

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В. М. Капцевич, В. К. Корнеева, П. С. Чугаев

ГОРЯЧАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов учреждений высшего
образования по специальностям «Проектирование и производство
сельскохозяйственной техники», «Техническое обеспечение процессов
сельскохозяйственного производства», «Техническое обеспечение
процессов хранения и переработки сельскохозяйственной продукции»,
«Ремонтно-обслуживающее производство в сельском хозяйстве»,
«Материально-техническое обеспечение агропромышленного
комплекса», «Управление охраной труда в сельском хозяйстве»,
«Метрология, стандартизация и сертификация
(аграрно-промышленный комплекс)»*

Минск
БГАТУ
2020

УДК 621.7(07)
ББК 34.2я7
К20

Рецензенты:
кафедра «Металлургия и технологии
обработки материалов» ГГТУ им. П. О. Сухого
(кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой *Ю. Л. Бобарикин*);
кандидат физико-математических наук, доцент,
доцент кафедры электронной техники
и технологии БГУИР *Г. М. Шахлевич*

Капцевич, В. М.
К20 Горячая обработка металлов. Лабораторный практикум : учебное
пособие / В. М. Капцевич, В. К. Корнеева, П. С. Чугаев. – Минск :
БГАТУ, 2020. – 160 с.
ISBN 978-985-25-0031-9.

Учебное пособие, разработанное на базе учебно-методического комплекса «Горячая обработка металлов», состоит из трех модулей, содержащих материалы для лабораторных работ по дисциплине «Материаловедение и технология конструкционных материалов», самостоятельной работы студентов и контроля знаний по модулю.

Для студентов группы специальностей 74 06 «Агроинженерия» и специальностей 1-54 01 01 «Метрология, стандартизация и сертификация (по направлениям)», 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники».

УДК 621.7(07)
ББК 34.2я7

ISBN 978-985-25-0031-9

© БГАТУ, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
-----------------------	---

МОДУЛЬ 1. ОСНОВЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Занятие 1

Лабораторная работа № 1. Технологические испытания формовочных смесей	6
---	---

Занятие 2

Лабораторная работа № 2. Изготовление разовой песчано-глинистой литейной формы	15
--	----

Занятие 3

Лабораторная работа № 3. Анализ свойств отливок, полученных различными способами литья	23
--	----

Занятие 4

УСРС № 1. Проектирование разовой песчано-глинистой формы для конкретной детали	30
--	----

Занятие 5

Контроль знаний по модулю 1	32
-----------------------------------	----

МОДУЛЬ 2. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Занятие 6

Лабораторная работа № 4. Изменение механических свойств и структуры металлов при пластической деформации.....	42
---	----

Занятие 7

Лабораторная работа № 5. Определение основных параметров, характеризующих деформацию металла, и условий захвата заготовки валками при продольной прокатке.....	54
--	----

Занятие 8

Лабораторная работа № 6. Влияние степени деформации металла на его механические свойства при волочении.....	66
---	----

Занятие 9	
УСРС № 2. Разработка технологического процесса ковки конкретной детали.....	72
Занятие 10	
Контроль знаний по модулю 2	85
 МОДУЛЬ 3. СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО И РОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	
Занятие 11	
Лабораторная работа № 7. Изучение структуры сварного соединения.....	96
Занятие 12	
Лабораторная работа № 8. Расчет процесса точечной сварки и оценка качества сварного соединения	107
Занятие 13	
Лабораторная работа № 9. Анализ структуры и механических свойств паяного соединения.....	117
Занятие 14	
УСРС № 3. Разработка технологического процесса ручной дуговой сварки сварного узла.....	131
Занятие 15	
Контроль знаний по модулю 3	149
 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	 159

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум «Горячая обработка металлов» является частью учебно-методического комплекта по дисциплине «Материаловедение и технология конструкционных материалов», которая относится к циклу общепрофессиональных дисциплин для группы специальностей 74 06 «Агроинженерия»; специальности 1-54 01 01 «Метрология, стандартизация и сертификация (по направлениям)», направления специальности 1-54 01 01-06 «Метрология, стандартизация и сертификация (аграрно-промышленный комплекс)»; специальности 1-36 12 01 «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники».

Структура лабораторного практикума соответствует учебной модульно-рейтинговой программе, разработанной кафедрой «Технология металлов» БГАТУ. Лабораторный практикум состоит из трех самостоятельных модулей: «Основы металлургических процессов и литейное производство», «Обработка металлов давлением», «Сварочное производство и родственные технологии». В каждом из модулей представлены материалы для лабораторных работ и самостоятельной работы студентов.

В теоретической части лабораторных работ описаны физико-химические основы способов горячей обработки, наиболее значимые способы реализации каждого из них, конструктивные особенности используемого оборудования и инструментов. Приведены конкретные примеры использования того или иного способа горячей обработки для получения различных машиностроительных деталей, в т. ч. сельскохозяйственной техники.

В практической части лабораторных работ приведены методики исследований, испытаний, обработки полученных результатов и рекомендации по формулированию выводов.

Каждый модуль заканчивается разноуровневыми заданиями, которые должны быть выполнены студентами при контроле знаний по модулю. Билет для разноуровневого контроля знаний по модулю имеет следующую структуру:

– уровень I (репродуктивный): 6 тестовых заданий (компьютерное тестирование). Правильный ответ оценивается в 0,5 балла;

– уровень II (продуктивный): 2 задания. В зависимости от полноты и качества выполнения задания правильный ответ оценивается в 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 балла за каждое задание;

– уровень III (творческий): 1 задание повышенной трудности. Максимальная оценка – 3 балла.

МОДУЛЬ 1. ОСНОВЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

В результате изучения модуля студент должен:

- *знать* методы получения металлов из руд, методы получения деталей различными методами литья, литейные сплавы и их свойства;
- *уметь* осуществлять выбор методов литья, оборудования и другой технологической оснастки в зависимости от условий реализации процесса.

ЗАНЯТИЕ 1

Лабораторная работа № 1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ

Цель работы: ознакомиться с исходными материалами и процессами приготовления формовочных смесей; изучить свойства формовочных смесей; освоить методы определения газопроницаемости и предела прочности при сжатии смесей.

Теоретическая часть

1. Классификация и назначение материалов, используемых для приготовления формовочных смесей

Исходными материалами для изготовления форм и стержней являются соответственно формовочные и стержневые смеси. Из **формовочных смесей** изготавливают формы, из **стержневых** – стержни. Смеси готовят из материалов, которые состоят из песка, глины и других добавок. Кроме исходных материалов для приготовления смесей широко используют оборотные (бывшие в употреблении) смеси.

Песок – один из основных исходных материалов для всех формовочных и стержневых смесей. Наиболее часто применяют кварцевый песок, основой которого является SiO_2 ($t_{\text{пл}} = 1713 \text{ }^\circ\text{C}$). Реже в формовочных смесях применяют цирконовый песок $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ ($t_{\text{пл}} = 2000 \text{ }^\circ\text{C}$), хромит – хромистый железняк $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ ($t_{\text{пл}} = 1850 \text{ }^\circ\text{C}$) и другие

материалы. Они превосходят кварцевый песок по термохимической устойчивости и теплопроводности, но более дороги и используются в особо ответственных случаях, например для получения крупных стальных отливок (отливка – заготовка, полученная методом литья).

Глина также является одним из основных исходных материалов в песчано-глинистых смесях. Это связующее вещество, обеспечивающее прочность и пластичность форм или стержней. Глина представляет собой измельченные горные породы, имеющие после увлажнения высокую пластичность. В большинстве формовочных глин основными материалами являются каолинит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Кроме каолиновых глин применяют и бентонитовые, которые обладают в 2...3 раза большей связующей способностью. Термостойкость бентонитовых и каолиновых глин равна соответственно 1300 и 1750 °С.

Составы формовочных и стержневых смесей выбирают в зависимости от вида литейного сплава, массы и конфигурации отливок и других условий.

Простые песчано-глинистые смеси (без специальных добавок) обладают рядом недостатков. Связующее вещество (глина) оказывает на некоторые свойства смеси негативное влияние. Для повышения прочности и пластичности в смесях должно содержаться большое количество глины, но это приводит к уменьшению газопроницаемости и непригораемости, а в сухих формах – к ухудшению податливости и выбиваемости. Поэтому для улучшения свойств песчано-глинистых смесей в их состав вводят добавки, смачиваемые водой (цемент, жидкое стекло, сульфитно-спиртовая барда, патока, декстрин), а также добавки, не смачиваемые водой и не растворяющиеся в ней (масла, смолы, канифоль, лаки, пек).

Для предотвращения пригара и улучшения чистоты поверхности отливок на поверхность форм и стержней наносят тонкий слой противопригарных материалов. Для сырых форм применяют припылы, для сухих – краски. Противопригарные материалы для чугунных отливок представляют собой смесь оксида магния, древесного угля и бентонита, для стальных отливок – смесь оксида магния и огнеупорной глины, пылевидный кварц, циркон.

Для повышения податливости и газопроницаемости сухих форм для чугунных отливок в смеси добавляют древесные опилки, при сгорании которых образуются дополнительные поры.

2. Классификация формовочных смесей по назначению

Песчано-глинистые смеси по назначению делят на облицовочные, наполнительные и единые.

Облицовочная смесь более качественная, имеет высокую прочность и газопроницаемость. Для ее приготовления берут большое количество свежих материалов – песка и глины. При изготовлении формы такую смесь наносят на модель, создавая в литейной форме поверхностный слой толщиной 40...100 мм, подвергаемый наибольшему гидродинамическому и термическому воздействию расплава металла при заливке. Остальной объем формы изготавливают из **наполнительной смеси** – менее качественной и в основном состоящей из смеси, бывшей в употреблении. **Единые смеси** применяют в массовом производстве при машинной формовке для заполнения всего объема формы.

3. Механические, технологические и физические свойства формовочных и стержневых смесей

Для получения отливок высокого качества формовочные и стержневые смеси, из которых делают разовые литейные формы и стержни, должны обладать определенным комплексом механических, технологических и физических свойств.

К **механическим свойствам** смесей относятся прочность, поверхностная прочность, пластичность и податливость.

Прочность – способность формы или стержня обеспечивать их сохранность при изготовлении и использовании. Литейные формы (стержни) не должны разрушаться от толчков при сборке и транспортировке, должны выдерживать давление заливаемого металла. Стандартные характеристики прочности: для сырых смесей – предел прочности при сжатии ($\sigma_{сж} = 30...70$ кПа), для сухих (после сушки) – предел прочности при растяжении ($\sigma_{в} = 80...200$ кПа).

Поверхностная прочность (осыпаемость) – сопротивление истирающему действию струи металла при его заливке. При недостаточной поверхностной прочности наблюдается осыпаемость, т. е. отделение частиц смеси и попадание их в отливку.

Пластичность – способность смеси воспроизводить и сохранять размеры и конфигурацию полости в литейной форме (стержневом ящике).

Податливость – способность смеси сокращаться (деформироваться) под воздействием усадки сплава. При недостаточной податливости возникает напряжение, которое может привести к образованию трещин в отливке.

К *технологическим свойствам* смесей относятся текучесть, термомеханическая устойчивость, негигроскопичность, выбиваемость и долговечность.

Текучесть – способность смеси обтекать модель при формовке, заполнять полость стержневого ящика. Перемещение частиц формовочных (стержневых) смесей должно происходить при возможно минимальных усилиях в процессе формовки и обеспечивать одинаковое уплотнение во всех частях формы (стержня) без образования рыхлых мест и пустот.

Термохимическая устойчивость (непригораемость) – способность смеси выдерживать высокую температуру заливаемого сплава без оплавления или химического взаимодействия.

Негигроскопичность – способность смеси после сушки не поглощать влагу из воздуха в течение длительного времени.

Выбиваемость – способность легко удаляться из форм и полостей отливок при их выбивке после охлаждения.

Долговечность – способность смеси сохранять свои свойства при многократном использовании. Для изготовления 1 т отливок расходуется 5...6 т формовочной смеси и 1 т стержневой.

К *физическим свойствам* смесей относятся газопроницаемость, а также их теплофизические свойства.

Газопроницаемость – способность пропускать через стенки формы (стержня) газы, образующиеся при соприкосновении расплавленного металла с формой (стержнем), а также в процессе кристаллизации отливки. В расплавленном металле всегда содержатся растворенные газы, выделяющиеся при его охлаждении и затвердевании. При недостаточной газопроницаемости формы в отливке и на ее поверхности могут образовываться газовые пузыри-раковины. Газопроницаемость формовочных смесей характеризуется коэффициентом газопроницаемости K , определяемом при помощи специального прибора. Для песчано-глинистых смесей $K = 0...120$.

Теплофизические свойства (теплопроводность, теплоемкость) существенно влияют на скорость кристаллизации металла и его последующее охлаждение и тем самым на структуру и свойства отливок.

Практическая часть

Оборудование и инструменты: лабораторные бегуны, лабораторный копер, бункеры для смесей, прибор для определения газопроницаемости, прибор для определения прочности при сжатии образцов во влажном состоянии, мензурка, весы с разновесами, металлическая линейка.

Материалы: сухой кварцевый песок, бентонитовая глина, вода, формовочная песчано-глинистая смесь.

1. Приготовление формовочных смесей

Приготовление формовочной смеси – процесс получения однородного многокомпонентного соединения формовочных материалов различного назначения.

Приготовление формовочных смесей заключается в перемешивании, увлажнении, вылеживании и разрыхлении предварительно подготовленных формовочных материалов. Компоненты смеси перемешивают с помощью смесителей различных типов. Для приготовления смесей в основном используют специализированные смесители: катковые (бегуны) и шнековые (рис. 1.1).

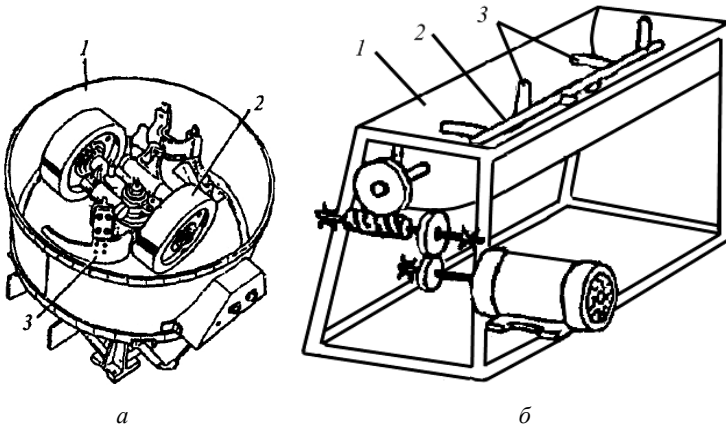


Рис. 1.1. Смесители для приготовления формовочных смесей:
а – катковый (бегуны): 1 – чаша; 2 – каток; 3 – плужок;
б – шнековый: 1 – емкость; 2 – вал перемешивающего устройства; 3 – лопасти

Сущность процесса перемешивания состоит в получении из песка, глины и воды однородной смеси, в которой каждая частица песка покрыта тонким равномерным слоем влажной глины, с помощью которой происходит «склеивание» частиц песка между собой. Одновременно со смешиванием осуществляется перетирание частиц песка без их разрушения. При такой обработке смесь будет обладать наилучшими свойствами при наименьшем расходе глины.

Увлажненная формовочная смесь выдерживается 2...3 ч для выравнивания влажности по всему ее объему.

Для проведения испытаний необходимо приготовить смесь из 0,2 кг глины и 1,8 кг сухого кварцевого песка и перемешать ее в лабораторных бегунах в течение 2 мин, затем добавить воду (2...6 %). В случае использования готовой формовочной смеси также перемешать ее в бегунах и увлажнить, добавив указанное количество воды.

2. Определение свойств формовочных смесей

Изучить основные свойства формовочных смесей (газопроницаемости и прочности) по приведенным методикам.

Методика определения газопроницаемости

Определить газопроницаемость путем измерения времени прохождения известного объема воздуха под постоянным давлением через стандартный образец или ускоренным методом – по перепаду давления на образце (ГОСТ 234095–78).

Для проведения испытаний применить стандартный прибор, показанный на рис. 1.2.

На чугунном основании 6 укреплен бак 5 с трубкой 4 (рис. 1.2, а). Внутри бака помещается колокол 3 с трубкой 2. При опускании колокола в бак трубка 2 входит в трубку 4 (рис. 1.2, б). Сверху колокола 3 закреплен груз 1, утяжеляющий колокол. До начала испытаний в бак 5 наливают воду и опускают в нее колокол 3. Находящийся в колоколе воздух выходит через трубку 4, трехходовой кран 7 и воздухопровод с калиброванным ниппелем 9. Тонкие отверстия ниппеля обеспечивают определенный минутный расход воздуха, что исключает необходимость пропускания точного объема воздуха и определения времени его прохождения. Кран 7 предназначен для регулирования течения воздуха через воздухопровод и гильзу с образцом 8. Полость, расположенная перед образцом, соединена с воздухопроводом и манометром 10.

