружки при точении.

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При обработке металлов резанием изделие получается в результате срезания с заготовки слоя припуска, который удаляется в виде стружки.

Принципиальная задача процесса резания заключается в образовании новой поверхности. Поскольку прочность обрабатываемого материала соизмерима с прочностью материала инструмента, для обеспечения работоспособности инструмента его приходится упрочнять путем увеличения угла заострения до 90° и более.

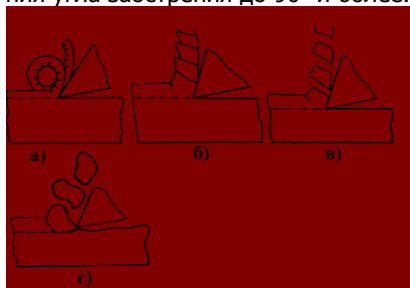


Рис.1. Типы стружек: а) сливная; б) суставчатая; в) скалывания; г) надлома

Величины элементов режима резания могут образовываться различные по своему виду стружки.

Их подразделяют на три основных вида (рис.1): стружки *скалывания*, *сливные* и стружки *надлома*.

Если при обтекании клина материалом образуется сплошная стружка без разрывов и больших трещин, то в этом случае она называется *сливной стружкой*. Такой тип стружки чаще всего образуется при резании вязких, пластичных материалов. В том случае, когда при резании пластичных материалов имеет место интенсивное трещинообразование, происходит полное разделение стружки на элементы, имеющие определенную правильную форму и последовательность образования, такой тип стружки называется *элементной стружкой*, или *стружкой скалывания*. Очень часто при резании пластичных материалов образуются стружки, не имеющие четко выраженных признаков сливных или стружек скалывания. При их образовании не происходит полного разделения на элементы и трещины заканчивают свое развитие в толще деформированного

При такой конфигурации инструмента весь срезаемый слой припуска подвергается пластической деформации и превращается в стружку, а сам процесс резания по существу становится процессом пластической деформации всего срезаемого слоя припуска на обработку.

В зависимости от свойств обрабатываемого материала, геометрических параметров режущего инструмента и



Технология получения изделий в машиностроении

материала, не выходя на его наружную поверхность. Такие стружки называют *суставчатыми*.

При резании хрупких материалов (чугуна, бронзы, керамических материалов и др.) происходит вырывание отдельных частиц поверхностного слоя заготовки режущей частью инструмента. Так как пластического деформирования практически не происходит, то элементы стружки, образующиеся в процессе хрупкого разрушения, не имеют правильной формы. Обработанная поверхность шероховатая с зазубринами и вырывами. Такой тип стружек носит название *стружек надлома*.

Изменяя условия резания и состояния материала, можно при его обработке получать различные типы стружек. Так, например, при резании меди с глубоким охлаждением можно получить стружки надлома, а при резании с подогревом твердых и хрупких материалов - стружки скалывания и даже сливные.

Процесс резания представляет собой упруго-пластическое деформирование, а иногда и разрушение срезаемого слоя. Этот процесс сопровождается теплообразованием, наростообразованием, упрочнением, износом режущего инструмента.

Установлено, что зона стружкообразования имеет клинообразную форму и размеры, сопоставимые с толщиной среза. При этом пластическое деформирование срезаемого слоя начинается на линии, по которой проходят первые сдвиги обрабатываемого материала. На рисунке 2,а приводится схема образования стружки скалывания. Скалывание отдельных деформированных элементов происходит по направлению расположения плоскости скалывания $O-O$. Угол ψ носит название *угла скалывания*. Величина угла ψ равна $145-155^\circ$ и зависит от свойств обрабатываемого материала, скорости резания, толщины срезаемого слоя и угла резания δ .

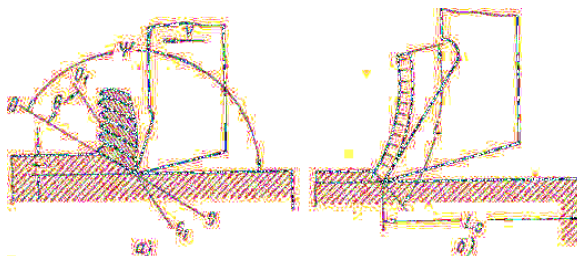


Рис.2. Схема деформации и стружкообразование:
а - схема деформации; б - усадка стружки

Исследования показали, что стружка скалывания ломается не по плоскости $O-O$, а по плоскости O_1O_1 расположенной под углом θ , равным $20-30^\circ$, к плоскости скалывания. Плоскость O_1O_1 называется *плоскостью сдвига*.

Сливная стружка не имеет плоскостей скалывания, и пластическая деформация происходит в направлении плоскостей сдвига. Проходя че-



Технология получения изделий в машиностроении

рез зону стружкообразования, обрабатываемый материал последовательно подвергается дополнительным пластическим деформациям при пересечении каждой последующей линии сдвига. Достигнув конечной границы зоны стружкообразования, обрабатываемый материал получает наибольшую степень деформации, свойственную уже образовавшейся стружке.

Величина усадки стружки является мерой степени пластической деформации срезанного слоя (рис.2,б). Величина усадка стружки определяется коэффициентом усадки:

$$k = L_0/L,$$

где L_0 - длина срезанного слоя, а L - длина стружки.

Деформация срезаемого слоя и формообразование новой поверхности происходит под действием силы резания, зависящей от глубины резания t подачи s , свойств обрабатываемого материала, геометрических параметров режущей части инструмента, степени его износа и других условий обработки.

Вид образующейся стружки зависит от многих факторов, таких как, например, свойства внешней среды, в которой осуществляется резание, величины переднего угла инструмента и других факторов. При внимательном рассмотрении корня сливной стружки можно увидеть, что отдельные ее элементы, деформированы (вытянуты) в направлении, не совпадающем с положением плоскости скалывания, расположенной под углом β_1 . Разрушение срезаемого слоя происходит по плоскости скалывания, а наибольшая пластическая деформация происходит в другом направлении, под углом к этой плоскости β_2 . Первое направление под углом β_1 принято называть направлением наибольших напряжений, второе направление под углом β_2 называют направлением наибольших деформаций.

В прирезцовой части стружки деформация не имеет строго выработанного направления, а слои металла вытянуты в направлении, параллельном передней поверхности инструмента. Такая вторичная деформация срезаемого слоя происходит из-за сильного трения на передней поверхности, в зоне контакта ее с прирезцовой поверхностью уже образовавшейся стружки.

При резании материалов средней пластичности на средних скоростях резания образуются стружки скалывания, при резании мягких пластичных материалов или тех же, но на больших скоростях резания образуются сливные стружки. Процесс образования стружек скалывания происходит в описанной ниже последовательности.