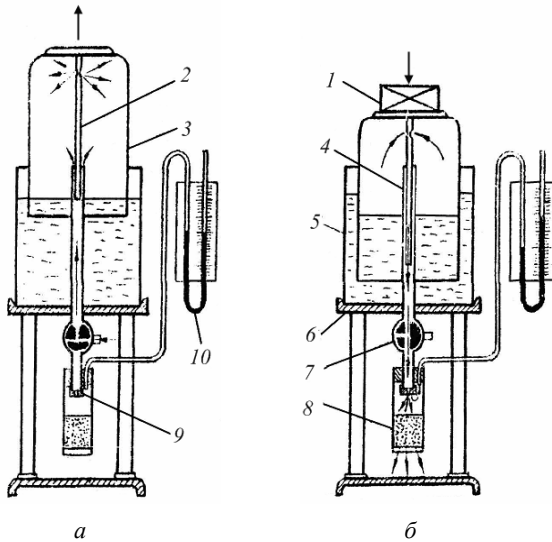


Рис. 1.2. Схема прибора для определения газопроницаемости формовочных смесей:
а – до начала испытания; *б* – в процессе испытания

При испытаниях принимается, что проходящий через образец объем воздуха равен $V = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, а его давление перед образцом составляет $\Delta P = 980,7 \text{ Па}$ (10 мм вод. ст.) и обеспечивается подбором груза на колоколе. Толщина образца $h = (50,0 \pm 0,8) \text{ мм}$, диаметр $D = (50,00 \pm 0,02) \text{ мм}$.

Для определения газопроницаемости и прочности формовочной смеси изготавливают стандартные образцы. Испытуемая смесь массой $(165 \pm 15) \text{ г}$ засыпается в металлическую гильзу с вставным дном, имеющую внутренний диаметр $(50,0 \pm 0,2) \text{ мм}$ и высоту 119 мм.

Металлическая гильза с засыпанной в нее навеской формовочной смеси для уплотнения образца переносится на лабораторный копер. Поворачивая ручку эксцентрика, поднимают груз; при дальнейшем повороте рукоятки груз соскакивает с эксцентрика и, падая, ударяется о нижний упор, закрепленный на стержне. Удар груза через стержень и боек передается навеске формовочной смеси, находящейся в гильзе, и уплотняет ее. Конструкция копра обеспечивает постоянство высоты подъема груза (50 мм) во время последующих ударов.

Для стандартного уплотнения образца должно быть сделано три удара грузом, масса которого 6350 г. При соблюдении перечисленных требований получают образец, высота которого составляет $(50,0 \pm 0,8)$ мм. Высота образца контролируется с помощью горизонтальных рисок на стойке копра.

После уплотнения образца формовочной смеси он вместе с гильзой 8 снимается с копра и переносится на прибор для испытания на газопроницаемость.

При ускоренном методе определения газопроницаемости достаточно зафиксировать показание водяного манометра, а газопроницаемость определяется по специальной таблице, закрепленной на приборе, нормальным или ускоренным методом и выражается числом без указания размерности (ГОСТ 23409.6–78).

Стандартные образцы формовочной смеси изготавливаются в металлической гильзе на лабораторном копре в соответствии с двух-, трех-, четырехкратным уплотнением. Испытания на газопроницаемость ускоренным методом по описанной методике для каждого вида уплотнения проводят на трех образцах. Истинное значение находится как среднее арифметическое измеренных значений.

Методика определения прочности

Необходимо определить предел прочности влажных образцов формовочной смеси при сжатии на специальном приборе посредством приложения равномерно возрастающей нагрузки к плоским торцам образца вдоль его оси (ГОСТ 23409.7–78).

Рычажный прибор (рис. 1.3) представляет собой станину 8 с двумя подшипниками 7. На них укреплен ходовой винт, при вращении которого передвигается каретка 6 с указателем. На верхний ролик каретки опирается градуированный рычаг 4. Один конец рычага шарнирно связан с вертикальной скалкой 9, на другом конце рычага помещен груз 5. На скалке укреплен лоток и площадка 3 для установки испытуемого образца 10. У вертикальной скалки прибора к станине прикреплен траверса 1. Вверху траверса имеет винт с верхней упорной площадкой 2.

Прибор устанавливается на лабораторном столе. Перед испытаниями проверяют правильность расположения груза на рычаге с нанесенной на него градуировочной шкалой.

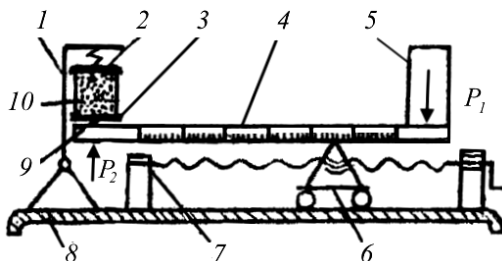


Рис. 1.3. Схема прибора для определения прочности формовочной смеси

После определения газопроницаемости образец выдавливают из гильзы и переносят на рычажный прибор. Образец закрепляют между площадками прибора и вращают ходовой винт со скоростью не более 40 об/мин. При перемещении каретки от исходного положения с постепенным увеличением нагрузки P_1 , сжимающей образец, изменяется соотношение длин плеч рычага. В момент разрушения образца вращение ходового винта прекращают и по указателю фиксируют предел прочности образца, кгс/см².

Предел прочности на сжатие образцов формовочной смеси при различной степени уплотнения (2, 3, 4 удара груза) определяют на приборе в соответствии с описанной методикой. Для этого образцы после нахождения газопроницаемости извлекают из гильзы при помощи выталкивателя и помещают на специальную площадку прибора.

3. Содержание отчета

1. Классификация и назначение материалов (основных и вспомогательных), используемых для приготовления формовочных смесей.

2. Классификация формовочных смесей по назначению.

3. Механические, технологические и физические свойства формовочных и стержневых смесей.

4. Оформление результатов работы

Полученные экспериментальные данные газопроницаемости и предела прочности занести в таблицу.

Изучение влияния уплотняемости формовочной смеси
на ее газопроницаемость и прочность

Количество ударов на копре	Газопроницаемость				Предел прочности на сжатие, кгс/см ² (КПа)			
	1	2	3	средняя	1	2	3	средняя
2								
3								
4								

По результатам экспериментальных данных построить графики зависимости газопроницаемости и предела прочности от степени уплотненности формовочной смеси и сделать вывод.

Вопросы для текущего контроля

1. Каков состав формовочных смесей?
2. Как классифицируются формовочные материалы?
3. Как классифицируются формовочные смеси по назначению?
4. Каковы свойства формовочных смесей?
5. С помощью какой методики определяют газопроницаемость?
6. С помощью какой методики определяют прочность?

ЗАНЯТИЕ 2

Лабораторная работа № 2 ИЗГОТОВЛЕНИЕ РАЗОВОЙ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТОЙ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ

Цель работы: ознакомиться с технологическим процессом изготовления разовой песчано-глинистой формы в парных опоках по разъемной модели.

Теоретическая часть

1. Литейная оснастка, используемая для изготовления песчано-глинистых форм при ручной формовке

Литейная оснастка – комплекс приспособлений, используемых для изготовления песчано-глинистых форм (ПГФ). Совокупность

технологической оснастки и приспособлений, необходимых для изготовления полости в ПГФ, называется **модельным комплектом**, включающим модели отливки и элементов литниковой системы, модельные и сушильные плиты, стержневые ящики, формирующие, контрольные и сборочные шаблоны для конкретной отливки. **Формовочный комплект** представляет собой полный комплект оснастки, используемый для получения ПГФ. Наряду с приспособлениями модельного комплекта в него входят необходимые для изготовления форм опоки, дополнительные рамки, штыри, скобы и т. д.

Литейная модель (рис. 2.1) – приспособление, предназначенное для получения в литейной форме полостей, соответствующих наружной конфигурации отливки.

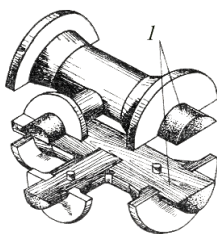


Рис. 2.1. Литейная модель:
1 – стержневые знаки

Модель имеет ряд отличий от отливки:

1. Размеры модели делают больше, чем соответствующие размеры отливки, с учетом линейной усадки сплава (для углеродистых сталей – 2,0...2,5 %, для чугуна – 0,8...1,2 %, для медных сплавов – 1,0...1,5 %, для алюминиевых – 0,9...1,2 %) и припусков на последующую механическую обработку. Припуск зависит от размера отливки и вида сплава. Так, для мелкого чугунного литья припуск составляет 0,7...5,0 мм на сторону.

2. Модель изготавливают со стержневыми знаками 1. Знаки на модели образуют в форме дополнительные полости, в которые помещают знаковые части стержня.

3. Вертикальные стенки модели делают с уклоном 0,5...3,0°, чтобы при извлечении модели форма не разрушалась. Сопряжения стенок в модели должны быть плавными и без острых углов. Скругление внутренних углов называется галтелью, наружных –

закруглением ($R = \frac{1}{5} \dots \frac{1}{3}$ от среднего арифметического значения толщины стенок).

4. Модели изготавливают из дерева, металла или пластмассы. Выбор материала модели и степень точности ее изготовления зависит от серийности производства. Отливки в единичном производстве, как правило, изготавливают по деревянным моделям, а в серийном и массовом – по металлическим.

Стержневой ящик (рис. 2.2) – приспособление, имеющее рабочую полость для получения стержней нужных размеров и очертаний. **Стержень** (рис. 2.3) – приспособление, служащее для формирования отверстий и полостей внутри отливок. При выборе размеров стержневых ящиков учитывают величину усадки сплава и, если требуется, припуски на механическую обработку, а конфигурация предусматривает формирование стержневых знаков. Стержневые ящики имеют литейные уклоны, как и модели, и делаются из тех же материалов. По конструкции стержневые ящики могут быть неразъемными (вытряхиваемыми) и разъемными, которые подразделяются на ящики с вертикальными и горизонтальными разъемами.

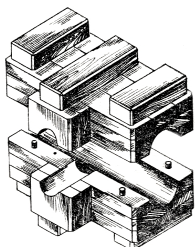


Рис. 2.2. Стержневой ящик

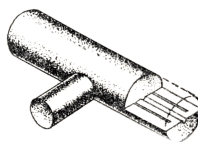


Рис. 2.3. Стержень

Формы по модели изготавливают с помощью специальных рамок, называемых **опоками** (рис. 2.4). Опоки (верхняя 1 и нижняя 5) являются своеобразным остовом формы, предохраняющим ее от разрушения при изготовлении, сборке, транспортировке и заливке. Центровка опок при изготовлении и сборке формы производится при помощи штырей 4, укрепленных в ушках 3. Каждая половина модели заформовывается в отдельной опоке. После извлечения моделей в нижнюю опоку устанавливаются стержни 2, а на ней размещается верхняя опока. В зависимости от размеров и массы различают ручные и крановые опоки. К ручным относят опоки, масса которых вместе с уплотненной формовочной смесью не превышает 50 кг.

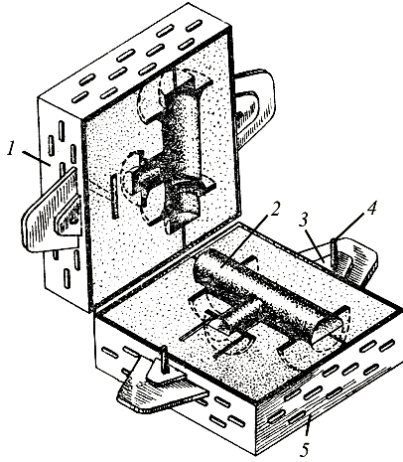


Рис. 2.4. Опоки

Модельная плита – плита, формирующая разъем литейной формы и несущая различные части модели, включая литниковую систему, а также служащая подставкой при набивке одной из парных опок при изготовлении формы.

Литейную форму заливают расплавленным металлом через **литниковую систему** – совокупность каналов и резервуаров, по которым расплавленный металл поступает из разливочного ковша в полость литейной формы. В модельный комплект входят **модели элементов литниковой системы**. Основными элементами являются литниковая чаша, стояк, шлакоуловитель, питатели (рис. 2.5).

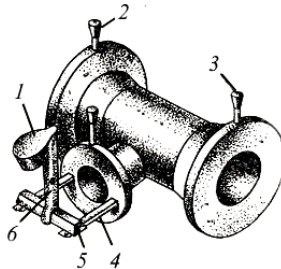


Рис. 2.5. Отливка с элементами литниковой системы:

1 – литниковая чаша; 2, 3 – выпоры;
4 – питатель; 5 – шлакоуловитель; 6 – стояк

Чаша 1 уменьшает размывающее действие струи расплавленного металла и задерживает всплывающий шлак.

Стояк 6 – вертикальный круглый сужающийся канал, куда направляется жидкий металл из литниковой чаши.

Шлакоуловитель 5 – горизонтальный канал трапецевидного сечения, который служит для задержания шлака и соединяет стояк с питателем.

Питатель 4 – горизонтальный канал (один или несколько) в нижней полуформе, соединяющий шлакоуловитель с полостью литейной формы.

Для выхода из формы воздуха и всплывающих неметаллических включений на верхних частях формы для средних и крупных отливок делают *выпоры 2 и 3* (вертикальные каналы, расширяющиеся кверху).

Для получения отливок без усадочных раковин, которые могут образовываться из-за уменьшения объема металла при его затвердевании, у массивных частей отливки, где усадка проявляется наиболее активно, предусматривают специальные дополнительные полости, заполняемые жидким металлом в процессе заливки и называемые *прибылями*. Прибыли осуществляют постоянную дополнительную подпитку жидким металлом полости формы. В них металл кристаллизуется в последнюю очередь.

Литниковые системы в зависимости от формы и размеров отливки, состава и свойств литейного сплава имеют различное устройство (металл можно подводить в полость литейной формы сверху, снизу или сбоку). Таким образом, литниковая система может быть верхней, нижней (сифонной) и ярусной (боковой).

Для лучшего задержания шлаковых включений в литниковые чаши могут дополнительно устанавливаться фильтры.

2. Технология изготовления разовых песчано-глинистых форм ручной формовкой в парных опоках по разъемной модели

Ручную формовку применяют при изготовлении отливок (одной или нескольких) в опытном и ремонтном производстве, а также крупных отливок. Используют различные приемы ручной формовки (в парных опоках по разъемной модели, формовку в кессонах и др.).

В настоящее время наибольшее распространение получила формовка в парных опоках по разъемной модели (рис. 2.6).

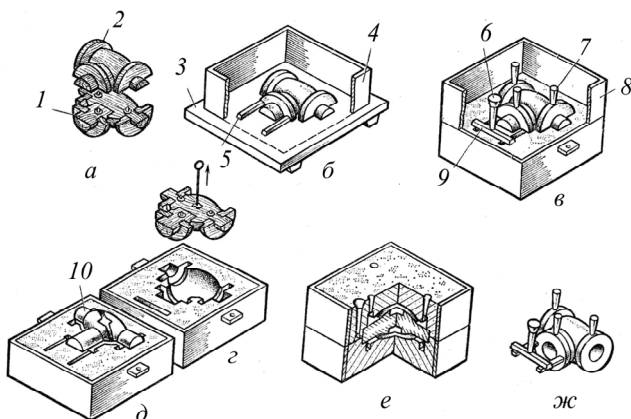


Рис. 2.6. Последовательность операций при изготовлении литейной формы для корпуса вентиля

Литейную форму, состоящую из двух полуформ, изготавливают по разъемной модели (рис. 2.6, а) в следующей последовательности: на модельную плиту 3 устанавливают нижнюю половину модели 1, модели питателей 5 и нижнюю опоку 4 (рис. 2.6, б), в которую засыпают формовочную смесь и уплотняют. Опоку поворачивают на 180° (рис. 2.6, в), устанавливают верхнюю половину модели 2, модели шлакоуловителя 9, стояка 6 и выпоров 7. По центрирующим штырям устанавливают верхнюю опоку 8, засыпают формовочную смесь и уплотняют ее. После извлечения модели стояка и выпоров форму раскрывают. Из полуформ извлекают модель отливки (рис. 2.6, г) и модели элементов литниковой системы. В нижнюю полуформу устанавливают стержень 10 (рис. 2.6, д) и накрывают нижнюю полуформу верхней. На рис. 2.6, е показана литейная форма в сборе для изготовления корпуса вентиля. После заливки расплавленного металла и его затвердевания литейную форму разрушают и извлекают отливку (рис. 2.6, ж).

Практическая часть

Оборудование и инструменты: лабораторные бегуны, весы, емкость для хранения формовочной смеси и компонентов для ее изготовления, модельный комплект (парные опоки, модельная плита, модели отливки и литниковой системы), инструмент для ручной

формовки (трамбовка, формовочный нож, формовочное шило (душник), сито).

Материалы: кварцевый песок, формовочная глина, отработанная формовочная смесь, вода.

1. Приготовление песчано-глинистой смеси

Изготовить формовочную смесь заданного состава: сухой кварцевый песок – 1900 г (95 %), формовочная глина – 100 г (5 %), вода – 80 г (4 % от массы смеси песка и глины). Вновь приготовленную смесь можно смешать с ранее отработанной.