Под действием силы P резец внедряется в обрабатываемый материал и производит смятие его в каком-то объеме. По мере перемещения резца длина площадки смятия $P_{см}$ увеличивается и на обрабатываемый материал, на его элементарный объем – элемент будущей стружки, действует все большая возрастающая сила. Увеличение этой силы идет до тех пор, пока не произойдет скалывание элемента по определенной плоскости.



Технология получения изделий в машиностроении

Размеры скальваемых элементов зависят от физико-механических свойств обрабатываемого материала, толщины среза, величины переднего угла и угла скальвания, значение которого сильно зависит от свойств внешней среды, в которой осуществляется резание. Признаком стружек скальвания является наличие различных на глаз крупных элементов. Скальвание элементов не приводит к разрушению металла, стружка представляет собой прочное тело из прочно соединенных друг с другом элементов.

Сливная стружка представляет собой сплошную ленту, в которой отдельные ее элементы не вооруженным глазом трудно различимы и не просматриваются. В отличие от процесса образования стружек скальвания, в сливных стружках деформация смятия происходит одновременно со сдвигом элементов. Как только произойдет его сдвиг, на плоскости сдвига металл упрочнится и элемент остановится, прекратит свое движение по плоскости скальвания. При остановке он снова сминается движущимся инструментом, площадка смятия у основания элемента увеличивается, сила $P_{см}$ становится больше $P_{ск}$ и элемент вновь сдвигается. И так происходит в течение всего времени образования стружки. Процесс образования стружки здесь не заканчивается в зоне сдвига. При образовании сливных стружек процесс формирования их продолжается в течение всего времени движения по передней поверхности режущего инструмента.

При резании хрупких металлов образуются стружки надлома. Резец, внедряясь в металл, не сдвигает его, а сжимает и вырывает сжатый надломленный элемент. Разрушение идет по поверхности, произвольно охватывающей напряженную зону, поэтому обработанная поверхность получается неровной.

Периодический характер образования стружки вызывает колебания силы резания, что делает процесс резания динамически неустойчивым.

Образование нароста и состояние материала под поверхностью резания.

При резании металлов срезаемый слой в результате пластического деформирования приобретает повышенную физическую активность и, будучи плотно прижатым силами нормального давления к передней поверхности режущего инструмента, схватывается (сваривается) с ней.

Из параметров режима резания на интенсивность образования, размеры и форму нароста наиболее сильно влияет скорость резания. На очень малых скоростях резания нарост не удерживается на передней поверхности инструмента, из-за мелко элементной сыпучей стружки с увеличением скорости интенсивность образования нароста возрастает лишь до какого-то значения скорости, после которого интенсивность его образования и размеры начинают уменьшаться.

Поскольку нарост образуется из сильно деформированного металла, твердость которого намного больше твердости исходного обрабатываемого, то и нарост в целом имеет высокую твердость, в 2-3 раза превосходящую твердость обрабатываемого материала. Наличие



Технология получения изделий в машиностроении

высокой твердости позволяет наросту успешно противостоять воздействию стружки и выполнять работу самого режущего инструмента. Он служит продолжением инструмента и принимает на себя его функции. Химический и микроструктурный анализы нароста показали, что в составе нароста задерживается наиболее сильно упрочняющаяся перлитная структурная составляющая обрабатываемого материала, которая и обеспечивает высокую твердость нароста.

Кроме образования нароста при срезании стружки происходит деформация материала под поверхностью резания (рис.6). Обрабатываемый материал здесь подвергается упругопластической деформации. Это происходит по двум причинам. Во-первых, потому, что режущее лезвие всегда имеет какое-то скругление, радиусом ρ . По этой причине разделение металла происходит не по линии 1–1, а по линии 2–2. Металл под линией 2–2 проволочивается под округленной частью режущего лезвия и пластически деформируется. Во-вторых, поскольку пластической деформации предшествует упругая деформация, восстанавливающаяся после прохождения инструмента, имеет место *подъем* поверхности резания на величину упругого последствия «У». Прижатый к задней поверхности материал трется об нее и еще раз пластически деформируется.

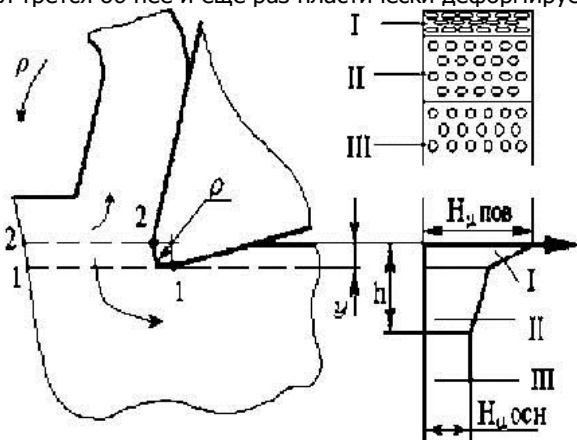


Рис.6. Деформация и упругое последствие в зоне резания

В силу этих причин материал под поверхностью резания оказывается пластически деформированным, в нем появляются остаточные напряжения, уравнивающиеся внутри объема металла под поверхностью резания. Верхние слои металла оказываются сильно разрушенными. Анализ состояния металла под поверхностью резания показывает (см. рис.6), что там обнаруживаются 3 зоны: I – зона больших пластических деформаций; II – зона наклепанного металла; III – зона исходного металла. Состояние материала под поверхностью резания в целом оценивается: глубиной проникновения пластической деформации h и степенью упрочнения его поверхностных слоев C . Степенью упрочнения называется отношение твердости упрочненного поверхностного слоя к твер-



Технология получения изделий в машиностроении

дости основного (недеформированного) металла: $C = H_{пов} / H_{осн}$

Степень упрочнения и глубина деформации зависят от толщины среза, скорости резания, геометрии режущего инструмента, свойств обрабатываемого материала и других факторов.

2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Уясните цель работы.
2. Изучите характеристики и особенности формирования структуры металлов при резании.
3. Изучите микроструктуру стружек при различных режимах резания.
4. Изобразите схемы микроструктур стружек при различных режимах резания.
5. Выполните микроструктурный анализ стружек, полученных при различных режимах резания, при точении.
6. Полученные данные занесите в таблицу 1.
7. Составьте отчет о работе.

Таблица 1

№	<i>Материал</i>	Схема микроструктуры	Режим резания
1.			
2...			

3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- Цель работы.
- Краткая характеристика типов стружек.
- Схемы микроструктур стружек при различных режимах резания.
- Микроструктурный анализ металлической стружки.
- Выводы на основании полученных результатов.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ДУГОВОЙ СВАРКИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Изучение теоретических основ технологии получения изделий дуговой сваркой и разработка технологического процесса ручной электродуговой сварки.

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Электродуговой сваркой называется сварка плавлением, при которой нагрев свариваемых кромок осуществляется теплотой электрической дуги. Ручную дуговую сварку широко применяют при соединении заготовок из сталей и цветных металлов благодаря ее универсальности и возможности выполнять процесс во всех пространственных положениях свариваемого шва.