2. Изготовление разовой литейной формы

Изготовить песчано-глинистую форму в парных опоках по разъемной модели в следующей последовательности.

Процесс формовки (рис. 2.7) начинают с изготовления нижней полуформы. Набивку нижней опоки 3 (рис. 2.7, а) начинают с размещения на подмодельном щитке нижней части модели 2. Затем на подмодельный щиток устанавливается перевернутая нижняя опока 3. На поверхность модели наносится формовочная смесь 1 и уплотняется острым наконечником трамбовки 4. Формовочная смесь засыпается послойно, и после ее уплотнения вокруг модели последующие слои, заполняющие форму, уплотняются плоским наконечником трамбовки 4 (рис. 2.7, б). Излишек смеси сверху опоки срезают формовочной линейкой 6. Для получения вентиляционных каналов делают формовочных шилом (душником) 5 наколы, не доходящие до модели на 15...20 мм (рис. 2.7, в).

Нижнюю полуформу поворачивают на 180° и ставят на ровную поверхность (рис. 2.7, з). При изготовлении верхней полуформы набивают формовочной смесью верхнюю опоку, для чего устанавливают на нижнюю полуформу верхнюю часть модели и накрывают ее верхней опокой 9. После этого в верхней опоке размещают модели элементов литниковой системы – стояка 8 и выпора 7. После уплотнения смеси вентиляционные каналы накалывают душником (рис. 2.7, д).

Для извлечения модели форму разбирают, предварительно удалив стояк и выпор, полуформы устанавливают плоскостью разъема вверх (рис. 2.7, е, ж). Специальным ножом 11 вырезают питатели в нижней полуформе (рис. 2.7, е) и шлакоулавнитель – в верхней (рис. 2.7, ж). Предварительно расштатав полумодели, их извлекают

из полуформ с помощью подъема 10. Полуформы перед сборкой подсушивают и производят заделку дефектов.

Сборка форм производится после припыла поверхности полуформ для уменьшения пригара графитом, тальком или пылевидным кварцевым песком.

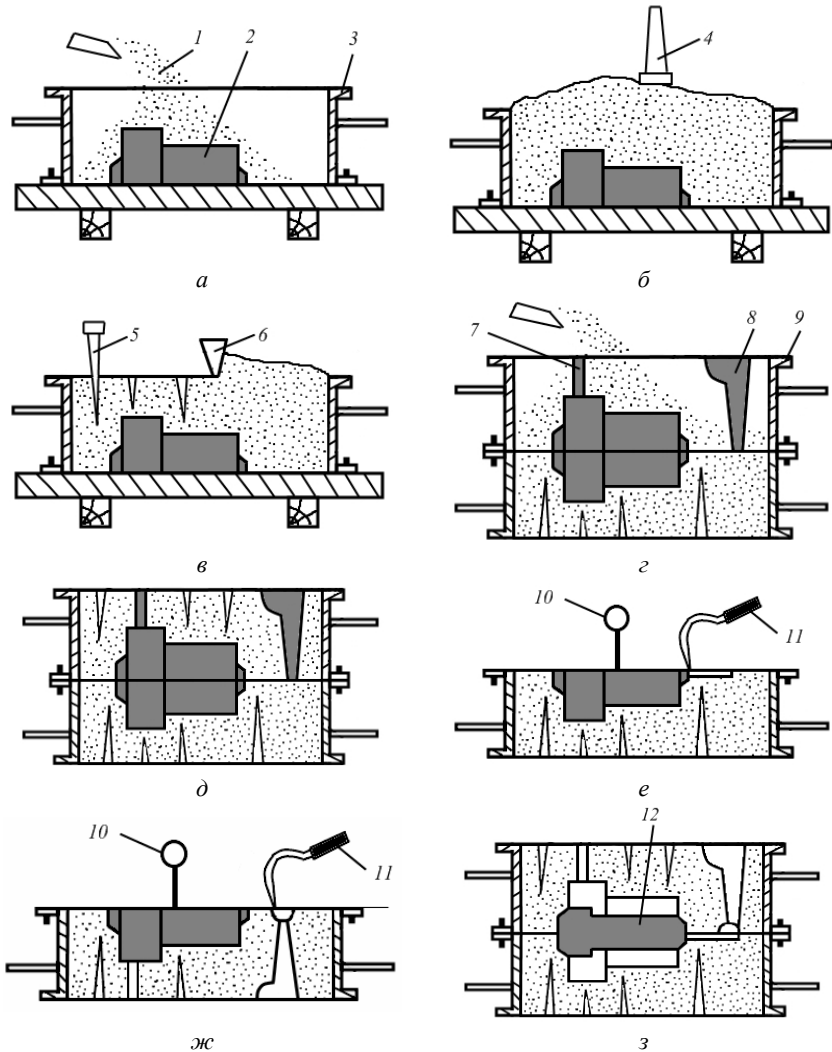


Рис. 2.7. Технологический процесс формовки

Изготовленный в стержневом ящике стержень 12 устанавливают в нижнюю полуформу, а верхнюю (по фиксирующим штырям) помещают на нижнюю (рис. 2.7, з). Полуформы скрепляют клином.

3. Содержание отчета

1. Литейная оснастка, используемая для изготовления песчано-глинистых форм при ручной формовке: модельный комплект (модели отливки и элементов литниковой системы, модельные плиты, стержневые ящики, формующие, контрольные и сборочные шаблоны).

2. Технология изготовления разовых песчано-глинистых форм ручной формовкой в парных опоках по разъемной модели.

4. Оформление результатов работы

Изобразить эскиз детали, а также эскизы модели и стержня, используемые при получении разовой песчано-глинистой формы.

Описать этапы изготовления песчано-глинистой формы в парных опоках по разъемной модели.

Изобразить эскиз формы в сборе.

Вопросы и задания для текущего контроля

1. Чем литая деталь отличается от отливки?
2. Дайте определение литниковой системы и перечислите ее основные элементы.
3. Какие приспособления включает в себя модельный комплект?
4. Дайте определение модели. Чем она отличается от детали?
5. Как протекает технологический процесс изготовления разовой литейной формы по разъемной модели?

ЗАНЯТИЕ 3

Лабораторная работа № 3 АНАЛИЗ СВОЙСТВ ОТЛИВОК, ПОЛУЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ ЛИТЬЯ

Цель работы: ознакомиться с технологиями изготовления отливок в песчано-глинистой форме и кокиле; изучить влияние способа литья на свойства отливок.

Теоретическая часть

1. Общие сведения о специальных способах литья

Качество отливок, полученных в ПГФ (точность геометрических размеров, степень шероховатости поверхности и др.), во многих случаях не удовлетворяет требованиям современной техники. Поэтому в современном литейном производстве все более широко применяются специальные способы литья: по выплавляемым моделям, в оболочковые формы, в кокиль, под давлением, центробежное литье и др.

2. Особенности свойств отливок, получаемых различными способами

Специальные способы литья относятся к прогрессивным технологическим процессам, позволяющим экономить материальные, энергетические и трудовые ресурсы и получать отливки с требуемой конфигурацией, точными размерами и чистой поверхностью более высокой, чем при применении песчано-глинистых форм. Механизация и автоматизация технологических процессов изготовления отливок специальными методами обеспечивают высокую производительность труда и хорошее качество изделий и снижают их себестоимость. Каждый специальный способ литья имеет особенности, определяющие область его применения и экономическую эффективность, и обладает своими достоинствами и недостатками.

3. Требования, предъявляемые к отливкам при выборе способа литья

При выборе способа литья руководствуются общими, специальными и экономическими требованиями к отливкам.

Общие требования регламентируют размерную точность отливки, качество ее поверхности (шероховатость), механические свойства и качество литого металла.

Размерная точность отливки представляет собой степень соответствия фактических и указанных в чертеже размеров. Согласно ГОСТ 26645–85 предусмотрены 22 класса размерной точности (1...16, в т. ч. классы 3т, 5т, 7т, 9т, 11т, 13т). Более высокому числовому значению класса размерной точности соответствуют и бóльшие допуски на размеры отливки, т. е. меньшая ее точность.

Качество поверхности отливок оценивается прежде всего степенью точности поверхности и зависит от ее шероховатости (ГОСТ 26645–85). *Шероховатость* поверхности чаще всего оценивается по номинальным значениям следующих параметров (мкм): среднего арифметического отклонения профиля Ra (среднее арифметическое абсолютных значений отклонения профиля) и высоты неровностей профиля по десяти точкам Rz (среднее значение абсолютных размеров пяти наибольших выступов и пяти наибольших впадин профиля). На шероховатость поверхности оказывают влияние размер и конфигурация (сложность формы) отливки, состав сплава и способ литья.

К *механическим свойствам*, определяющим работоспособность отливки в данных условиях эксплуатации, относятся требуемые значения твердости, прочности, пластичности, ударной вязкости и др. Высокими механическими свойствами обладают отливки с равномерной мелкозернистой структурой, которая достигается литьем в кокиль или под давлением, центробежным литьем и др.

Качество литого металла определяется литейными свойствами сплавов и характеризуется отсутствием раковин (усадочных и газовых), пористости, ликвации компонентов сплава в объеме отливки, горячих и холодных трещин и коробления в отливках.

Специальные требования к отливкам вытекают из функционального назначения последних и условий эксплуатации. К этим требованиям относится обеспечение:

– *герметичности* в условиях низкого и сверхвысокого вакуума, а также повышенного давления газа или жидкости;

– *коррозионной стойкости* в агрессивных средах, *термостойкости* (способности не разрушаться под действием циклических нагрузок, вызванных многократным нагревом и охлаждением);

– *износостойкости* при трении качением или скольжением (со смазкой и без нее);

– *стабильности размеров* в условиях действия знакопеременного нагружения или повышенных температур.

Реализация данных требований достигается выбором состава литейного сплава, оптимального метода литья и последующей обработки (механической и термической).

Экономические требования, предъявляемые к конкретному методу литья, определяются технико-экономическими показателями: коэффициентом использования металла, относительной себестоимостью

отливок, экономически оправданной серийностью. В этом случае критериями выбора рационального способа литья являются экономия используемых материалов, отсутствие необходимости в механической обработке, обеспечение минимальной себестоимости отливки и др.

4. Технология получения отливок в кокиле

Кокиль представляет собой закрытую металлическую литейную форму с внутренней полостью, соответствующей конфигурации изделия. Расплав заливают в кокиль через литниковую систему, выполненную в его стенках. При заполнении кокиля расплавом воздух и газы удаляются из его рабочей полости через вентиляционные выпоры, проницаемые венты, пробки и специальные каналы.

Технологический процесс кокильного литья требует специальной подготовки кокиля к заливке и включает следующие операции:

- предварительную чистку рабочей поверхности кокиля;
- нанесение на рабочую поверхность кокиля облицовочного покрытия или краски;
- нагрев кокиля до оптимальной (для каждого сплава своей) температуры;
- сборку кокиля (установку стержней и соединение металлических полуформ);
- заливку жидкого металла в форму;
- охлаждение отливки;
- разборку кокиля и извлечение отливки.

Практическая часть

Оборудование и инструменты: лабораторные бегуны, печь для плавки металла, тигель, прибор для измерения твердости по Бригеллю, весы, емкости для хранения формовочной смеси и компонентов для ее изготовления, заливочный ковш, кокиль, модельный комплект (парные опоки, модельная плита, модели отливки и литниковой системы), инструмент для ручной формовки (трамбовка, формовочный нож, формовочное шило, сито), ложка для снятия шлака, клещи, оборудование для приготовления микрошлифов, металлографический микроскоп, профилометр SJ-201P Mitutoyo.

Материалы: кварцевый песок, формовочная глина, отработанная формовочная смесь, вода, алюминиевый сплав, флюс (поваренная соль), смазка для кокиля, травитель для алюминия, спирт, абразивная бумага, фетр, оксид хрома.

1. Изготовление песчано-глинистой формы

Приготовить несколько замесов формовочной смеси заданного состава: сухой кварцевый песок – 1900 г (95 %), формовочная глина – 100 г (5 %), вода – 80 г (4 % от массы смеси песка и глины). Вновь приготовленную смесь можно смешать с ранее отработанной.

Порядок изготовления песчано-глинистой формы по модельной плите представлен на рис. 3.1.

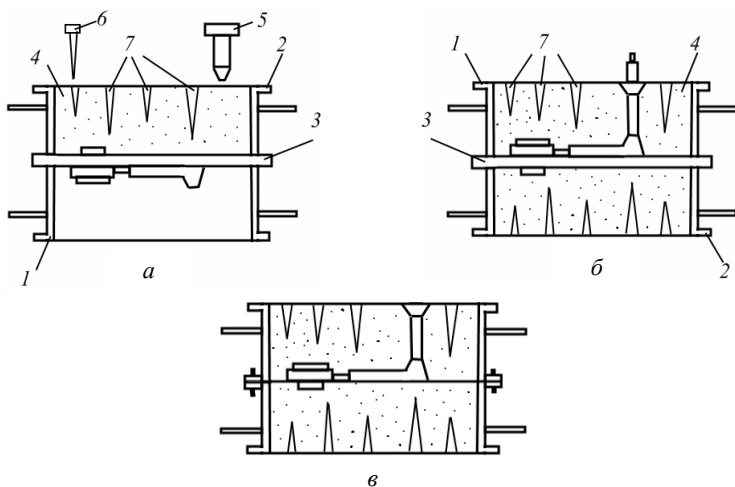


Рис. 3.1. Порядок изготовления песчано-глинистой формы:

1 – верхняя опока; 2 – нижняя опока; 3 – модельная плита; 4 – формовочная смесь;
5 – трамбовка; 6 – формовочное шило; 7 – вентиляционные каналы

На стол устанавливается верхняя опока формы 1, на которую ставится модельная плита 3, перевернутая литниковой системой вниз (см. рис. 3.1, а). На модельную плиту устанавливается нижнюю опоку формы 2, куда засыпается предварительно приготовленная формовочная смесь (примерно до половины высоты формы). Засыпанная смесь 4 уплотняется во всем объеме опоки ударами острого конца трамбовки 5. После уплотнения засыпанной части формовочной смеси опока заполняется формовочной смесью с верхом и уплотняется по всей площади плоским концом трамбовки. Избыток смеси срезается по всей площади опоки формовочным ножом, и с помощью формовочного шила 6 накалывается 5...6 вентиляционных каналов.

Форма переворачивается на 180°, и верхняя опока так же, как и нижняя, набивается формовочной смесью (см. рис. 3.1, б).

После набивки верхней опоки форма разбирается, а модельная плита, модели отливки и литниковой системы извлекаются из формы. Затем форма собирается вновь и устанавливается для заливки жидкого металла (см. рис. 3.1, в).

2. Подготовка кокиля к заливке

Кокиль (рис. 3.2) раскрывается, очищается от грязи, а поверхности кокиля, непосредственно контактирующие с расплавленным металлом (полость отливки и литниковая система), смазываются специальной смазкой. Смазка наносится кистью тонким слоем и содержит 50 % масла веретенного и 50 % порошка графита. После нанесения смазки левая 2 и правая 3 полуформы соединяются. На ручки 1 надевается специальное кольцо, не позволяющее раскрыться полуформам во время заливки. Собранный кокиль устанавливается под заливку воронкой 5 и выпором 6 вверх. Перед заливкой рекомендуется предварительно подогреть кокиль до температуры 200 °С.

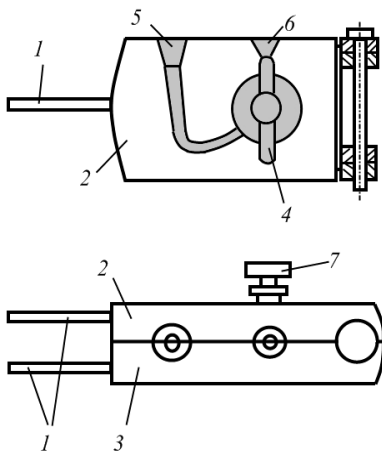


Рис. 3.2. Кокиль:

1 – ручки; 2, 3 – левая и правая полуформы; 4 – полость;
5 – заливочная воронка; 6 – выпор; 7 – толкатель

3. Подготовка расплавленного металла и заливка формы

Отливка изготавливается из силумина. Расплавление сплава производится в электропечи сопротивления, разогретой до температуры 760 °С. Перед плавкой тигель заполняется шихтой с добав-

лением соли NaCl (0,2 % от массы расплавленного металла). Соль добавляется для связывания (шлакования) оксидных пленок. Шлак перед заливкой снимается с поверхности ковша шлаковой ложкой. Заливка форм производится при температуре расплава 700...750 °С. Остаток металла в ковше выливается в тигель.

4. Охлаждение и извлечение отливок

После заливки охладить отливку в форме 15...20 мин.

Выбивку песчаной формы произвести в ящике с формовочной смесью. Из раскрытого кокиля извлечь отливку ударом молотка по толкателю 7.

5. Сравнение отливок, полученных при литье в кокиль и песчано-глинистую форму

Измерить твердость материала полученных отливок, шероховатость их поверхности, определить класс размерной точности.

6. Содержание отчета

1. Требования, предъявляемые к отливкам при выборе способа литья.
2. Технология получения отливок в песчано-глинистых формах.
3. Технология получения отливок в кокиле.

7. Оформление результатов работы

Изучаемые микроструктуры зарисовать и оценить размер зерна.

Результаты проведенных измерений твердости материала отливок, шероховатости поверхности, класса размерной точности занести в таблицу. По результатам работы сделать вывод о влиянии материала литейной формы на свойства отливки.

Таблица

Сравнительная характеристика отливок, полученных при литье в кокиль и песчано-глинистую форму

Способ литья	Характеристики отливки		
	Твердость, <i>HV</i>	Шероховатость поверхности R_a (ГОСТ 26645–85), мкм	Класс размерной точности (ГОСТ 26645–85)
В кокиль			
В песчано-глинистую форму			

Вопросы и задания для текущего контроля

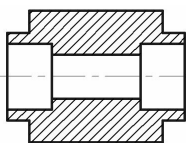
1. Как протекает процесс литья в кокиль?
2. Каковы общие, специальные и экономические требования, предъявляемые к отливкам, полученным различными способами литья?
3. Перечислите преимущества и недостатки литья в кокиль по сравнению с литьем в песчано-глинистые формы.

ЗАНЯТИЕ 4

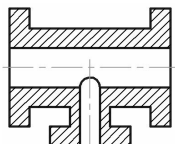
УСРС № 1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАЗОВОЙ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТОЙ ФОРМЫ ДЛЯ КОНКРЕТНОЙ ДЕТАЛИ

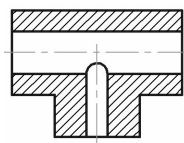
В соответствии с индивидуальным заданием (рис. 4.1) спроектировать разовую песчано-глинистую форму для получения конкретной детали.



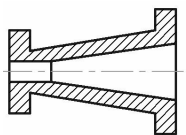
a



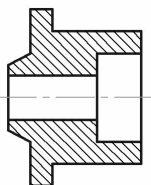
б



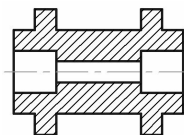
в



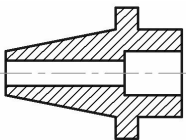
г



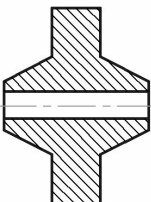
д



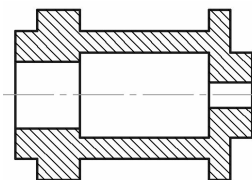
е



ж



з



и

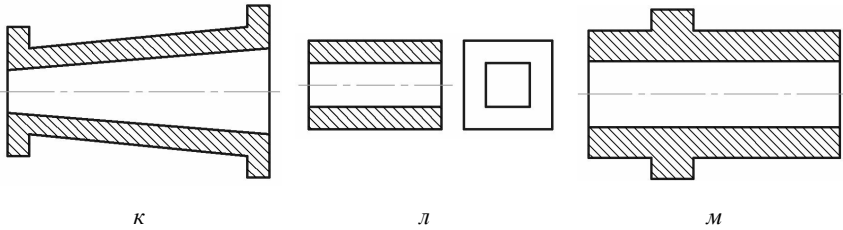


Рис. 4.1. Варианты индивидуального задания

При оформлении работы привести эскизы детали, модели, стержня и песчано-глинистой формы в сборе с обозначением элементов формы и элементов литниковой системы.

Пример выполнения задания представлен на рис. 4.2.

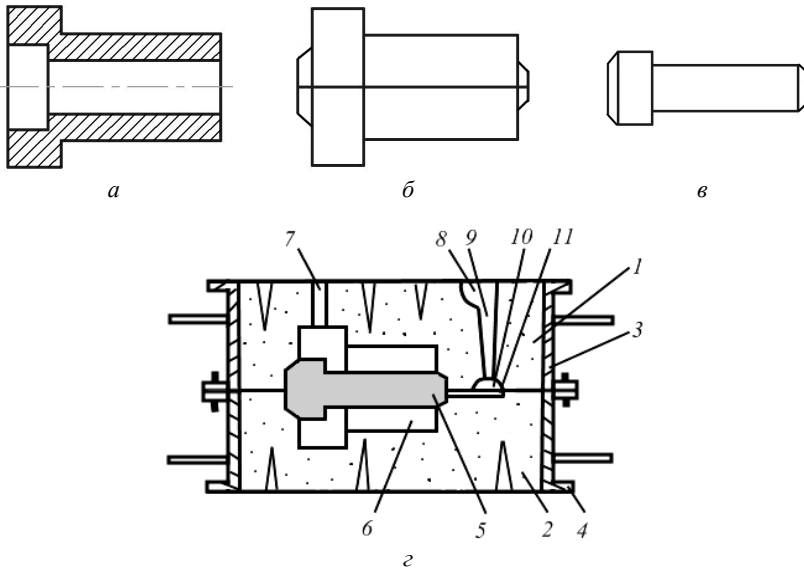


Рис. 4.2. Пример проектирования разовой песчано-глинистой формы по разъемной модели:

- а* – эскиз детали; *б* – эскиз модели;
- в* – эскиз стержня; *г* – эскиз формы в сборе;
- 1, 2* – верхняя и нижняя полуформы;
- 3, 4* – верхняя и нижняя опоки; *5* – стержень;
- 6* – полость литейной формы; *7* – выпор; *8* – литниковая чаша;
- 9* – стояк; *10* – шлакоуловитель; *11* – питатель

ЗАНЯТИЕ 5

Контроль знаний по модулю 1

Уровень I (репродуктивный)

1. Сплавом железа с углеродом с содержанием углерода до 2,14 % является:

1) латунь; 2) сталь; 3) чугун; 4) бронза; 5) дюралюминий.

2. Сплавом железа с углеродом с содержанием углерода свыше 2,14 % является:

1) латунь; 2) сталь; 3) чугун; 4) бронза; 5) дюралюминий.

3. Флюсом в доменной печи является:

1) железная руда; 2) известняк;

3) SiO_2 ; 4) кокс; 5) металлолом (скрап).

4. Компонентом шихты для удаления из доменной печи тугоплавкой пустой породы и золы топлива является:

1) флюс; 2) железная руда; 3) кокс; 4) скрап; 5) топливо.

5. Компонентом шихты для получения в доменной печи шлака с необходимым химическим составом и физическими свойствами является:

1) руда; 2) топливо; 3) флюс; 4) скрап; 5) шлак.

6. Исходными материалами для получения чугуна являются:

1) руда, скрап, топливо; 2) руда, топливо, флюс;

3) скрап, топливо, флюс; 4) огнеупоры, флюс, руда;

5) флюс, огнеупоры, топливо.

7. Основным источником тепла в доменной печи является:

1) кокс; 2) каменный уголь; 3) природный газ;

4) древесный уголь; 5) сжиженный газ.

8. Компонентом шихты для восстановления железа из оксидов в доменной печи является:

1) топливо; 2) флюс; 3) огнеупоры; 4) железная руда; 5) скрап.

9. Основной целью доменного процесса является:

1) восстановление железа из оксидов; 2) окисление железа;

3) науглероживание железа; 4) обезуглероживание железа;

5) обезуглероживание чугуна.

10. Схема восстановления железа в доменной печи:

1) $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$; 2) $\text{Fe} \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$;

3) $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{Fe}$; 4) $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}$;

5) $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$.

11. Компонентом для косвенного восстановления железа в доменной печи является:

1) твердый углерод; 2) CO_2 ; 3) N_2 ; 4) CO ; 5) H_2 .

12. Компонентом для прямого восстановления железа в доменной печи является:

1) N_2 ; 2) CO_2 ; 3) твердый углерод; 4) CO ; 5) H_2 .

13. Основным продуктом доменного производства является:

1) перепельный чугун; 2) литейный чугун;

3) сталь; 4) латунь; 5) алюминий.

14. Агрегатом для выплавки чугуна служит:

1) мартеновская печь; 2) доменная печь;

3) кислородный конвертер; 4) вагранка; 5) электрическая печь.

15. Агрегатом для выплавки чугуна служит:

1) камерная печь; 2) доменная печь; 3) кислородный конвертер;

4) вагранка; 5) методическая печь.

16. Вредными примесями в железных рудах являются:

1) сера и фосфор; 2) кремний и марганец; 3) оксиды железа;

4) сера и марганец; 5) кремний и фосфор.

17. Раскислителями при получении спокойной стали служат:

1) ферромарганец и феррохром; 2) ферромарганец и алюминий;

3) ферромарганец, ферросилиций и алюминий;

4) ферромарганец и ферросилиций; 5) ферросилиций и ферротитан.

18. Вредными примесями в сталях являются:

1) железо и углерод; 2) кремний и марганец; 3) сера и фосфор;

4) сера и марганец; 5) кремний и фосфор.

19. Раскислителями при получении полуспокойной стали служат:

1) ферромарганец и феррохром; 2) ферромарганец и алюминий;

3) ферромарганец, ферросилиций и алюминий;

4) ферромарганец и ферросилиций; 5) ферросилиций и алюминий.

20. Раскислителем при получении кипящей стали служит:

1) ферромарганец; 2) ферросилиций;

3) алюминий; 4) феррохром; 5) ферротитан.

21. Основным исходным материалом для получения стали в кислородных конвертерах является:

1) перепельный жидкий чугун; 2) скрап;

3) железная руда; 4) литейный чугун; 5) ковкий чугун.

22. Содержание углерода в сталях составляет:

1) до 0,8 %; 2) до 2,14 %; 3) более 2,14 %;

4) 0,006...0,025 %; 5) 6,67 %.

23. *Содержание углерода в чугунах составляет:*
- 1) до 2,14 %;
 - 2) 0,006...0,025 %;
 - 3) более 2,14 %;
 - 4) 6,67 %;
 - 5) до 0,8 %.
24. *Параметр, по которому оценивается качество стали:*
- 1) содержание углерода;
 - 2) механические свойства;
 - 3) содержание серы и фосфора;
 - 4) содержание кремния;
 - 5) содержание марганца.
25. *Приспособление в литейной форме для компенсации усадки сплава при кристаллизации называется:*
- 1) литниковой чашей;
 - 2) прибылью;
 - 3) стержнем;
 - 4) питателем;
 - 5) стояком.
26. *Связующим материалом при литье в оболочковые формы является:*
- 1) глина;
 - 2) жидкое стекло;
 - 3) терморезистивная смола;
 - 4) терморезистивный клей;
 - 5) нефтяной пек.
27. *Способом литья, обеспечивающим высокую точность размеров и малую шероховатость поверхности, является литье:*
- 1) в песчано-глинистую разовую форму;
 - 2) центробежное;
 - 3) в кокиль;
 - 4) по выплавляемым моделям;
 - 5) в оболочковые формы.
28. *Недостатком литья в оболочковые формы является:*
- 1) ограничение по массе и размерам детали;
 - 2) малая точность размеров;
 - 3) высокая шероховатость поверхности;
 - 4) сложность изготовления формы;
 - 5) малая прочность формы.
29. *Материалом моделей при литье в оболочковые формы служит:*
- 1) дерево;
 - 2) металл;
 - 3) пластмасса;
 - 4) парафин;
 - 5) стеарин.
30. *Свойством сплава для получения тонкостенных отливок является:*
- 1) малая усадка;
 - 2) низкая температура плавления;
 - 3) хорошая жидкотекучесть;
 - 4) быстрая скорость охлаждения;
 - 5) высокая температура плавления.
31. *Приспособление для получения в отливках отверстий, пазов и выемок называется:*
- 1) стержнем;
 - 2) моделью;
 - 3) выпором;
 - 4) питателем;
 - 5) прибылью.
32. *Приспособление для получения в литейной форме полости, соответствующей наружной конфигурации отливки, называется:*
- 1) стержнем;
 - 2) моделью;
 - 3) стержневыми знаками;
 - 4) опокой;
 - 5) стержневым ящиком.
33. *Формовочной смесью при литье в оболочковые формы является:*
- 1) песчано-глинистая;
 - 2) металлокерамическая;

3) песчано-смоляная; 4) глинисто-клеевая; 5) песчано-клеевая.

34. *Способом литья, обеспечивающим получение мелкозернистой структуры, является литье:*

- 1) в песчано-глинистую разовую форму;
- 2) в кокиль; 3) в оболочковую форму;
- 4) непрерывное; 5) по выплавляемым моделям.

35. *Элементами модели, обеспечивающими извлечение ее из литейной формы без повреждения последней, являются:*

- 1) формовочные уклоны; 2) прибыли; 3) стержневые знаки;
- 4) направляющие; 5) линии разъема.

36. *Способом литья чугунных и стальных труб большого диаметра и большой длины является литье:*

- 1) под давлением; 2) в песчано-глинистую разовую форму;
- 3) центробежное; 4) по выплавляемым моделям;
- 5) в оболочковую форму.

37. *Способом литья, приводящим к газоусадочной пористости отливок, является литье:*

- 1) в кокиль; 2) в оболочковые формы; 3) под давлением;
- 4) центробежное; 5) в песчано-глинистую разовую форму.

38. *Противопригарным материалом формовочных смесей для чугунного литья является:*

- 1) каменноугольная пыль; 2) пылевидный кварц;
- 3) глина; 4) жидкое стекло; 5) кварцевый песок.

39. *Основным связующим материалом в формовочной смеси при литье в песчано-глинистые формы является:*

- 1) жидкое стекло; 2) глина; 3) терморезистивная смола;
- 4) терморезистивный клей; 5) нефтяной пек.

40. *Литейным свойством сплавов является:*

- 1) твердость; 2) прочность; 3) газопроницаемость;
- 4) усадка; 5) выбиваемость.

41. *Литейным свойством сплавов является:*

- 1) твердость; 2) прочность; 3) газопроницаемость;
- 4) ликвация; 5) выбиваемость.

42. *Литейным свойством сплавов является:*

- 1) твердость; 2) прочность; 3) газопроницаемость;
- 4) жидкотекучесть; 5) выбиваемость.

43. *Усадка металла учитывается в размере:*

- 1) готовой детали; 2) отливки; 3) модели;
- 4) заливаемого металла; 5) формы.

44. *Линейная усадка углеродистой стали составляет:*

- 1) 1,5...1,8 %;
- 2) 0,8...1,5 %;
- 3) 1,8...2,0 %;
- 4) 2,0...2,4 %;
- 5) 3,2...4,0 %.

45. *Приспособления для изготовления литейных полуформ называются:*

- 1) опоками;
- 2) стержневыми ящиками;
- 3) контейнерами;
- 4) кессонами;
- 5) бункерами.

46. *Способность формовочной смеси обеспечивать сохранность формы (стержня) без разрушения при ее изготовлении и использовании называется:*

- 1) поверхностной прочностью;
- 2) прочностью;
- 3) податливостью;
- 4) уплотняемостью;
- 5) выбиваемостью.

47. *Линейная усадка чугуна составляет:*

- 1) 1,5...1,8 %;
- 2) 0,8...1,5 %;
- 3) 1,8...2,0 %;
- 4) 2,0...2,4 %;
- 5) 3,2...4,0 %.

48. *Сопrotивление формовочной смеси истирающему воздействию струи металла при его заливке называется:*

- 1) прочностью;
- 2) поверхностной прочностью;
- 3) термoхимической устойчивостью;
- 4) пластичностью;
- 5) податливостью.

49. *Основным исходным материалом для формовочных и стержневых смесей является:*

- 1) песок;
- 2) каменноугольная пыль;
- 3) жидкое стекло;
- 4) нефтяной пек;
- 5) терморeактивная смола.

50. *Способность формовочной смеси воспринимать очертания модели (стержневого ящика) и сохранять полученную форму называется:*

- 1) пластичностью;
- 2) податливостью;
- 3) текучестью;
- 4) поверхностной прочностью;
- 5) прочностью.

51. *Формовочная смесь для заполнения основного объема литейной формы называется:*

- 1) единой;
- 2) облицовочной;
- 3) наполнительной;
- 4) стержневой;
- 5) литейной.

52. *Формовочная смесь, непосредственно контактирующая с жидким металлом в процессе заполнения полости литейной формы, называется:*

- 1) единой;
- 2) облицовочной;
- 3) наполнительной;
- 4) стержневой;
- 5) литейной.

53. Элементом литниковой системы, уменьшающим размывающее воздействие струи металла, является:

- 1) литниковая чаша; 2) шлакоуловитель;
- 3) стояк; 4) питатель; 5) выпор.

54. Способность формовочной смеси обтекать модели при формовке и заполнять полость стержневого ящика называется:

- 1) пластичностью; 2) податливостью; 3) текучестью;
- 4) поверхностной прочностью; 5) прочностью.

55. Способность формовочной смеси сокращаться в объеме под действием усадки металла называется:

- 1) податливостью; 2) пластичностью; 3) текучестью;
- 4) поверхностной прочностью; 5) прочностью.

56. Недостатком литья в кокиль является:

- 1) малая производительность; 2) крупнозернистая структура металла;
- 3) высокая стоимость кокиля; 4) малая стойкость кокиля;
- 5) трудоемкость изготовления сложных по конфигурации и тонкостенных отливок.