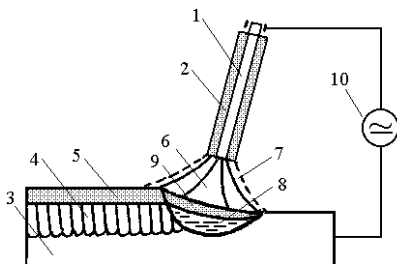


Рис.1. Схема ручной дуговой сварки плавящимся электродом с покрытием: 1 - стержень электрода; 2 - покрытие электрода; 3 - основной металл; 4 - сварной шов; 5 - твердая шлаковая корка; 6 - электрическая дуга; 7 - газовая защитная атмосфера; 8 - жидкая металлическая ванна; 9 - жидкая шлаковая ванна; 10 - источник тока

Ручная дуговая сварка производится двумя способами: *неплавящимся* и *плавящимся электродом*. Второй способ, выполняемый плавящимся электродом, является основным при ручной дуговой сварке (рис.1). К электроду 1 и основному металлу 3 подводится постоянный или переменный ток от специального источника 10 и возбуждается электрическая сварочная дуга 6. Теплота дуги расплавляет стержень электрода и основной металл, образуется металлическая ванна 8. Вместе со стержнем плавится покрытие электрода 2, образуя защитную газовую атмосферу 7 вокруг дуги и жидкую шлаковую ванну 9 на поверхности расплавленного металла. Металлическая и шлаковая ванна вместе создают сварочную ванну, которая, охлаждаясь, образует сварной шов 4. Жидкий шлак, остывая, создает на поверхности сварного шва твердую шлаковую корку 5.

Сварное соединение представляет собой участок конструкции или изделия, на котором сваркой соединены между собой составляющие его элементы, выполненные из однородного или разнородных материалов. Сварка относится к неподвижным неразъемным соединениям с жесткой механической связью, обеспечивающей неизменность взаимного положения элементов конструкции под нагрузкой. Применение того или иного вида сварки обусловлено требованиями изготовления, сборки, эксплуатации машин или сооружений, а также экономическими соображениями.

По взаимному расположению соединяемых элементов различают



Технология получения изделий в машиностроении

стыковые, тавровые, нахлесточные и угловые сварные соединения. Каждое из них имеет свои специфические признаки в зависимости от выбранного способа сварки – дуговой, роликовой и т.д. Сварной шов – это участок сварного соединения, непосредственно связывающий свариваемые элементы и образовавшийся в результате кристаллизации расплавленного металла или в результате пластической деформации при сварке давлением или сочетания кристаллизации и деформации. Основные виды сварных соединений, конструктивные элементы кромок и швов, предельные отклонения и рациональные диапазоны толщин соединяемых элементов для швов всех типов регламентированы государственными стандартами и отраслевыми нормами: для ручной электродуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей – ГОСТ 5264-80, для дуговой сварки в защитном газе – ГОСТ 14771-76; для дуговой сварки алюминия и алюминиевых сплавов в инертных газах – ГОСТ 14806-80; для соединений сварных стальных трубопроводов – ГОСТ 16037-80 и т.д.

2 МЕТОДИКА РАСЧЕТА РЕЖИМОВ ДУГОВОЙ СВАРКИ

При разработке технологического процесса ручной электродуговой сварки, прежде всего, необходимо правильно выбрать тип сварного соединения, который определяют взаимным расположением свариваемых элементов и формой подготовки (разделки) их под сварку.

ГОСТ 5264-80 устанавливает следующие основные типы сварных соединений: *стыковые* – условное обозначение *С*, *нахлесточные* – *Н*, *тавровые* – *Т* и *угловые* – *У*.

Стыковые соединения – самые типичные сварные соединения, в которых торцы соединяемых деталей располагаются так, что поверхность одной детали является продолжением другой. При сварке заготовок больших толщин необходимо обрабатывать соединяемые кромки для обеспечения провара по всему сечению. В табл. 5 представлены два типа стыковых сварных соединений: *С 2*, применяемое при сварке односторонним швом заготовок толщиной до 4 мм, без скоса кромок и *С17*, применяемое при сварке заготовок односторонним швом с *V* – образным скосом кромок для толщины от 3 до 60 мм. Учитывая заданную толщину свариваемого шва, выберите тип стыкового соединения (табл.5). Кроме формы разделки кромок, которая бывает, также *U* – образная и *X* – образная, ГОСТ устанавливает величину зазора *b* (мм) и притупления *a* (мм) между кромками. Раскрытие кромок и зазор необходим для обеспечения провара всего сечения, а притупление предотвращает прожог.

Вторым этапом при разработке технологии ручной электродуговой сварки является выбор типа и марки электрода. Типы и требования, предъявляемые к металлическим электродам для ручной дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей, регламентированы ГОСТом 9467-75.

Для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей предусмотрено девять типов электродов (Э 38, Э 42, Э 42А, Э 46, Э 46А, Э 50, Э 50А, Э 55, Э 60); для сварки легированных и конструкционных сталей повышенной и высокой прочности пять типов (Э 70, Э 85, Э



Технология получения изделий в машиностроении

100, Э 125, Э 150) (табл.5).

Тип электрода обозначается буквой *Э* и *цифрой*, показывающей гарантируемый *предел прочности* металла шва (временное сопротивление) σ_b (10^{-1} МПа). Буква *А* в обозначении указывает, что металл шва, наплавленный этим электродом, имеет *повышенные пластические свойства*. Такие электроды применяют при сварке наиболее ответственных швов.

Учитывая заданную марку стали и временное сопротивление при растяжении этой стали, (табл.3) выберите тип электрода (табл.7). Если сварное соединение должно работать при ударных нагрузках, выбирайте электрод с повышенными пластическими свойствами.

Каждому типу электрода соответствует несколько марок (табл.9), на каждую из которых разработаны технические условия. Марка электрода - это его промышленное обозначение, характеризующее стержень и покрытие.

Электродные покрытия делят на две группы: *тонкие* (стабилизирующие) и *толстые* (качественные). Назначение тонкого покрытия - облегчить возбуждение дуги и стабилизировать ее горение. Оно не создает защиты для расплавленного металла шва, и поэтому при сварке происходит его окисление и азотирование. Шов получается хрупким, пористым, с различными неметаллическими включениями. Поэтому электроды с тонким покрытием используют при выполнении неответственных сварных швов.

Сварные соединения высокого качества выполняют электродами с толстым покрытием. Качественное покрытие имеет следующие функции: обеспечивает устойчивое горение дуги; защищает расплавленный металл шва от воздействия кислорода и азота воздуха; раскисляет образующиеся в металле шва оксиды и удаляет невосстанавливаемые оксиды в шлак, легирует наплавляемый металл, удаляет серу и фосфор из расплавленного металла шва; образует шлаковую корку над металлом шва, замедляет его охлаждение и тем самым способствует выходу газов и неметаллических включений на поверхность металла шва.