57. Способом литья, обладающим наибольшей производительностью, является литье:

- 1) в кокиль; 2) под давлением; 3) в оболочковую форму;
- 4) центробежное; 5) по выплавляемым моделям.

58. Способом литья для получения цилиндрических деталей (штулок, труб, колец, подшипников скольжения) является литье:

- 1) центробежное; 2) в разовые формы; 3) под давлением;
- 4) в песчано-глинистую форму; 5) в оболочковую форму.

59. Дефектами отливок при недостаточной податливости формовочной смеси являются:

- 1) трещины; 2) газовые пузыри; 3) пленки пригара;
- 4) усадочные раковины; 5) газовая пористость.

60. Материалом моделей при литье по выплавляемым моделям является:

- 1) дерево; 2) металл; 3) смесь парафина со стеарином;
- 4) пластмасса; 5) стекло.

61. Стержневые знаки в литейной форме представляют собой:

- 1) отверстия для отвода газов из стержня при заливке формы;
- 2) углубления, в которые устанавливаются стержни перед заливкой;
- 3) каналы для поступления в форму расплавленного металла;
- 4) отверстия для выхода лишнего металла из формы;
- 5) углубления для питания массивных частей отливки.

62. *Стержневые ящики используются:*

- 1) для хранения стержней;
- 2) для изготовления стержней;
- 3) для получения стержневых смесей;
- 4) для установки стержня;
- 5) для правильного расположения стержня в форме.

63. *Подмоделным щитком (подмоделной плитой) называется:*

- 1) плита, служащая для установки моделей и опок при ручной формовке;
- 2) подставка для хранения моделей;
- 3) щиток для выталкивания модели из формы при ручной формовке;
- 4) плита для изготовления модели;
- 5) плита для приготовления формовочной смеси.

64. *Модель при литье по выплавляемым моделям извлекается:*

- 1) выбиванием;
- 2) с помощью подъемов;
- 3) выплавлением;
- 4) с помощью стержневых знаков;
- 5) с помощью щипцов.

65. *Ручным способом формовки является:*

- 1) формовка в парных опоках по разъемной модели;
- 2) формовка прессованием;
- 3) формовка встряхиванием;
- 4) формовка пескометом;
- 5) формовка окунанием.

66. *Ручным способом формовки является:*

- 1) формовка в кессонах;
- 2) формовка прессованием;
- 3) формовка встряхиванием;
- 4) формовка пескометом;
- 5) формовка окунанием.

67. *Ручным способом формовки является:*

- 1) формовка по модельной плите;
- 2) формовка прессованием;
- 3) формовка встряхиванием;
- 4) формовка пескометом;
- 5) формовка окунанием.

68. *Машинным способом формовки является:*

- 1) формовка по шаблону;
- 2) формовка в стержнях;
- 3) формовка прессованием;
- 4) формовка окунанием;
- 5) формовка в кессонах.

69. *Машинным способом формовки является:*

- 1) формовка по шаблону;
- 2) формовка в стержнях;
- 3) формовка встряхиванием;
- 4) формовка окунанием;
- 5) формовка в кессонах.

70. *Машинным способом формовки является:*

- 1) формовка по шаблону;
- 2) формовка в стержнях;
- 3) формовка пескометом;
- 4) формовка окунанием;
- 5) формовка в кессонах.

71. *Для плавки в чугунолитейных цехах чаще всего используется:*

- 1) вагранка; 2) электродуговая трехфазная печь;
- 3) индукционная печь; 4) газовая горелка; 5) методическая печь.

72. Для плавки в сталелитейных цехах чаще всего используется:

- 1) доменная печь; 2) индукционная печь; 3) мартеновская печь;
- 4) газовая горелка; 5) методическая печь.

73. Литниковая система необходима:

- 1) для крепления стержней;
- 2) для формирования литейной формы;
- 3) для заливки жидкого металла;
- 4) для образования отверстий в форме;
- 5) для формирования полости литейной формы.

74. Предназначение элемента литниковой системы – выпора состоит:

- 1) в подводе расплавленного металла в полость формы;
- 2) в компенсации усадки; 3) в отводе шлака;
- 4) в заливке металла в форму; 5) в выводе газов.

75. Стержни при литье в разовые песчано-глинистые формы изготавливаются:

- 1) из песчано-глинистой смеси; 2) из дерева;
- 3) из пенопласта; 4) из воска; 5) из стали.

76. Процесс изготовления отливок свободной заливкой расплавленного металла в многократно используемые металлические литейные формы с последующим затвердеванием называется литьем:

- 1) в оболочковые формы; 2) по выплавляемым моделям;
- 3) в кокиль; 4) под давлением; 5) в песчано-глинистые формы.

77. Процесс изготовления отливок в металлических формах заполнением расплавом под действием внешних сил называется литьем:

- 1) в оболочковые формы; 2) по выплавляемым моделям;
- 3) в кокиль; 4) под давлением; 5) в песчано-глинистые формы.

78. Материалом, используемым в качестве связующего для керамической оболочки при литье по выплавляемым моделям, является:

- 1) церезин; 2) этилсиликат; 3) жидкое стекло;
- 4) термоактивная смола; 5) термоактивный клей.

79. При центробежном литье внутреннее отверстие получают:

- 1) при помощи стержня; 2) при помощи модели;
- 3) при помощи центрирующего штыря; 4) при помощи зумпфа;
- 5) без применения дополнительных приспособлений под действием центробежных сил.

80. Операция удаления литниковой системы называется:

- 1) очисткой; 2) отрубкой; 3) выбивкой; 4) формовкой; 5) заливкой.

Уровень II (продуктивный)

1. Изобразить схему доменной печи, описать ее основные элементы.

2. Описать работу доменной печи, привести химические реакции протекающих в ней процессов.

3. Перечислить исходные материалы, используемые для производства чугуна, охарактеризовать продукты доменной плавки.

4. Изобразить схему кислородного конвертора, описать принцип его работы.

5. Описать технологию получения отливок центробежным литьем, изобразить схемы разновидностей этого метода, сформулировать преимущества и недостатки технологии.

6. Описать технологию получения отливок литьем под давлением, изобразить схемы разновидностей этого метода, сформулировать преимущества и недостатки технологии.

7. Описать технологию получения отливок по выплавляемым моделям, изобразить схему последовательности операций, сформулировать преимущества и недостатки технологии.

8. Описать технологию получения отливок в оболочковых формах, изобразить схему последовательности операций, сформулировать преимущества и недостатки технологии.

9. Описать литейные свойства сплавов, охарактеризовать их влияние на качество отливок.

10. Описать технологию получения отливок методами жидкой прокатки, выжимания, намораживания.

11. Описать технологию получения отливок литьем в кокиль, сформулировать преимущества и недостатки технологии.

12. Описать технологию получения отливок в песчано-глинистой форме, перечислить приспособления, необходимые для ее изготовления, и основные элементы.

13. Объяснить принцип маркировки и указать область применения литейных чугунов и литейных сталей.

14. Объяснить принцип маркировки и указать область применения литейных сплавов на основе цветных металлов.

15. Описать различные виды машинной формовки, сформулировать их преимущества, недостатки, указать область применения.

Уровень III (творческий)

Спроектировать разовую песчано-глинистую форму для изготовления одной из приведенных деталей (рис.).

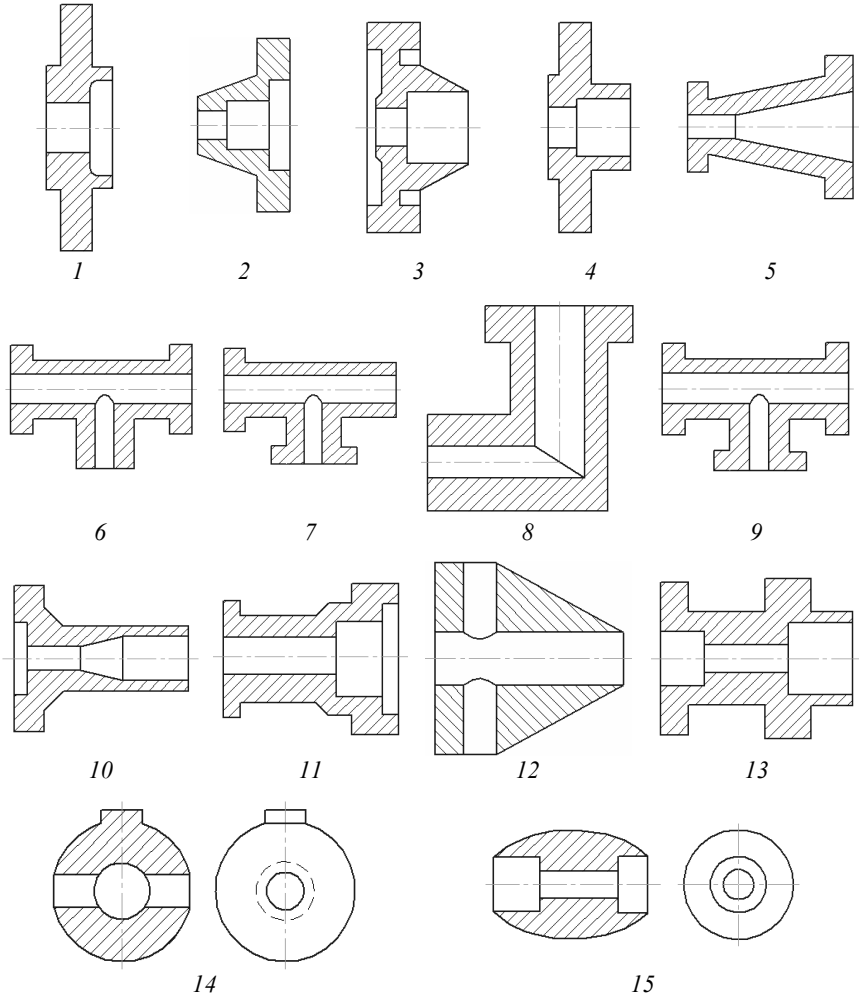


Рис. Варианты индивидуальных заданий

Изобразить эскизы детали, модели, стержня и формы в сборе. На эскизе формы в сборе обозначить ее основные элементы.

МОДУЛЬ 2. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

В результате изучения модуля студент должен:

– **знать** физические основы пластической деформации, технологию, оборудование и инструмент основных видов обработки металлов давлением;

– **уметь** осуществлять выбор видов обработки металлов давлением, оборудования и инструмента в зависимости от условий реализации процесса.

ЗАНЯТИЕ 6

Лабораторная работа № 4 ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОВ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Цель работы: изучить влияние пластической деформации на изменение структуры и механических свойств металлов и сплавов.

Теоретическая часть

1. Способы обработки металлов давлением

Обработка металлов давлением (ОМД) – группа методов получения полуфабрикатов или изделий требуемых размеров и формы путем пластического деформирования заготовок за счет приложения внешних усилий.

Основные процессы ОМД подразделяются по назначению на две группы:

1) процессы, направленные на получение *машиностроительных профилей* – изделий постоянного поперечного сечения по их длине (прутков, труб, проволоки, лент, листов и др.). К этим процессам относятся *прокатка, прессование и волочение*. Изделия, полученные в ходе этих процессов, применяются в строительных конструкциях или в качестве заготовок для последующего изготовления из них деталей другими методами (резанием, ковкой, штамповкой и т. д.);

2) процессы, направленные на получение *машиностроительных заготовок*, которые имеют форму и размеры, приближенные к готовым деталям, и только в ряде случаев требуют обработки

резанием для придания им окончательных размеров и получения необходимого качества поверхности. К этим процессам относятся *штамповка (объемная и листовая) и ковка.*

При ОМД достигается получение изделий сложной формы из простых заготовок, улучшается кристаллическая структура исходного литого металла и повышаются его физико-механические свойства.

2. Физические основы пластической деформации

Как бы ни были малы приложенные к металлу усилия, они вызывают его деформацию. Начальные деформации всегда являются упругими, и величина их, согласно закону Гука, находится в прямой зависимости от нагрузки. При упругой деформации под действием внешних сил изменяются расстояния между атомами в кристаллической решетке. После снятия нагрузки атомы под действием межатомных сил возвращаются в исходное положение и металл восстанавливает свои первоначальные размеры и форму.

Основными механизмами пластической деформации являются скольжение, двойникование и дислокационный механизм.

Скольжение

При пластической деформации одна часть кристалла необратимо сдвигается по отношению к другой на целое число периодов атомно-кристаллической решетки – смещается по так называемым плоскостям сдвига (скольжения). Ими являются кристаллографические плоскости, в которых находится наибольшее количество атомов. Расположение этих плоскостей зависит от типа атомно-кристаллической решетки металла. У α -железа, вольфрама, молибдена и других металлов с объемно-центрированной кубической (ОЦК) решеткой имеется шесть плоскостей сдвига (в каждой из них – по два направления сдвига) и система скольжения, имеющая $6 \cdot 2 = 12$ элементов сдвига (рис. 6.1, *а*). При этом γ -железо, медь, алюминий и другие металлы с гранцентрированной кубической (ГЦК) решеткой имеют четыре плоскости сдвига с тремя направлениями скольжения в каждой, т. е. $4 \cdot 3 = 12$ элементов сдвига (рис. 6.1, *б*). У цинка, магния и других металлов с гексагональной плотноупакованной (ГПУ) решеткой имеется одна плоскость с тремя направлениями скольжения, т. е. три элемента сдвига (рис. 6.1, *в*). Чем больше элементов сдвига в решетке, тем выше пластичность металла.

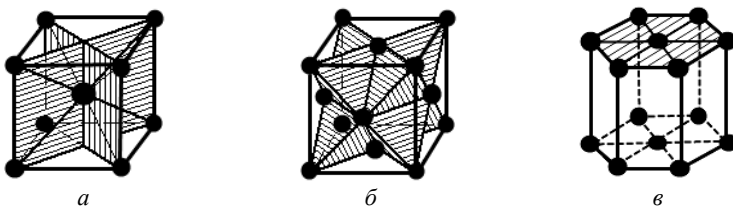


Рис. 6.1. Плоскости сдвига (заштрихованные области) в кристаллической решетке:
a – ОЦК; *б* – ГЦК; *в* – ГПУ

Наиболее легкий сдвиг по определенным плоскостям и направлениям объясняется тем, что при таком перемещении атомов из одного устойчивого равновесного положения в другое значения затрачиваемых усилий будут минимальными, как и необходимые для этого затраты энергии.

Если нагрузку снять, перемещенная часть кристалла не возвратится на старое место и деформация сохранится. Наличие плоскостей скольжения в кристалле подтверждается при микроструктурном исследовании пластически деформированных металлов.

Двойникование

Скольжение, или сдвиг, по определенным кристаллографическим плоскостям является основным, но не единственным механизмом пластической деформации металлов. При некоторых условиях она может происходить путем двойникования. При пониженных температурах у металлов с ОЦК-решеткой наблюдается переход от механизма скольжения к механизму двойникования. Сущность двойникования заключается в том, что под действием касательных напряжений одна часть зерна оказывается смещенной по отношению к другой части, занимая симметричное положение и являясь как бы ее зеркальным отражением (рис. 6.2).

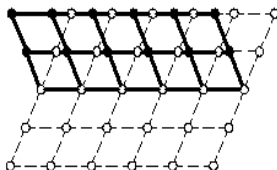


Рис. 6.2. Схема процесса двойникования

Дислокационный механизм пластической деформации

Процесс скольжения не следует представлять как одновременное передвижение одной части кристалла относительно другой. Такой жесткий синхронный сдвиг потребовал бы значений напряжения, в сотни или даже тысячи раз превышающих те, при которых в действительности протекает процесс пластической деформации. В реальных металлах сдвиг (пластическое деформирование) происходит при значениях напряжения меньше теоретических в сотни и тысячи раз (например, для железа $\tau_{\text{теор}} \approx 2600$ МПа, а $\tau_{\text{реал}} \approx 290$ МПа; для меди $\tau_{\text{теор}} \approx 1540$ МПа, а $\tau_{\text{реал}} \approx 1$ МПа). Такое расхождение объясняется дислокационным механизмом пластической деформации, при котором скольжение осуществляется в результате перемещения в кристалле дислокации, когда сдвиг происходит последовательно от атома к атому вблизи ядра дислокации. В этом случае усилие сдвига значительно меньше, чем при одновременном сдвиге всех атомов.

Данный процесс можно объяснить с помощью моделей движения гусеницы (рис. 6.3, *а*) и перемещения ковра (рис. 6.3, *б*). Гусеница перемещается путем последовательного подъема одной пары ног и перестановки их в новое место, а не за счет подъема всех ног одновременно. Когда все ноги гусеницы последовательно выполнят эту операцию, она переместится на шаг (такой режим движения требует от нее значительно меньших усилий). Аналогичным образом происходит перемещение ковра по полу в случае прокатывания на нем складки, что требует значительно меньших усилий, чем транспортировка ковра целиком.

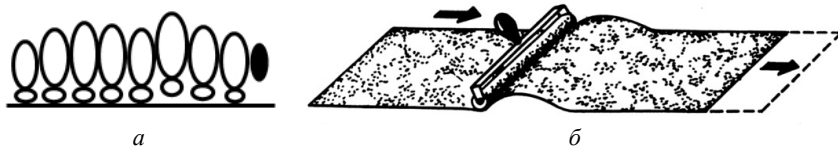


Рис. 6.3. Дислокационный механизм пластической деформации:
а – модель движения гусеницы; *б* – модель перемещения ковра

Дислокационный механизм пластической деформации основан на том, что атомы, расположенные в поле дислокации, возбуждены (их энергия повышена) и выведены из устойчивого положения равновесия с минимальной свободной энергией. Такое состояние кристалла является метастабильным. Для того чтобы ограниченная

группа атомов в области дислокации сдвинулась и заняла новое устойчивое положение равновесия, достаточно приложить существенно меньшее напряжение, чем при их синхронном сдвиге, т. е. совершить незначительную работу и затратить при этом минимум энергии.

Механизм перемещения дислокации на атомном уровне представлен на рис. 6.4.

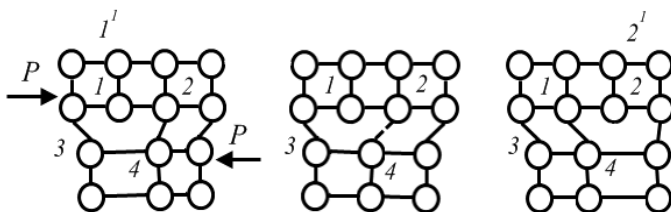


Рис. 6.4. Схема перемещения дислокации

Силы взаимодействия атомов зависят от расстояния. В зоне дислокации расстояния атомов 3 и 4 от краевого атома $1-1'$ увеличены и связи между этими атомами утрачены. Под действием сдвигающей силы P смещение плоскостей приводит к уменьшению расстояния $1-4$ и увеличению расстояния $2-4$. В результате этого связь между атомами 1 и 4 восстанавливается, а между атомами 2 и 4 – обрывается. Дислокация перемещается на одно межатомное расстояние.

Таким образом, движение дислокации – это процесс последовательного разрыва и восстановления связей в кристаллической решетке. В результате пробега дислокации от одной границы кристалла до другой происходит смещение части кристалла на одно межатомное расстояние. Из совокупности пробегов дислокаций складывается общая деформация кристаллического тела.

3. Явления наклепа, возврата и процесс рекристаллизации

Пластическая деформация поликристаллических тел (металлов и сплавов) имеет некоторые особенности по сравнению с пластической деформацией одного зерна (монокристалла). Зёрна (а следовательно, и плоскости скольжения) имеют в поликристаллическом металле различную ориентировку (рис. 6.5, *a*). Из-за влияния соседних зерен деформирование каждого зерна не может совер-

шаться свободно. Пластическая деформация на первой стадии начинается тогда, когда действующие напряжения превысят предел упругости. На первой стадии пластическая деформация может происходить лишь в отдельных зернах с благоприятной ориентировкой, у которых плоскости легкого скольжения совпадают с направлением максимальных касательных напряжений. В каждом зерне сдвиг происходит последовательно по одной плоскости, затем по другой и т. д. Кроме сдвига происходит и поворот смещенных частей зерна в направлении уменьшения угла между направлениями плоскостей скольжения и направлением растягивающих сил. В результате сдвигов и поворота плоскостей скольжения зерно постоянно вытягивается в направлении растягивающих сил (рис. 6.5, б). Зерна удлиняются настолько, что напоминают волокна, поэтому структура деформированного металла называется волокнистой (рис. 6.5, в). Дальнейшая деформация (вторая стадия) приводит к дроблению зерен. В процессе межзеренных и внутризеренных сдвигов происходит искажение кристаллической решетки, удлинение и поворот зерен, их последующее дробление, что затрудняет дальнейшее скольжение и вызывает возрастание сопротивления деформации. Кроме того, неравномерная деформация отдельных зерен приводит к возникновению внутренних напряжений, которые также вызывают увеличение сопротивления деформации.

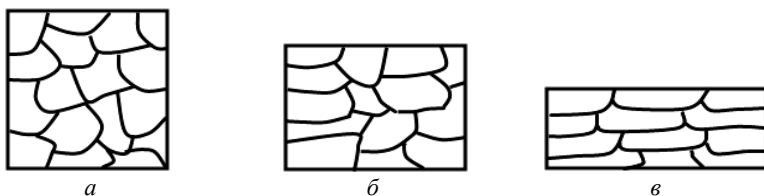


Рис. 6.5. Схема образования текстуры в поликристаллитном теле:
 а – исходное расположение зерен; б – изменение формы зерен при пластической деформации; в – текстура металла после деформации

При холодной пластической деформации изменение структуры приводит к повышению твердости $HВ$ и предела прочности металла σ_b , а также к понижению его пластических (относительное удлинение δ) и вязкостных (ударная вязкость $KС$) свойств (рис. 6.6). Чем больше величина пластической деформации ϵ , тем значительнее эти изменения.

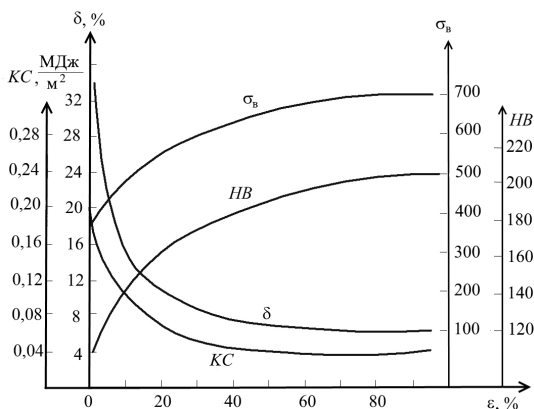


Рис. б.б. График зависимости механических свойств металлов от степени деформации

Изменение свойств и структуры металла в результате пластической деформации в холодном состоянии называется **наклепом**, или упрочнением. Интенсивность нарастания наклепа по мере увеличения степени деформации неодинакова: в начальный момент деформирования она резко увеличивается, а затем замедляется.

Наклеп не всегда является отрицательным фактором, затрудняющим процесс получения заготовки пластическим деформированием. Иногда его используют для получения изделия с необходимыми полезными свойствами (часто в сочетании с последующей термической обработкой). Так, с помощью холодной пластической деформации можно в 2...3 раза повысить предел прочности (особенно предел текучести). Например, гвозди должны быть изготовлены только из наклепанного металла. Гвозди, у которых наклеп снят термической обработкой (при нахождении в печи), к применению непригодны.

Наиболее прочный материал в современной технике – нагартованная (упрочненная) стальная проволока (от нем. *hard* – твердый), получаемая в результате холодного волочения при $\epsilon = 80...90\%$ и имеющая $\sigma_{\text{в}} = 3000...4000$ МПа. Такая высокая прочность не достигается легированием и термической обработкой.

Понижение пластических свойств наклепанного металла может быть значительным. Например, у низкоуглеродистой стали относительное удлинение δ уменьшается почти в 6 раз (с 30...35 % до 5...6 %).

При определенной степени деформации металл утрачивает пластичность настолько, что дальнейшее деформирование внешним усилием может привести к его разрушению.

По сравнению с недеформированным металлом деформированный находится в неравновесном состоянии. В таком металле даже при комнатной температуре могут самопроизвольно протекать процессы, приводящие его в более устойчивое внутреннее состояние. При повышении температуры скорость таких процессов возрастает.

При нагреве до сравнительно низких температур протекает процесс **возврата**, т. е. снятия микронапряжений и частично искажений кристаллической решетки. Изменений структуры при этом еще не наблюдается. Возврат несколько изменяет свойства наклепанного металла (понижает его прочность и повышает пластичность). Возврат происходит при температуре $(0,2...0,3) T_{пл}$, К.

При дальнейшем нагреве в результате теплового воздействия происходит перестройка кристаллов деформированного тела, зарождение новых зерен (кристаллов) и их рост. Такой процесс называется **рекристаллизацией**.

В результате рекристаллизации (рис. 6.7) образуются совершенно новые зерна, с неискаженной кристаллической решеткой. Размеры новых зерен могут значительно отличаться от исходных. Образование новых зерен приводит к резкому снижению плотности дислокаций и высвобождению энергии, накопленной при пластической деформации металла. В результате рекристаллизации металл разупрочняется и восстанавливает свои первоначальные свойства, а его зерна становятся равноосными.

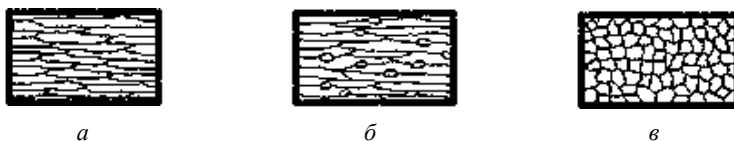


Рис. 6.7. Микроструктура деформированного металла при нагреве: а – наклепанный металл; б – начало первичной рекристаллизации; в – завершение первичной рекристаллизации

Пластически деформированные металлы могут рекристаллизоваться лишь после деформации, степень которой превышает определенное критическое значение, т. е. при **критической степени деформации**. Для алюминия она составляет $\sim 2\%$, для железа и меди – $\sim 5\%$. Если степень деформации меньше критической, то зарождения новых зерен при нагреве не происходит.

Наименьшая температура нагрева, обеспечивающая возможность зарождения новых зерен, называется **температурой рекристаллиза-**

цiii $T_{\text{рекр}}$. Рекристаллизация для технически чистых металлов происходит при температурах $T_{\text{рекр}} \geq 0,4 T_{\text{пл}}$, К. Значения температуры рекристаллизации $T_{\text{рекр}}$ некоторых металлов представлены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Значения температуры плавления и рекристаллизации некоторых металлов

Температура	Металлы						
	W	Mo	Fe	Cu	Al	Zn	Pb
$t_{\text{пл}}$, °C	3400	2625	1535	1084	660	419	327
$t_{\text{рекр}}$, °C	1200	900	450	200	100	20	< 20

Зарождение новых зерен при рекристаллизации происходит обычно на границах деформированных зерен (см. рис. 6.7, б). Чем выше степень пластической деформации, тем больше возникает центров рекристаллизации. С течением времени образовавшиеся центры новых зерен увеличиваются в размерах.

Рассмотренная стадия рекристаллизации называется **первичной рекристаллизацией**, она заканчивается при полном замещении новыми зернами всего объема деформированного металла (см. рис. 6.7, в). Первичная рекристаллизация полностью снимает наклеп, созданный при пластической деформации. Металл приобретает равноосную зернистую структуру с минимальным количеством дефектов кристаллического строения. Свойства металла после его рекристаллизации близки к свойствам отожженного металла.

На рис. 6.8 приведены графики изменения величины твердости HB и характеристики пластичности δ наклепанного металла в зависимости от температуры его нагрева.

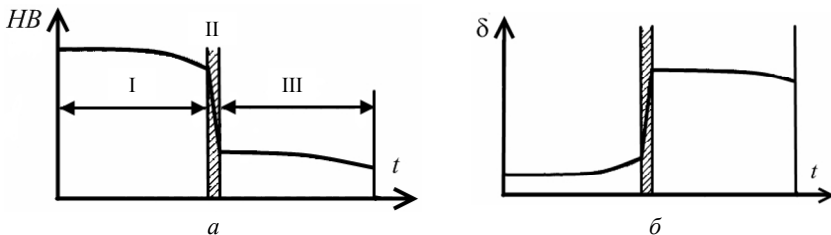


Рис. 6.8. Графики изменения величины твердости HB (а) и характеристики пластичности δ (б) наклепанного металла при нагреве: I – возврат; II – первичная рекристаллизация; III – рост зерен

4. Холодная и горячая ОМД

В зависимости от температурных условий деформирования различают холодную и горячую ОМД.

Холодной ОМД называется процесс, при котором деформирование производится при температуре ниже температуры рекристаллизации ($0,4 T_{пл}$) металла и сопровождается его наклепом.

Горячей ОМД называется процесс, при котором деформирование производится выше температуры рекристаллизации ($0,4 T_{пл}$) и характеризуется таким соотношением скоростей деформирования и рекристаллизации, при котором рекристаллизация успевает пройти во всем объеме заготовки и микроструктура после обработки давлением оказывается равноосной без следов упрочнения.

Практическая часть

Оборудование и инструменты: одностоечный гидравлический пресс ПБ 6330, набор ограничительных колец высотой 9,6; 7,2; 4,8 мм соответственно, штангенциркуль, твердомер ТК-2, электрическая печь для рекристаллизационного отжига, металлографический микроскоп МИМ-7.

Материалы: экспериментальные отожженные образцы из среднеуглеродистой стали цилиндрической формы ($d = 8$ мм, $h_0 = 12$ мм), набор из трех микрошлифов стали 45 (один – отожженный и недеформированный; второй – деформированный и неотожженный; третий – деформированный и отожженный).

1. Деформирование образцов

Для проведения лабораторных исследований предоставляются четыре экспериментальных образца. С помощью одностоечного гидравлического пресса ПБ 6330 три образца из четырех необходимо поочередно подвергнуть деформации (осадке) с различной степенью ϵ . Схема деформации образцов приведена на рис. 6.9.

На нижней неподвижный боек 5 пресса устанавливается ограничительное кольцо 4 высотой h_1 с размещенным внутри его исходным образцом 2 высотой h_0 . Верхний подвижный боек 1 приводится в движение и деформирует образец. Его движение вниз ограничено высотой h_1 ограничительного кольца. Как только верхний боек достигает поверхности ограничительного кольца, его движение

прерывается. При этом высота деформированного образца 3 равна высоте ограничительного кольца h_1 , а степень деформации образца ε может быть рассчитана по формуле

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h_1}{h_0} 100.$$

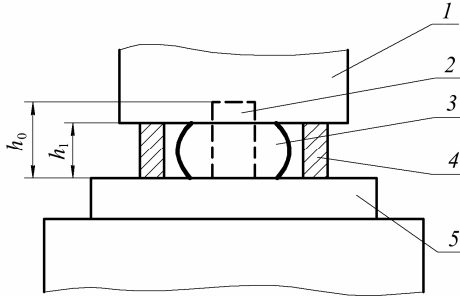


Рис. 6.9. Схема деформации образцов

После приведения верхнего бойка пресса в исходное состояние (подъема вверх) деформированный образец извлекается.

По приведенной выше формуле рассчитывается степень деформации ε образцов.

2. Исследование свойств и структуры образцов после пластической деформации и рекристаллизационного отжига

На твердомере ТК-2 измерить твердость исходного (недеформированного) образца и трех деформированных в различной степени. Твердость измеряется на торцевой поверхности образца в точке, расположенной на достаточно большом расстоянии от центра образца и не менее чем в 3...4 мм от его края. Каждый образец следует измерять не менее трех раз. За конечный результат взять среднее арифметическое значение всех замеров твердости на каждом образце.

Затем деформированные образцы нужно подвергнуть рекристаллизационному отжигу. После отжига измерить их твердость вторично.

Изменения микроструктуры стали 45, происходящие при пластической деформации и рекристаллизационном отжиге, проанализировать на металлографическом микроскопе МИМ-7 при 200–300-кратном увеличении с использованием трех микрошлифов.

3. Содержание отчета

1. Способы ОМД.
2. Физические основы пластической деформации.
3. Явления наклепа и возврата, процесс рекристаллизации.
4. Холодная и горячая ОМД.

4. Оформление результатов работы

Рассчитать степень деформации ε трех образцов. Результаты измерений твердости недеформированного, трех деформированных и трех деформированных и отожженных образцов занести в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Результаты испытаний образцов

Номер образца	Степень деформации образца ε , %	Твердость, <i>HRC</i>	
		после деформации	после отжига
1			
2			
3			
4			

На основании полученных экспериментальных данных построить графики зависимости твердости *HRC* образцов от степени их деформации (кривая упрочнения).

Зарисовать и проанализировать схемы микроструктур образцов до деформации, после деформации, после деформации и рекристаллизационного отжига.

Сделать вывод о влиянии степени деформации на механические свойства и на изменение микроструктуры исследованных образцов.

Вопросы и задания для текущего контроля

1. Дайте определения ОМД, наклепа, возврата, рекристаллизации, холодной и горячей ОМД.
2. Проанализируйте кривую упрочнения деформированных образцов, построенную по результатам эксперимента.
3. Как изменяется микроструктура образцов после их деформации и после деформации и рекристаллизационного отжига?

4. Как на механические свойства и структуру металлов влияет холодное деформирование?

5. Как на механические свойства и структуру металлов влияет рекристаллизационный отжиг?

ЗАНЯТИЕ 7

Лабораторная работа № 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ДЕФОРМАЦИЮ МЕТАЛЛА, И УСЛОВИЙ ЗАХВАТА ЗАГОТОВКИ ВАЛКАМИ ПРИ ПРОДОЛЬНОЙ ПРОКАТКЕ

Цель работы: экспериментально определить основные параметры, характеризующие деформацию металла при продольной прокатке, рассчитать возможность захвата заготовки валками.

Теоретическая часть

1. Основные виды прокатки

Прокатка – вид горячей или холодной ОМД, при котором металл пластически деформируется вращающимися валками.