По виду покрытия электроды подразделяются: с *рудно-кислым* покрытием - условное обозначение *А*, с *основным* покрытием - *Б*, с *целлюлозным* покрытием - *Ц*, с *рутиловым* покрытием - *Р*.

Рудно-кислые покрытия содержат руды в виде оксидов железа и марганца, при плавлении они выделяют кислород, способный окислить металл ванны и легирующие примеси. Для ослабления действия кислорода в покрытие вводят раскислители в виде ферросплавов. Кислые покрытия имеют хорошие сварочно-технические свойства, высокопроизводительны, позволяют сваривать металл с ржавыми кромками и окалиной и получать плотные швы. Однако наплавленный металл имеет относительно малую ударную вязкость и пластичность и пониженное содержание легирующих примесей, к тому же эти электроды токсичны. К этому виду относятся покрытия: *ОММ-5*, *ЦМ-7*, *ЦМ-8* и др.

В *рутиловых покрытиях* основным компонентом является рутил (TiO_2). Благодаря высоким сварочно-технологическим свойствам,



Технология получения изделий в машиностроении

механическим свойствам металла шва и благоприятным санитарно-гигиеническим характеристикам электроды с рутиловым покрытием очень широко применяются, в том числе и взамен электродов с руднокислым покрытием. К рутиловым относятся покрытия: *ЦМ-9, МР-3, АНО-3, АНО-5, ОЗС-3* и др.

Целлюлозные покрытия содержат большое количество органических составляющих, разлагающихся в процессе плавления и обеспечивающих газовую защиту расплавленного металла. Эти покрытия придают хорошее качество сварному шву при соблюдении теплового режима. Их недостаток - большие потери от разбрызгивания. К этой группе покрытий относятся: *ОМА-2, ЦЦ-1, ВСЦ-4* и др.

Основные покрытия составлены на основе плавикового шпата (Ca F_2) и мрамора. Эти электродные покрытия дают высокое качество металла шва и применяются для сварки ответственных швов. Однако, так как основные электродные покрытия адсорбируют влагу при хранении, перед применением их нужно прокалить. Кромки свариваемых изделий необходимо тщательно очищать от ржавчины и загрязнений, иначе в сварном шве будут поры. Широко используются электроды марок: *УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, СМ-11, АНО-7, АНО-8* и др.

Одним из основных параметров режима ручной дуговой сварки является *диаметр электрода* d_3 (мм). Для стыковых соединений диаметр электрода выбирают в зависимости от толщины свариваемых кромок (табл.4).

В табл.9 представлены наиболее часто применяемые электроды с указанием диаметра и коэффициента наплавки. Каждому типу электрода соответствует несколько марок. Коэффициент наплавки оценивает массу электродного металла, перешедшую в сварной шов в течение часа горения дуги, отнесенную к одному амперу сварочного тока. Учитывая, что производительность сварки прямопропорциональна коэффициенту наплавки, а тип электрода и его диаметр уже выбран, подберите марку электрода из табл.7.

Величину сварочного тока $I_{св}$ (А), основного параметра режима сварки, устанавливают по известному диаметру электрода. При сварке стыкового шва в нижнем положении используют формулу $I_{св} = Kd_3$, где d_3 - диаметр электрода (мм), K - коэффициент пропорциональности, зависящий от диаметра электрода, определяется по табл.6.

Длина дуги L_d (мм) значительно влияет на качество сварки. Короткая дуга горит устойчиво и спокойно. Она обеспечивает получение высококачественного шва, так как расплавленный металл электрода быстро проходит дуговой промежуток и меньше подвергается окислению и азотированию. Но слишком короткая дуга вызывает "примерзание" электрода, дуга прерывается, нарушается процесс сварки. Длинная дуга горит неустойчиво и с характерным шипением. Глубина проплавления недостаточная, расплавленный металл электрода разбрызгивается и больше окисляется и азотируется. Шов получается бесформенным, а металл шва содержит большое количество оксидов. Длину дуги можно определить по формуле $L_d = 0,5(d_3 + 2)$, где d_3 - диаметр электрода



Технология получения изделий в машиностроении

(мм). Самое широкое применение нашла дуга с жесткой характеристикой, когда напряжение U_d (В) практически не зависит от силы тока и пропорционально её длине L_d . Такая дуга горит устойчиво и обеспечивает нормальный процесс сварки.

Количество металла, необходимого для сварного шва Q_n (г) можно определить по формуле $Q_n = 10^{-3}LS\rho$, где L длина свариваемого шва (мм), S – площадь поперечного сечения шва (мм^2), ρ – плотность электродного металла, для стали $\rho = 7,8 \text{ г/см}^3$. Для одностороннего стыкового шва без скоса кромок *площадь поперечного сечения S* можно определить по формуле: $S = b\delta$, где δ – толщина свариваемого металла (мм), b – зазор (расстояние) между свариваемыми деталями (мм).

Для одностороннего шва с V – образным скосом двух кромок площадь поперечного сечения S можно определить по формуле $S = \delta(b-1) + 0,5(\delta^2 + 1)$, где δ и b – указанные выше конструктивные элементы сварного шва. Величину зазора между свариваемыми деталями берём из табл.3.

Основное время горения дуги t_0 (ч) определим по формуле $t_0 = Q_n / I_{св} \alpha_n$, где Q_n – масса наплавленного металла (г), $I_{св}$ – сила сварочного тока (А), α_n – коэффициент наплавки (г/А ч), (таблица 9).

В процессе сварки электроду сообщаются следующие движения: а – по направлению оси электрода в зону дуги. Скорость движения должна соответствовать скорости плавления электрода, чтобы сохранить постоянство длины дуги; б – вдоль линии свариваемого шва.

Скорость перемещения не должна быть большой, так как металл электрода не успеет сплавиться с основным металлом (непровар). При малой скорости перемещения возможны перегрев и пережог металла. Шов получается широкий и толстый. Производительность сварки оказывается низкой; в – поперечные колебательные движения применяют для получения уширенного валика шириной $3 - 4 d_э$. Поперечные движения замедляют остывание наплавленного металла, облегчают выход газов и шлаков и способствуют наилучшему сплавлению основного и электродного металлов и получению высококачественного шва.

Скорость сварки $V_{св}$ (м/ч) можно определить по формуле $V_{св} = 10^{-3}L/t_0$, где L – длина сварного шва (мм), t_0 – основное время горения дуги (ч).

Процесс сварки включает не только время горения дуги, но и вспомогательные операции (установку электрода, поворот детали и т.д.).

Это дополнительное время зависит от организации рабочего места, квалификации сварщика и учитывается коэффициентом производительности M . *Полное время сварки T_n* (ч) определяется по формуле $T_n = t_0/M$, где t_0 – основное время горения дуги (ч), M – коэффициент производительности ($M = 0,4 - 0,8$).