Различают три основных вида прокатки: продольную, поперечную и поперечно-винтовую (рис. 7.1).

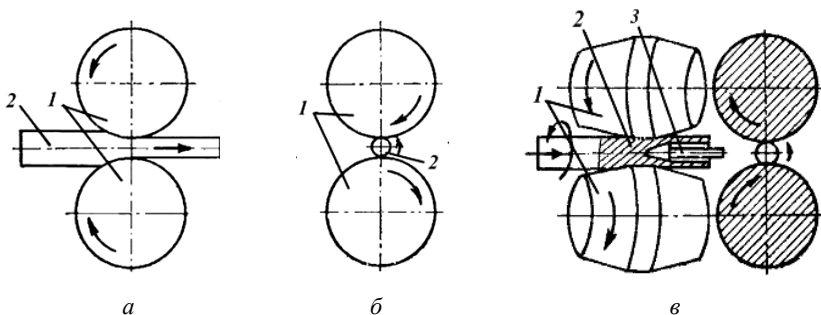


Рис. 7.1. Схемы основных видов прокатки:
а – продольная; *б* – поперечная; *в* – поперечно-винтовая;
1 – валки; 2 – заготовка; 3 – оправка

При *продольной прокатке* заготовка деформируется между двумя валками, вращающимися в разные стороны, и перемещается перпендикулярно осям валков (см. рис. 7.1, а). Продольную прокатку используют для получения сортового и листового проката. При *поперечной прокатке* валки вращаются в одном направлении и при деформировании сообщают заготовке круглого сечения движение (вращательное – в противоположном направлении, поступательное – вдоль оси валков) (см. рис. 7.1, б). Данным способом производят изделия, представляющие собой тела вращения (шары, оси, шестерни и др.), накатывают зубья шестерен.

При *поперечно-винтовой прокатке* валки установлены под углом $6...12^\circ$ друг к другу и вращаются в одном направлении (см. рис. 7.1, в). В момент соприкосновения металла с вращающимися валками заготовка втягивается в сужающуюся щель и деформируется. Поперечно-винтовую прокатку изобрели в 1885 г. братья Маннесманн. Она является основной операцией при производстве бесшовных труб и применяется для прошивки заготовки в гильзу (толстостенную трубу), раскатки гильзы в трубу, калибровки и правки труб. Поперечно-винтовую прокатку также широко применяют для получения изделий с переменным по длине сечением.

2. Инструмент и оборудование для прокатки

В качестве инструмента для прокатки применяют *прокатные валки*, конструкция которых представлена на рис. 7.2. В зависимости от прокатываемого профиля валки могут быть *гладкими* (рис. 7.2, а), применяемыми для прокатки листов, лент и т. п., и *калиброванными* (ручьевыми) (рис. 7.2, б) – для получения сортового и фасонного проката.

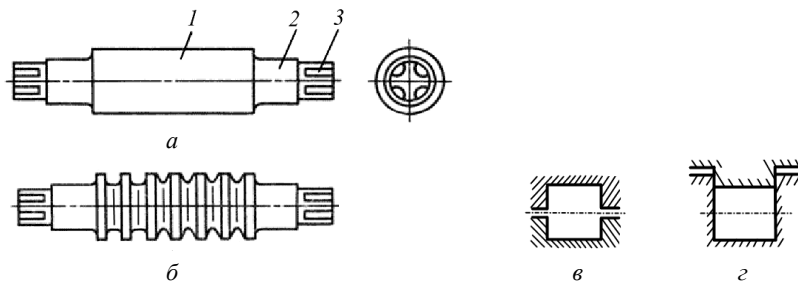


Рис. 7.2. Прокатные валки:

а – гладкий; б – калиброванный; в – открытый калибр; г – закрытый калибр

Валки состоят из бочки (рабочей части валка) 1, шеек-цапф 2 и трефы 3 (см. рис. 7.2, а). Шейки валков вращаются в подшипниках, которые у одного из валков могут перемещаться специальным нажимным механизмом для изменения расстояния между валками и регулирования взаимного расположения осей. Трефа имеет крестообразную форму, она предназначена для соединения валка с муфтой или шпинделем.

Ручьем называют вырез на боковой поверхности валка, а совокупность двух ручьев пары валков образует полость, называемую калибром. Различают открытые и закрытые калибры (см. рис. 7.2, в, з). У открытых линия разреза валков находится в пределах калибра, у закрытых – вне его пределов. На каждой паре ручьевых валков обычно размещают несколько калибров. Калибры, предназначенные для уменьшения сечения прокатываемого металла, называют обжимными, или вытяжными.

Комплект прокатных валков со станиной называется **рабочей клетью**. Совокупность привода, шестеренной клетки, рабочих клеток (одной или нескольких) называется **прокатным станом** (рис. 7.3).

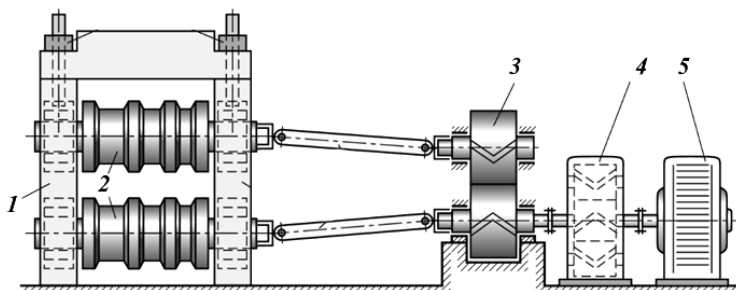


Рис. 7.3. Схема прокатного стана:

1 – рабочая клеть; 2 – прокатные валки; 3 – шестеренная клетка;
4 – редуктор; 5 – электродвигатель

Прокатные станы классифицируются по трем признакам:

- по числу и расположению валков в рабочей клетке;
- по числу и взаимному расположению рабочих клеток;
- по роду выпускаемой продукции.

В зависимости от числа и расположения валков в рабочей клетке прокатные станы подразделяются на двухвалковые (дуо-станы), трехвалковые (трио-станы), четырехвалковые (кварто-станы) и многовалковые (рис. 7.4).

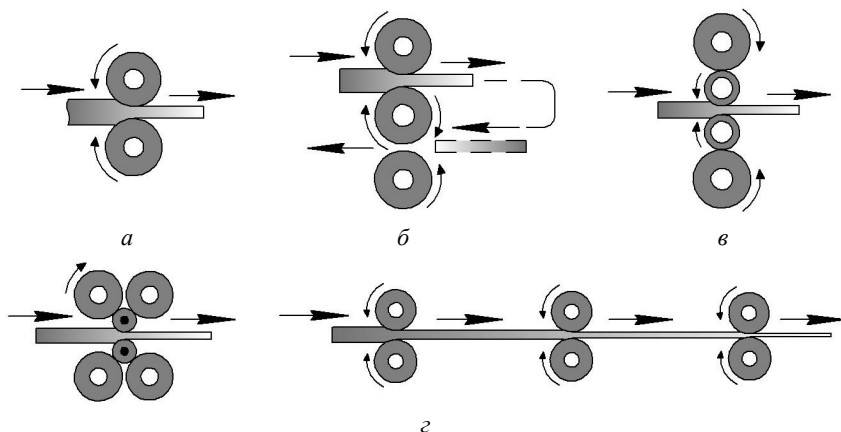


Рис. 7.4. Классификация прокатных станов в зависимости от числа и расположения валков в рабочей клетке:
 а – двухвалковые; б – трехвалковые; в – четырехвалковые; г – многовалковые

Двухвалковые станы (см. рис. 7.4, а) подразделяются на *нереверсивные* (валки вращаются только в одну сторону), применяемые для прокатки сортового металла, проволоки и тонких листов, и *реверсивные* (валки могут изменять направление вращения), которые применяют для прокатки крупных слитков, толстых листов и массивных профилей.

Трехвалковые станы (см. рис. 7.4, б) являются *нереверсивными*. Прокатка на таких станах производится между нижним и средним валками в одном направлении (вперед) и между верхним и средним валками в обратном направлении (назад).

Четырехвалковые станы (см. рис. 7.4, в) имеют четыре валка, расположенные друг над другом, из них два рабочих валка меньшего диаметра и два опорных – большего.

Многовалковые станы (см. рис. 7.4, г) имеют от шести до двадцати и более валков. Обычно рабочие валки малого диаметра не имеют привода, их вращение обеспечивается за счет сил трения от промежуточных приводных валков, которые, в свою очередь, опираются на опорные.

По числу и взаимному расположению рабочих клеток станы подразделяют на *одноклетьевые* и *многоклетьевые*.

Одноклетьевого стан имеет одну рабочую клетку и линию привода валков. К одноклетьевым станам относятся блюминги, слябинги,

толстолистовые дуо- и трио-станы, трубопрокатные и универсальные станы.

Многоклетьевые станы имеют две и более клетки. Расположение клеток может быть линейным, ступенчатым и непрерывным (полу-непрерывным).

В линейных станах рабочие клетки расположены на одной линии. К линейным станам относятся рельсобалочные и крупносортовые станы.

В ступенчатых станах рабочие клетки расположены в нескольких линиях (с двумя и более числом ступеней). Такое расположение имеют сортовые станы.

В непрерывных станах прокат движется прямолинейно и деформируется одновременно в нескольких клетях. Непрерывные станы делятся на станы с групповым и индивидуальным приводом. Непрерывные и полунепрерывные станы применяют в качестве заготовочных, проволочных, полосовых и листовых.

По роду выпускаемой продукции станы делятся на обжимные, заготовочные, сортовые, рельсобалочные, проволочные, листопрокатные, трубопрошивные, а также станы для специальных видов проката.

Обжимные станы предназначены для обжатия стальных слитков (массой до 60 т) и цветных металлов (массой до 10 т) в крупные заготовки (блюмы и слябы). К обжимным станам относятся блюминги и слябинги с диаметром валков 800...1400 мм. На блюмингах получают заготовку квадратного сечения (блюм) размером от 150×150 до 450×450 мм, подвергаемую дальнейшей прокатке для получения сортовых и фасонных профилей. На слябингах производят прокат прямоугольного сечения (слябы) толщиной 65...300 мм и шириной 600...1600 мм, который представляет собой заготовки для листа. Блюминг – мощный реверсивный дуо-стан, слябинг – мощный универсальный реверсивный двухклетевой стан (первая клеть – вертикальные валки, вторая – горизонтальные).

Заготовочные станы имеют валки диаметром 450...850 мм. На них прокатывают блюмы в сортовую квадратную заготовку сечением до 200×200 мм и слябы – в плоскую заготовку (сутунку) сечением меньше, чем слябы. Это станы непрерывного действия.

Сортовые станы предназначены для получения из блюмов сортового и фасонного проката: круглого и квадратного диаметром (стороной квадрата) от 8 до 150 мм, балок и швеллеров высотой 50...200 мм, уголков сечением от 20×20 до 200×200 мм, рельсов узкой колеи. Эти

станы делятся на крупносортные (диаметр валков – 500...700 мм), среднесортные (350...500 мм) и мелкосортные (250...350 мм). Расположение клетей в сортовых станах может быть различным.

3. Основные параметры, характеризующие деформацию металла при продольной прокатке

Степень деформации при прокатке характеризуется следующими показателями: обжатием (абсолютным и относительным), уширением (абсолютным и относительным) и коэффициентом вытяжки.

Обжатие (абсолютное Δh и относительное ε) определяется как

$$\Delta h = h_0 - h_1; \quad \varepsilon = \frac{h_0 - h_1}{h_0} 100 \%, \quad (7.1)$$

где h_0 – начальная высота заготовки;

h_1 – конечная высота заготовки.

Уширение (абсолютное Δb и относительное θ) определяется как

$$\Delta b = b_1 - b_0; \quad \theta = \frac{b_1 - b_0}{b_0} 100 \%, \quad (7.2)$$

где b_0 – начальная ширина заготовки;

b_1 – конечная ширина заготовки.

Площадь поперечного сечения прокатываемой заготовки всегда уменьшается. Поэтому для определения деформации (особенно в случае, когда обжатие по сечению различно) используют показатель, называемый *вытяжкой*, или *коэффициентом вытяжки*, λ , который определяется по формуле

$$\lambda = \frac{l_1}{l_0} = \frac{F_0}{F_1}, \quad (7.3)$$

где l_0 – длина заготовки до прокатки;

F_0 – площадь поперечного сечения заготовки до прокатки;

l_1 – длина заготовки после прокатки;

F_1 – площадь поперечного сечения заготовки после прокатки.

Величина вытяжки обычно составляет 1,1...1,6 за проход, но может быть и больше.

4. Условие захвата заготовки валками при продольной прокатке

Процесс прокатки происходит за счет сил трения между вращающимся инструментом и заготовкой. Благодаря этому заготовка перемещается в зазоре между валками, одновременно деформируясь. В момент захвата заготовки со стороны каждого валка на нее действуют две силы: нормальная N (сила реакции валков) и касательная T (сила трения) (рис. 7.5).

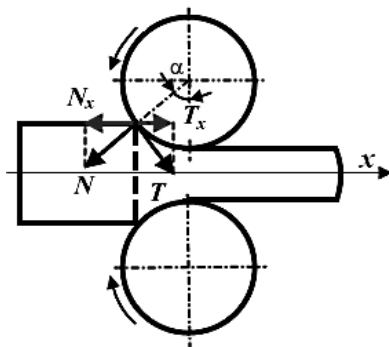


Рис. 7.5. Схема сил, действующих при прокатке

Угол α называется *углом захвата*; дуга, по которой валок соприкасается с прокатываемым металлом, — *дугой захвата*; объем металла между дугами захвата — *очагом деформации*.

Возможность прокатки заготовки характеризуется условием захвата валками и определяется неравенством

$$T_x > N_x,$$

где T_x — втягивающая сила (проекция силы трения T на горизонтальную ось x);

N_x — выталкивающая сила (проекция силы реакции валков N на горизонтальную ось x).

При выполнении этого условия результирующая сила будет направлена в сторону движения заготовки.

Условие захвата заготовки можно выразить неравенством

$$T \cos \alpha > N \sin \alpha.$$

Воспользовавшись зависимостью $T = fN$ (где f – коэффициент трения) и подставив это выражение в условие захвата, получим неравенство

$$f \cos \alpha > \sin \alpha, \text{ или } f > \operatorname{tg} \alpha. \quad (7.4)$$

Таким образом, для захвата заготовки валками необходимо, чтобы коэффициент трения между нею и валками был больше тангенса угла захвата.

Контактное трение существенно влияет на давление металла на валки, расход энергии при прокатке, перемещение металла при его деформировании, качество поверхности и однородность структуры прокатываемой заготовки.

Коэффициент трения при прокатке зависит от многих факторов, в первую очередь от состояния контактных поверхностей и условий соприкосновения (качества и вида обрабатываемого материала, температуры прокатки, наличия на его поверхности оксидов, наличия и вида смазки, величины давления и скорости прокатки).

При горячей прокатке стали гладкими валками угол захвата равен $15 \dots 24^\circ$, при холодной – $5 \dots 8^\circ$; при горячей прокатке листов и полос из цветных металлов – $12 \dots 15^\circ$, при холодной – $2 \dots 10^\circ$.

С увеличением скорости прокатки коэффициент трения несколько снижается. Для стальных валков он определяется по формуле

$$f = 1,05 - 0,0005t - 0,0556v; \quad (7.5)$$

для закаленных чугунных:

$$f = 0,94 - 0,0005t - 0,0556v; \quad (7.6)$$

для шлифованных стальных и шлифованных закаленных чугунных:

$$f = 0,82 - 0,0005t - 0,0556v; \quad (7.7)$$

где v – окружная скорость вращения валков, м/с;

t – температура прокатки, $^\circ\text{C}$.

Приведенные формулы применимы для $t > 700^\circ\text{C}$, $v < 5$ м/с.

В зависимости от прокатываемого материала и температуры прокатки значение коэффициента трения при захвате заготовки валками выбирается из табл. 7.1.

Значения коэффициента трения при захвате заготовки валками

Металл (сплав)	Температура прокатки t , °С	Коэффициент трения f
Медь	900	0,52
Латунь Л62	800	0,45
Мельхиор МН19	950	0,40
Никель	1100	0,40

Коэффициенты трения при установившемся процессе прокатки имеют существенно меньшие значения, чем при захвате валками заготовки. Поэтому при большой степени обжатия существует вероятность пробуксовывания валков относительно прокатываемой заготовки. Например, при прокатке стали, нагретой до температуры 1000...1200 °С, $f/f_{\text{букс}} = 1,25...2,0$.

Таким образом, степень обжатия заготовки при прокатке в значительной степени определяется углом захвата или коэффициентом трения между валками и заготовкой. Для увеличения коэффициента трения на поверхность валков наносят риски, рифления, специальные наплавочные валики, повышая тем самым допустимую величину абсолютного обжатия.

Практическая часть

Оборудование и инструменты: лабораторный прокатный стан, контрольно-измерительный инструмент.

Материалы: свинцовые слитки в виде призматических образцов.