Массу расплавленного металла Q_p (г) можно определить, подчитав массу расплавленных электродов $Q_p = 10^{-3} \rho \cdot \pi \cdot d_э^2 (L_э - L_{ог}) n / 4$, где ρ – плотность электродного металла (для стали $\rho = 7,8 \text{ г/см}^3$), $d_э$ – диаметр электрода (мм), $L_э$ – длина электрода (мм) (из табл.6), $L_{ог}$ – длина огарка (мм), (принимают $L_{ог} = 50 \text{ мм}$), n – число слоёв (проходов) (из табл.8).



Технология получения изделий в машиностроении

Потери металла на угар и разбрызгивание характеризуются *коэффициентом потерь* φ (%), который определяется по формуле $\varphi = 10^2(Q_p - Q_n)/Q_{pr}$, где Q_p - масса расплавленного металла (г), Q_n - масса наплавленного металла (г).

Значение коэффициента потерь φ при ручной электродуговой сварке не должно превышать 10%.

В заключении, определим *полный расход электроэнергии* на сварку A (кВт ч) по формуле $A = I_{св} \cdot U_d \cdot t_o$, где $I_{св}$ - сила сварочного тока (А), U_d - напряжение дуги (В), t_o - основное время горения дуги (ч).

Все формулы расчета представлены в табл.4.

Выбор режима сварки. Все параметры режима сварки можно разделить на основные и дополнительные. Основные параметры - это величина и полярность тока, диаметр электрода, напряжение на дуге, скорость сварки. Дополнительные параметры - состав и толщина покрытия электрода, положение электрода и положение изделия.

Влияние основных параметров:

Сварочный ток. Увеличение его вызывает (при одинаковой скорости сварки) рост глубины проплавления (провара), что объясняется изменением погонной энергии (теплоты, приходящейся на единицу длины шва) и частично изменением давления, оказываемого столбом дуги на поверхность сварочной ванны

Таблица 1

Режимы сварки стыковых соединений без скоса кромок

Характер шва	Диаметр электрода, мм	Ток в амперах	Толщина металла в мм	Зазор в мм
Односторонний	3	180	3	1.9
Двусторонний	4	220	5	1.5
Двусторонний	5	260	7-8	1.5-2.0
Двусторонний	6	330	10	2.0

Максимальные значения тока должны уточняться по паспорту электродов.

Таблица 2

Режимы сварки стыковых соединений со скосом кромок

Диаметр электрода, мм		Среднее значение тока, А	Толщина металла, мм	Зазор, мм	Число слоев, кроме подварочного и декоративного
первого	последующего				
4	5	180-260	10	1,5	2
4	5	180-260	12	2,0	3
4	5	180-260	14	2,5	4
4	5	180-260	16	3,0	5
5	6	220-320	18	3,5	6

Дополнение: Значения величины тока уточняются по данным паспорта электродов.

Род и полярность тока также влияют на форму и размеры шва. При сварке постоянным током обратной полярности глубина провара на 40—50% больше, чем постоянным током прямой полярности, что объяс-



Технология получения изделий в машиностроении

няется различным количеством теплоты, выделяющейся на аноде и катоде. При сварке переменным током глубина провара на 15—20% меньше, чем при сварке постоянным током обратной полярности.

Диаметр электрода выбирают в зависимости от толщины свариваемого металла, положения, в котором выполняется сварка, а также от вида соединения и формы подготовленных кромок под сварку. При сварке встык листов стали толщиной до 4 мм в нижнем положении диаметр электрода обычно берется равным толщине свариваемого металла. При сварке стали большей толщины используют электроды диаметром 4 - 6 мм при условии обеспечения полного провара соединяемых деталей и правильного формирования шва.

Напряжение определяет, главным образом, ширину шва. На глубину провара напряжение оказывает весьма незначительное влияние. Если при увеличении напряжения скорость сварки увеличить, ширина шва уменьшится.

Сила тока в основном зависит от диаметра электрода, а также от длины его рабочей части, состава покрытия, положения сварки. Чем больше ток, тем выше производительность, т.е. больше наплавляется металла. Однако при чрезмерном для данного диаметра электрода токе электрод быстро нагревается выше допустимого предела, что приводит к снижению качества шва и повышенному разбрызгиванию.

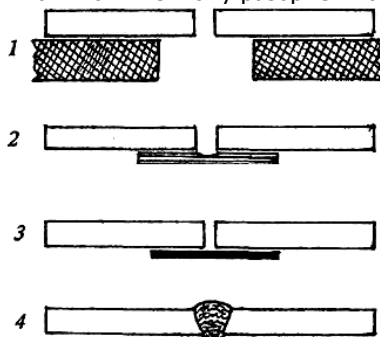


Рис.2. Сварка стыковочных швов. 1 — сварка шва «на весу»; 2 — сварка на медной подкладке (съёмной); 3—сварка на стальной остающейся подкладке; 4— сварка с предварительным и подварочным швом

На рис.2 представлены схемы сварки стыковых швов навесу, на медной съёмной подкладке, с предварительным подварочным швом и на стальной подкладке.

Шов сварного соединения может быть обычным, усиленным или облегченным, и характеризуется следующими основными конструктивными элементами в соответствии с ГОСТ 2601-84: ширина (или радиус), выпуклость, глубина проплавления (для стыкового шва) и катет (для углового шва).

В инженерной практике применяют два метода расчёта сварных соединений на прочность при статическом нагружении: по допускаемым напряжениям (в машиностроении) и по предельному состоянию (в



Технология получения изделий в машиностроении

строительных конструкциях). Для сварных соединений из сталей различной прочности расчётные сопротивления на растяжение, сжатие, срез в стыковых и угловых швах, а также допускаемые напряжения на растяжение и сжатие и срез установлены отраслевыми правилами и нормами проектирования конструкций.

3 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

Для выполнения задания необходимо:

1. Ознакомиться с основными теоретическими сведениями, где подробно описано, как разработать технологический процесс ручной электродуговой сварки.
2. Руководствуясь табл. 2 с расчетом основных параметров режима электродуговой сварки (для варианта 0), сделать расчет для своего варианта, пользуясь информационно-справочными данными и приложением Microsoft Access.
3. Выполните эскиз детали с указанным сварным соединением.
4. Опишите особенности технологии и техники сварки данного материала.
5. Опишите процессы, происходящие в зоне шва и околошовной зоне.

Отчет по индивидуальному заданию выполняется по установленной форме на форматных листах (А 4).



ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЯ

В табл.3. приведены исходные данные для выполнения индивидуального задания

Таблица 3

Исходные данные для выполнения задания

№ варианта	Марка стали	Временное сопротивление при растяжении $\sigma_{в}$, МПа	Толщина свариваемой стали δ , мм	Длина шва L, мм
0	09Г2СД	450	11,0	460
1	10Г2С1*	500	1,5	445
2	08ГДН*	400	2,0	300
3	15Г	420	2,5	650
4	20	420	3,0	260
5	15*	400	3,5	230
6	Ст3	400	4,0	200
7	14ХГС	500	4,5	180
8	08ГДНФ	500	5,0	150
9	09Г2С*	500	5,5	260
10	12Г2СМФ	700	6,0	240
11	14ГХНМ	700	6,5	200
12	15Х	700	7,0	190
13	16ГС*	500	7,5	340
14	12ГН2МФАЮ	850	8,0	260
15	14Х2ГМР	800	8,5	375
16	20Х	800	9,0	330
17	12ХГН2МФБАЮ	900	9,5	300
18	18ХГТ	1000	10,0	270
19	16Г2АФ	600	10,5	500
20	15Г2СФ	560	11,0	460
* Сварное соединение работает при ударных нагрузках				



Таблица 4

Расчет основных параметров режима электродуговой сварки

№	Определяемая величина	Буквенное обозначение, ед. измерения	Расчетная формула или источник информации	Численная величина	Примечание
1	Тип сварного шва	C...	табл. 3	C 17	
2	Тип электрода	Э...	табл. 5	Э 46	
3	Диаметр электрода	d_3 , мм	табл. 4	6	
4	Марка электрода		табл. 7	ОЗС-6	
5	Коэффициент пропорциональности	K, A/мм	табл. 4	50	
6	Сила сварочного тока	$I_{св}$, А	$I_{св} = Kd_3$	300	
7	Длина дуги	L_D , мм	$L_D = 0,5(d_3 + 2)$	4	
8	Напряжение дуги	U_D , В	$U_D = \alpha + \beta L_D$	18	$\alpha = 10, \beta = 2$
9	Площадь поперечного сечения	S, мм ²	$S = b\delta$		для $\delta < 4$ мм, $\delta = 4$ мм, b из табл. 3
10	Масса наплавленного металла	Q_H , г	$S = \delta(b - 1) + 0,5(\delta^2 + 1)$ $Q_H = 10^{-3}ISy$	94 337,27	для $\delta > 4$ мм, b из табл. 3 табл. 3 $\gamma = 7,8$ г/см ³ , l из табл. 1
11	Коэффициент наплавки	α_H , г/А ч	табл. 7	10	
12	Основное время горения дуги	t_0 , ч	$t_0 = Q_H / I_{св} \alpha_H$	0,11	
13	Скорость сварки	$V_{св}$, м/ч	$V_{св} = 10^{-3}It/t_0$		
14	Полное время сварки	T_n , ч	$T_n = t_0/M$		M = 0,5
15	l_3 , мм	табл. 4	450		
	Число слоев	n	табл. 6	4	
16	Масса расплавленного металла	Q_p , г	$Q_p = 10^{-3} \gamma l_3 d_3^2 (l_3 - l_{gr}) n^4$	352,68	$\pi = 3,14, l_{gr} = 50$ мм
17	Коэффициент потерь	φ , %	$\varphi = 10^2(Q_p - Q_H)/Q_p$	4,4	
18	Расход электроэнергии на сварку	A, кВт·ч	$A = I_{св} V_D t_0$	594	



Таблица 5

Тип сварного шва

Наименование соединения	Условное обозначение	Форма подготовки кромок	Толщина металла δ , мм	Зазор b , мм	Выполнение шва
Шов стыковой односторонний без скоса кромок	C 2		1,5 – 2,5 3,0 – 4,0	1 2	
Шов стыковой односторонний с V-образным скосом двух кромок	C 17		4,5 – 7,5 8,0–13,5 14,0– 16,0	3 4 5	

a – притупление кромок, $a = 1$ мм

Таблица 6

Диаметр электрода

Толщина свариваемого металла δ , мм	1,5 – 2,0	2,5 – 4,0	4,5 – 7,0	7,5– 10,0	более 10,0
Диаметр электрода $d_э$, мм	2	3	4	5	6
Коэффициент пропорциональности K , А/мм	30	35	40	45	50
Длина электрода $L_э$, мм	250	300	350	450	450

Таблица 7

Тип электрода

Тип электрода	Механические свойства металла сварного шва		
	Временное сопротивление при растяжении σ_v , МПа	Относительное удлинение δ	Ударная вязкость КСУ, МДж/м ²
1	2	3	4
Э 38	380	14	0,3
Э 42	420	18	0,8
Э 42А	420	22	1,5
Э 46	460	18	0,8
Э 46А	460	22	1,4
Э 50	500	16	0,7
Э 50А	500	20	1,3
Э 55	550	20	1,2
Э 60	600	18	1,0
Э 70	700	14	0,6
Э 85	850	12	0,5



Технология получения изделий в машиностроении

Продолжение табл.7

1	2	3	4
Э 100	1000	10	0,5
Э 125	1250	8	0,4
Э 150	1500	6	0,4

Таблица 8

Число слоев

Толщина свариваемой стали δ , мм	1,0 – 5,0	5,5 – 8,0	8,5 – 10,0	10,5–14	14,5 – 16
Число слоев n	1	2	3	4	5

Таблица 9

Марка электрода

Тип электрода	Марка электрода	Диаметр электрода d_s , мм	Коэффициент наплавки $\alpha_{нп}$, г/А ч
Э 42	ОЗС-23	2; 3	8,5
	ВСЦ-4	3; 4	9,5
	ОМА-2	2; 2,5; 3	8
	АНО-6	4; 5	10
Э 42А	УОНИ-13/45	2; 2,5; 3; 4; 5	8,5
	СМ-11	3; 4; 5	10
Э 46	АНО-4	3; 4; 5	8,5
	ОЗС-6	3; 4; 5; 6	10
	МР-3	3; 4; 5; 6	7,5
	ОЗС-21	3; 4; 5	8,5
Э 46А	ВН-48	2,5; 3; 4; 5; 6	11
	ОЗС-22Р	3; 4; 5; 6	10
	УОНИ-13/55К	3; 4; 5	9,5
Э 50	ВСЦ-4А	3; 4	9,5
Э 50А	УОНИ-13/55	2; 2,5; 3; 4; 5	9
	АНО-11	3; 4; 5	9,5
	ДК-50	4; 5	10
Э 55	УОНИ-13/55У	4; 5; 6	10
Э 60	ВСЦ-60	5; 6	10
	УОНИ-13/65	2; 2,5; 3; 4; 5	9,5
	ОЗС-24	3; 4	9,5
Э 70	ВСФ-75У	4	9
Э 85	УОНИ-13/85	2; 2,5; 3; 4; 5	10
	НИАТ-3М	2; 2,5; 3; 4; 5	9,5
	ВСФ-85	3; 4	9,5
Э 100	ОЗШ-1	2; 2,5; 3; 4; 5	8,5



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ.

ЖИДКОТЕКУЧЕСТЬ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: изучение технологических свойств сплавов, на примере жидкотекучести, в зависимости от условий заливки и скорости затвердевания, а также от влажности литейной формы.

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Жидкотекучесть – способность сплава в жидком состоянии заполнять литейную форму и воспроизводить контуры полостей формы и стержней. Она определяется по специальным технологическим пробам, заполняемым жидким сплавом при некоторой постоянной температуре заливки. Так, жидкотекучесть стали, магниевых и других сплавов определяется по прутковой пробе, спиральной пробы трапецеидального сечения, и пробам U-образного вида.

Различают *нулевую* жидкотекучесть, когда сплав перестает течь, находясь под металлостатическим напором, и *истинную* жидкотекучесть, определяемую при одинаковом перегреве над температурой нулевой жидкотекучести.

На жидкотекучесть оказывают влияние:

- тип сплава (железоуглеродистые, медные, алюминиевые и др. сплавы);
- свойства, не присущие сплаву, но приобретаемые им в процессе плавки (плавка в различных средах, внепечная обработка металла и др.);
- состояние формы (песчаная сухая, песчаная влажная, кокильная и др.);
- условия проведения эксперимента (воздействие на расплав ультразвука, вибрации, магнитных и электрических полей).

Жидкотекучесть увеличивается с ростом температуры заливки, теплосодержания и удельной теплоты кристаллизации, с уменьшением разницы температур заливаемого расплава и стенки формы. Уменьшается с увеличением температурного интервала кристаллизации, содержания газов, и при наличии в жидком сплаве тугоплавких пленок и включений. Уменьшение жидкотекучести наблюдается, например, при добавке в хромовую сталь азота и титана, которые вызывают появление тугоплавких нитридов хрома и титана. Поэтому приходится повышать температуру такой стали при разливке.

Для определения жидкотекучести применяется большое количество технологических проб, самая простая из них – прутковая (рис.1,а), она применяется для стали и называется - брусок Руффа. Такая модель состоит из металлической формы 1, литникового канала 2 и воронки 3.



Технология получения изделий в машиностроении

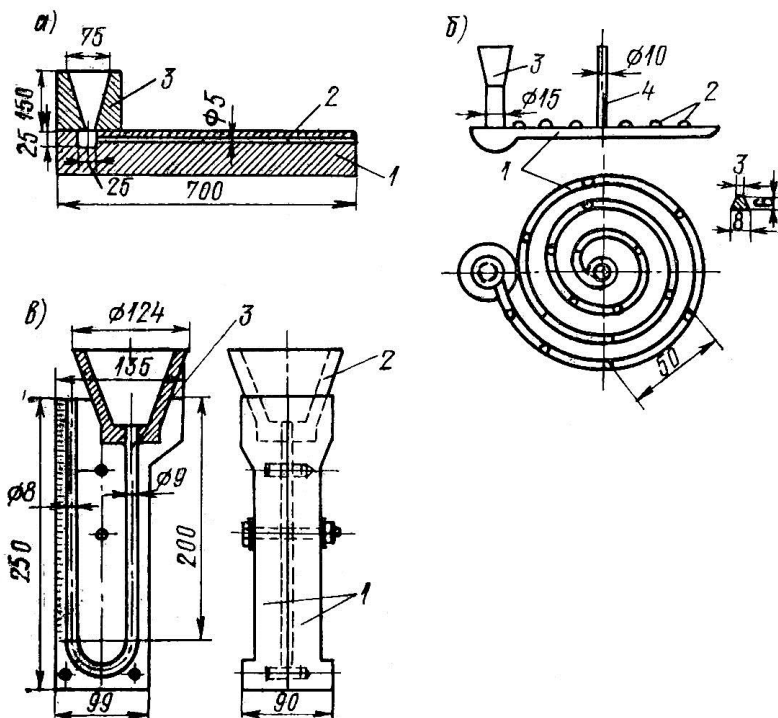


Рис.1. Приспособления для изготовления проб на жидкотекучесть сплавов: *а* — песчаная форма для прутковой пробы; *б* — модель для формовки простой спиральной пробы; *в* — металлическая форма для U-образной пробы

Жидкотекучесть чугуна, бронзы и алюминиевых сплавов принято определять с помощью спиральной пробы трапецеидального сечения, модель которой представлена на рис.1,б. Модель состоит из спирали 1, имеющей на верхней поверхности выступы 2 (на расстоянии, равном 50 мм), стояка 3 и выпора 4.

Кроме того, для определения жидкотекучести стали пользуются пробами U-образного вида металлическая форма (Нехедзи-Самарина), для которой представлена на рис.1,в. Разъемная металлическая форма состоит из двух частей 1, скрепленных между собой с помощью болта и гайки, воронки 2 и U-образного канала 3.

В пробах этих трех типов жидкотекучесть определяют по длине (в см) заполненной части полости формы. Жидкотекучесть сплавов увеличивается с повышением температуры перегрева сплава. Однако во избежание появления брака по усадке, пригару формовочной смеси, трещинам и т.д. температура сплава при заливке форм должна быть умеренно высокой.

Значительное ухудшение жидкотекучести (в два-три раза)



Технология получения изделий в машиностроении

наблюдается при многократной переплавке одного и того же чугуна в вагранке без добавки свежих материалов, так как при этом в жидком чугуне образуется увеличенное количество пленок окислов и шлаковых включений; кроме того, он поглощает много газов.

Существенное влияние на жидкотекучесть бронзы оказывают олово и цинк: чем больше содержание этих элементов, тем выше жидкотекучесть. Жидкотекучесть алюминиевых сплавов повышается при увеличении содержания кремния, а магниевых сплавов - при увеличении содержания алюминия.

По мере заполнения полости формы жидкотекучесть сплава непрерывно уменьшается, так как сплав охлаждается и уменьшается скорость его движения. При достижении температуры начала затвердевания в наиболее холодной части струи начинают образовываться отдельные твердые кристаллиты сплава, что, конечно, понижает его жидкотекучесть вследствие повышения вязкости. Полное прекращение течения струи сплава наблюдается тогда, когда в ней образуется значительное количество кристаллитов твердого сплава (например, 30-40% для чугуна и некоторых цветных сплавов).

Следует отметить, что по современным представлениям высокая жидкотекучесть оказывает благоприятное влияние на плотность отливок и на физико-механические свойства сплавов, так как она способствует заполнению внутренних пустот, образующихся в теле отливок при их затвердевании, а также выделению из отливок газов и неметаллических включений. Так, установлено, что при повышении жидкотекучести углеродистой стали повышаются показатели ее пластичности (сужения поперечного сечения образца при испытании на растяжение). Для легированных сталей характерно заметное повышение ударной вязкости и образование благоприятного волокнистого строения.

В зависимости от толщины стенок отливок наименьшая жидкотекучесть серого чугуна по спиральной пробе должна быть следующей:

Толщина стенки, мм	3-6	6-15	6-15	свыше 25
Жидкотекучесть, мм	500-700	400-500	300-400	200-300

Повышение содержания (до известного предела) углерода, кремния и фосфора улучшает жидкотекучесть чугуна. Марганец не оказывает заметного влияния на жидкотекучесть. При массовой доле серы более 0,16% жидкотекучесть чугуна понижается.

Так как при определении жидкотекучести, независимо от применяемой конструкции технологической пробы, кроме контролируемых факторов действует множество других, таких как различные условия производства на разных заводах, влажность, газопроницаемость смеси, применяемые марки песка, условия заливки, то сравнивать такие пробы некорректно. Поэтому пределы колебания величины жидкотекучести устанавливаются отдельно, для каждого конкретного производства.

2 ПРИБОРЫ И МАТЕРИАЛЫ

Для проведения лабораторных исследований необходимы:

- 1) бегуны промышленные и лабораторные для приготовления сме-



Технология получения изделий в машиностроении

сей;

- 2) модель спиральной пробы;
- 3) десять комплектов опок размером в свету 400x300 мм;
- 4) инструмент для набивки (набойки, трамбовки), отделки и сборки форм;
- 5) твердомер для замера плотности набивки форм;
- 6) печь для сушки (подсушки) полуформ;
- 7) смесь песчано-глинистая облицовочная и наполнительная;
- 8) разделительный материал (графит, тальк, маршалит и др.);
- 9) жидкий металл (чугун, алюминиевый или медный сплав);
- 10) хромель-алюмелевая термопара погружного типа и гальванометр;
- 11) клещи для извлечения отливки из формы;
- 12) бирки с номерами.

3 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

1. Приготовить песчано-глинистую смесь с содержанием глинистой составляющей 8 -10%, влажностью 3,0 -3,5%, прочностью 0,05-0,07 МПа и газопроницаемостью 80 ед. на промышленных бегунах в объеме 200-300 кг.

2. Приготовить песчано-глинистую смесь с содержанием глинистой составляющей 8-10%, влажностью 5-6%, прочностью 0,05-0,07 МПа, газопроницаемостью > 70 ед. из смеси влажностью 3,0-3,5% путем добавления необходимого количества воды на лабораторных бегунах в объеме 5-7 кг.

3. По указанию преподавателя подготовить следующие условия эксперимента:

Для исследования жидкотекучести сплава при набивке полуформ песчано-глинистой смесью с влажностью 3,0-3,5% с сушкой (подсушкой) нижней полуформы:

- поверхность модельной плиты с моделью покрыть разделительным материалом (графитом),
- заполнить опоку формовочной смесью с влажностью 3,0-3,5% и уплотнить деревянной или алюминиевой набивкой, досыпать смесь и уплотнить плоской трамбовкой на 3-5 мм выше края опоки. На опоке низа излишек смеси срезать линейкой;
- снять заформованную опоку с модельной плиты, перевернуть на 180°, установить в сушильную печь на 15 мин;
- после окончания подсушки полуформы разъемом вверх установить на предварительно подготовленное место;
- при помощи шарикового твердомера определить поверхностную плотность набивки в 4-6 точках. Для нижней полуформы твердость должна составлять 50-60 единиц, для верхней полуформы 40-50 единиц;
- собрать готовые полуформы под заливку.

Для исследования жидкотекучести сплава при набивке полуформ песчано-глинистой смесью с влажностью 3,0-3,5% с заливкой по сырому:

- поверхность модельной плиты с моделью покрыть разделитель-



Технология получения изделий в машиностроении

ным материалом (графитом);

- заполнить опоку формовочной смесью с влажностью 3,0-3,5% и уплотнить деревянной или алюминиевой набивкой, досыпать смесь и уплотнить плоской трамбовкой на 3-5 мм выше края опоки. На опоке низа излишек смеси срезать линейкой;
 - снять заформованную опоку с модельной плиты, перевернуть на 180° и разъемом вверх установить на предварительно подготовленное место;
 - при помощи шарикового твердомера определить поверхностную плотность набивки в 4-6 точках. Для нижней полуформы твердость должна составлять 50-80 единиц, для верхней полуформы 40-50 единиц;
 - собрать готовые полуформы под заливку.
- Для исследования жидкотекучести сплава при набивке полуформ песчано-глинистой смесью с влажностью 5-6% с заливкой по сырому:
- поверхность модельной плиты с моделью покрыть разделительным материалом (графитом);
 - заполнить опоку формовочной смесью с влажностью 5-6% толщиной 20-30 мм и обжать руками вокруг модели, досыпать опоку формовочной смесью с влажностью 3,0-3,5% и уплотнить плоской трамбовкой на 3-5 мм выше края опоки. На опоке низа излишек смеси срезать линейкой;
 - снять заформованную опоку с модельной плиты, перевернуть на 180° и разъемом вверх установить на предварительно подготовленное место;
 - при помощи шарикового твердомера определить поверхностную плотность набивки в 4-6 точках. Для нижней полуформы твердость должна составлять 50-60 единиц, для верхней полуформы 40-50 единиц;
 - собрать готовые полуформы под заливку.

Для каждого вышеуказанного эксперимента подготовить по 3 опоки и залить их металлом, перегретым над температурой плавления на 50, 100 и 150 град.

4. В ходе заливки разливочный ковш прогреть путем 3-4-х кратной замены горячего металла в нем, после чего замерить температуру металла в ковше.

5. Охладить металл в форме в течение 10-16 мин.

6. Извлечь отливку из формы и произвести измерения, полученные данные занести в таблицу 1.

Извлечение отливок из форм осуществляется студентами с помощью клещей!

7. Составить отчет о работе

Таблица 1

№ опоки	<i>Влажность формовочной смеси</i>	Температура заливаемого металла (сплава)	Общая длина заливочной спирали, мм	Длина спирали с четко оформленными краями, мм
1	Сухая	$T_{пл} + 150^{\circ}\text{C}$		



Технология получения изделий в машиностроении

2	3,0-3,5%	$T_{пл}+150^{\circ}C$		
3	5,0-6,0%	$T_{пл}+150^{\circ}C$		
4	Сухая	$T_{пл}+100^{\circ}C$		
5	3,0-3,5%	$T_{пл}+100^{\circ}C$		
6	5,0-6,0%	$T_{пл}+100^{\circ}C$		
7	Сухая	$T_{пл}+50^{\circ}C$		
8	3,0-3,5%	$T_{пл}+50^{\circ}C$		
9	5,0-6,0%	$T_{пл}+50^{\circ}C$		

4 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА:

- Цель работы.
- Определение литейных показателей изделия (детали).
- Схемы технологических проб на жидкотекучесть.
- Схемы форм для получения пробы жидкотекучести металла.
- Результаты экспериментов (табл.1).
- Вывод о влиянии технологических факторов на жидкотекучесть сплавов.