1. Определение основных параметров, характеризующих деформацию металла при продольной прокатке

Для определения основных параметров, характеризующих деформацию металла при продольной прокатке, произвести прокатку призматических образцов на лабораторном стане для продольной прокатки с различной высотой калибра H . С помощью контрольно-измерительного инструмента определить геометрические параметры образцов до деформации и после нее: высоту (начальную h_0 и конечную h_1), ширину (начальную b_0 и конечную b_1) и длину заготовки (начальную l_0 и конечную l_1).

Используя результаты измерений, рассчитать величину обжатия (абсолютного Δh и относительного ε), уширения (абсолютного Δb и относительного θ) и коэффициента вытяжки λ по формулам (7.1), (7.2), (7.3). Определить объем заготовки до и после прокатки (соответственно V_0 и V_1) по формулам

$$V_0 = h_0 b_0 l_0;$$

$$V_1 = h_1 b_1 l_1.$$

2. Расчет возможности захвата заготовки валками при продольной прокатке

Согласно выданному индивидуальному заданию (табл. 7.2) определить возможность захвата заготовки валками при продольной прокатке.

Таблица 7.2

Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	Высота исходной заготовки h_0 , м	Высота заготовки после прокатки h_1 , м	Диаметр валков D , м	Окружная скорость вращения валков v , м/с	Материал валков*	Температура прокатки t , °С
1	0,320	0,275	0,475	4,2	С	1200
2	0,300	0,275	0,475	3,8	Ч	1100
3	0,275	0,225	0,513	3,1	ШС	900
4	0,275	0,225	0,513	2,8	ШЧ	750
5	0,250	0,200	0,510	3,9	С	1100
6	0,250	0,200	0,510	4,0	Ч	1000
7	0,200	0,150	0,530	2,5	ШС	800
8	0,200	0,150	0,530	2,6	ШЧ	900
9	0,200	0,150	0,530	4,1	С	1100
10	0,150	0,125	0,550	3,5	Ч	1200
11	0,150	0,125	0,275	3,4	ШС	950
12	0,150	0,125	0,550	2,6	ШЧ	1000
13	0,145	0,100	0,450	4,0	С	1200
14	0,135	0,100	0,450	3,1	Ч	1200
15	0,130	0,100	0,450	3,5	ШС	900

*Примечание: С – стальные; Ч – закаленные чугуны; ШС – шлифованные стальные; ШЧ – шлифованные закаленные чугуны.

Условие захвата заготовки валками при продольной прокатке выражается неравенством (7.4).

Для определения коэффициента трения f использовать формулы (7.5), (7.6), (7.7).

Для определения значения $\operatorname{tg}\alpha$ проанализировать изменения геометрических параметров прокатываемой заготовки при продольной прокатке (рис. 7.6).

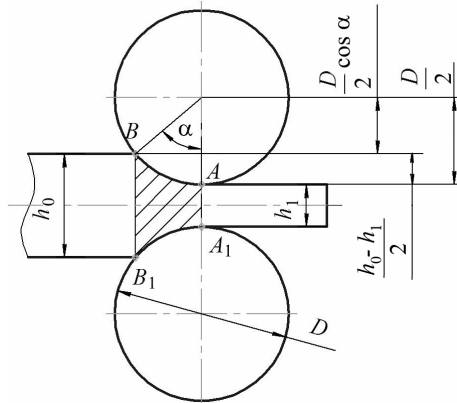


Рис. 7.6. Схема изменения геометрических параметров прокатываемой заготовки при продольной прокатке

Согласно рис. 7.6

$$\frac{D}{2} - \frac{h_0 - h_1}{2} = \frac{D}{2} \cos \alpha,$$

следовательно

$$\cos \alpha = 1 - \frac{h_0 - h_1}{D}.$$

Зная значение $\cos \alpha$, по тригонометрическим формулам найти значение $\operatorname{tg}\alpha$:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha}}{\cos \alpha}.$$

Сравнив рассчитанные значения коэффициента трения f и $\operatorname{tg}\alpha$, сделать вывод о возможности (невозможности) захвата заготовки валками при продольной прокатке.

3. Содержание отчета

1. Основные виды прокатки.
2. Сущность продольной прокатки.
3. Основные параметры, характеризующие деформацию при продольной прокатке.
4. Условие захвата заготовки валками при продольной прокатке.

4. Оформление результатов работы

Результаты проведенных измерений геометрических параметров образцов и расчета основных параметров, характеризующих деформацию металла при продольной прокатке, занести в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Результаты испытаний

Высота калибра H , мм	Результаты измерений, мм						Результаты расчетов						
	h_0	h_1	b_0	b_1	l_0	l_1	Δh , мм	ε , %	Δb , мм	θ , %	λ	$V_{0,3}$, мм ³	$V_{1,3}$, мм ³

По результатам экспериментальных исследований построить графики зависимости параметров Δh , ε , Δb , θ , λ от высоты калибра H .

В отчете привести расчеты возможности (невозможности) захвата заготовки валками согласно индивидуальному заданию. В случае невозможности захвата предложить в выводе возможные изменения исходных параметров прокатки и дополнительные технологические мероприятия, которые обеспечат выполнение условия захвата заготовки валками.

Сделать вывод по результатам лабораторной работы.

Вопросы для текущего контроля

1. В чем состоит сущность продольной прокатки?
2. Какие параметры характеризуют деформацию металла при продольной прокатке?
3. При выполнении какого условия происходит захват заготовки валками при продольной прокатке?
4. Какие факторы влияют на условия захвата заготовки валками при продольной прокатке?

ЗАНЯТИЕ 8

Лабораторная работа № 6 ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛА НА ЕГО МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРИ ВОЛОЧЕНИИ

Цель работы: экспериментально определить основные параметры, характеризующие деформацию металла при волочении, и влияние деформации на механические свойства образцов.

Теоретическая часть

1. Сущность процесса волочения

Волочение – вид ОМД, заключающийся в протягивании заготовок через постепенно сужающееся отверстие в специальном инструменте, называемом волокой, или фильерой (рис. 8.1). Волочение осуществляется главным образом в холодном состоянии. При волочении длина заготовки увеличивается, а поперечное сечение уменьшается, приобретая форму отверстия.

Волочением получают сплошные и полые профили (рис. 8.2). Волочение труб можно выполнять без оправки (для уменьшения внешнего диаметра) и с оправкой (для уменьшения как внешнего диаметра, так и толщины стенки). На рис. 8.3 показана схема волочения трубы 1 на длинной закрепленной оправке 3. В этом случае профиль полученной трубы определяется зазором между волокой 2 и оправкой 3.

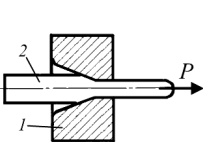


Рис. 8.1. Схема волочения прутка:
1 – волока;
2 – заготовка



Рис. 8.2. Профили, получаемые волочением

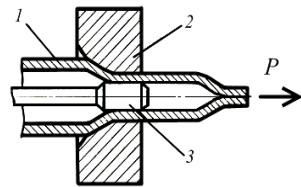


Рис. 8.3. Схема волочения трубы:
1 – заготовка трубы;
2 – волока; 3 – оправка

2. Устройство волоки

Основной инструмент при волочении – волоки различной конструкции. Отверстие волоки имеет сложную конфигурацию и состоит

из четырех основных зон: смазывающей I, деформирующей II, калибрующей III и выходной IV (рис. 8.4). Калибрующую зону обычно выполняют цилиндрической формы, а остальные – конической. Угол рабочего конуса α деформирующей зоны зависит от твердости обрабатываемого материала, от сечения заготовки, а также от коэффициента контактного трения. Этот угол составляет для прутков 6...18°, для труб – 10...24°. Ширина цилиндрического пояса калибрующей зоны обычно равна 2...10 мм.

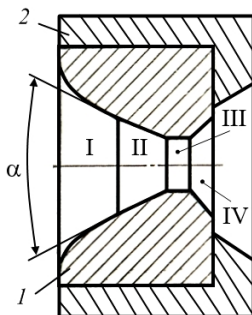


Рис. 8.4. Конструкция волоки:
1 – волока; 2 – обжимка

Исходными материалами при волочении являются горячекатаные прутки, сортовой прокат, проволока и трубы из сталей, цветных металлов и сплавов.

Волоки работают при больших напряжениях, которые сочетаются с износом при протягивании. Поэтому для волочения прутков и труб больших размеров волоки изготавливают из инструментальных сталей (У10, У12, ШХ15, Х12М и др.), для получения же проволоки диаметром менее 0,6 мм – из твердых сплавов (ВК3, ВК6, ВК8, ВК10, ВК15) и технических алмазов.

Для уменьшения трения в волоке заготовки смазывают минеральным маслом, эмульсией или графитом. Смазка способствует получению чистой поверхности изделия и снижению усилий, затрачиваемых на волочение.

Процесс волочения осуществляют, как правило, при комнатной температуре. Выделяющееся при деформации металла тепло отводят путем непрерывного охлаждения волоки эмульсией, водой или воздухом. В процессе волочения металл наклепывается и приобретает

волокнистое строение (текстуру). Это приводит к изменению механических свойств металла. Так, при волочении стальной проволоки, содержащей 0,5 % углерода, со степенью деформации до 80 % предел прочности при растяжении σ_b увеличивается с 900 до 1480 МПа.

3. Оборудование для волочения

Оборудованием для волочения являются волочильные станы, которые подразделяются на барабанные и цепные.

Барабанные станы (рис. 8.5) применяются для волочения проволоки, а также труб небольшого диаметра, наматываемых в бухты. Исходную заготовку бухты укладывают на вертушку 1. Предварительно заостренный конец проволоки пропускается через отверстие волоки 2 и закрепляется на барабане 3, который приводится во вращение от электродвигателя через редуктор и зубчатую передачу 4. Кроме станов для однократного волочения существуют станы и для многократного, имеющие до 20 барабанов с установленными перед ними волоками.

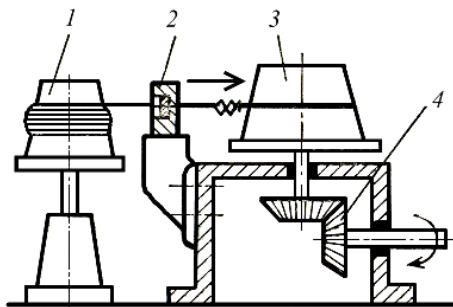


Рис. 8.5. Схема барабанного волочильного стана:
1 – вертушка; 2 – волока; 3 – барабан; 4 – привод

Цепные станы с прямолинейным движением тянущего устройства (рис. 8.6) применяют для волочения прутков и труб, которые не могут наматываться в бухты. На этом стане через отверстие волоки 1 пропускают конец прутка и захватывают его клещами 2, которые закреплены на каретке 3. Каретка через тяговый крюк 4 перемещается пластинчатой цепью 5, приводимой в движение от звездочки 6, которая вращается от электродвигателя 8 через редуктор 7.

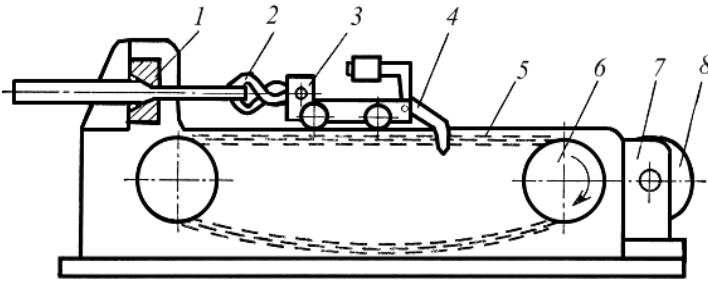


Рис. 8.6. Схема цепного волоочильного стана:

1 – волока; 2 – клещи; 3 – каретка; 4 – тяговый крюк; 5 – пластинчатая цепь; 6 – звездочка; 7 – редуктор; 8 – электродвигатель

4. Операции технологического процесса волочения

Технологический процесс волочения включает следующие операции:

- предварительный отжиг заготовок для получения мелкозернистой структуры металла и повышения его пластичности;
- травление заготовок в подогретом растворе серной кислоты для удаления окалины с последующей их промывкой и нанесение на поверхность под смазочного слоя (путем омеднения, фосфотирования);
- непосредственное волочение;
- рекристаллизационный отжиг для устранения наклепа;
- отделка готовой продукции (обрезка концов, правка и др.).

5. Основные параметры, характеризующие деформацию металла при волочении

Процесс волочения характеризуется коэффициентом вытяжки, степенью деформации и скоростью волочения.

Коэффициент вытяжки λ – отношение площади поперечного сечения исходной заготовки F_0 к площади заготовки после волочения F_k :

$$\lambda = \frac{F_0}{F_k} = \frac{d_0^2}{d_k^2}, \quad (8.1)$$

где d_0 – диаметр заготовки до волочения;

d_k – диаметр заготовки после волочения.

Степень деформации (степень обжатия) ε определяется по формуле

$$\varepsilon = \frac{F_0 - F_k}{F_0} 100 \% = \frac{d_0^2 - d_k^2}{d_0^2} 100 \% \quad (8.2)$$

Как правило, коэффициент вытяжки λ составляет 1,25...1,45, а степень деформации – 30...35 % (за один проход). При необходимости получить бóльшую величину степени деформации производят многократное волочение. В этом случае полученный в процессе предыдущих операций наклеп снимают отжигом. Затем проводят все подготовительные операции и повторяют процесс до получения изделия нужного сечения.

Скорость волочения v_v – скорость прохождения металла через отверстие в волоке. Чем больше скорость волочения, тем выше производительность оборудования. Скорость зависит главным образом от возможности отвода тепла и допустимой температуры металла при волочении. Скорость волочения на цепных станах при обработке относительно коротких прутков (5...8 м) составляет 0,03...0,65 м/с, при волочении длинных прутков – 1,5...2 м/с. Скорость волочения на барабанных станах однократного волочения обычно составляет 0,7...4 м/с, а на станах многократного волочения, имеющих до 30 волок, может достигать 20 м/с.

Сортамент изделий, изготавливаемых волочением, включает проволоку диаметром 0,002...10 мм и фасонные профили (сегментные, призматические и фасонные шпонки, призматические и фасонные направляющие, шлицевые валики, опорные призмы, ножи и т. д.). Волочением калибруют стальные трубы диаметрами от 1 до 500 мм, а также стальные прутки диаметром 3...150 мм.

Волочение обеспечивает точность размеров (стальная проволока диаметром 1,0...1,6 мм имеет допуск 0,02 мм), высокое качество поверхности, большую степень упрочнения и позволяет получать тонкие профили.

Практическая часть

Оборудование и инструменты: волоки, разрывная машина, контрольно-измерительный инструмент.

Материалы: алюминиевая проволока, смазка, наждачная бумага.

1. Определение основных параметров, характеризующих деформацию металла при волочении

Процесс волочения осуществить следующим образом. Образцы из алюминиевой проволоки зачистить от окалины наждачной бумагой и заострить их концы для последующего продевания через отверстие волоки. Смазать проволоку и набить смазкой входную часть волоки. Продеть конец проволоки в волоку и закрепить волоку и проволоку в зажимах разрывной машины. Предварительно протянуть последовательно два образца проволоки через отверстие в первой волоке. Затем один из образцов аналогичным образом вторично протянуть во второй волоке с меньшим отверстием. Полученные протянутые образцы очистить от смазки.

Для определения основных параметров, характеризующих деформацию металла при волочении (коэффициент вытяжки λ и степень деформации ε) измерить диаметры исходного отожженного (d_0) и протянутых (d_k) образцов.

Коэффициент вытяжки λ и степень деформации ε определить по формулам (8.1) и (8.2) соответственно.

2. Влияние деформации при волочении металла на его механические свойства

Исходный образец и два образца, полученные после волочения (однократного и двукратного), разорвать на разрывной машине. Определить значения величины максимального разрушающего усилия P_{\max} и предела прочности при растяжении σ_b (как отношение максимального разрушающего усилия P_{\max} к площади поперечного сечения образца F до разрушения).

3. Содержание отчета

1. Сущность процесса волочения.
2. Устройство волоки.
3. Операции технологического процесса волочения.
4. Основные параметры, характеризующие деформацию металла при волочении.

4. Оформление результатов работы

Результаты проведенных измерений геометрических параметров образцов и разрушающего усилия, вычислений основных параметров,

характеризующих деформацию металла при волочении, и значения предела прочности при растяжении занести в таблицу.

Таблица

Результаты испытаний

Образец	d_0 , мм	$d_{кз}$, мм	λ	ε , %	P_{max} , МПа	F , мм ²	σ_b , МПа
Исходный		—	—	—			
После однократного волочения							
После двукратного волочения							

Сделать вывод о влиянии деформации металла на его механические свойства при волочении.

Вопросы и задания для текущего контроля

1. В чем состоит сущность процесса волочения?
2. Перечислите основные операции процесса волочения.
3. Дайте определения основных параметров, характеризующих деформацию металла при волочении.
4. Как степень деформации металла влияет на его механические свойства при волочении?

ЗАНЯТИЕ 9

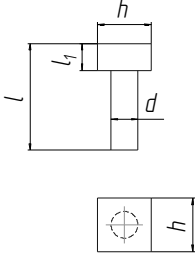
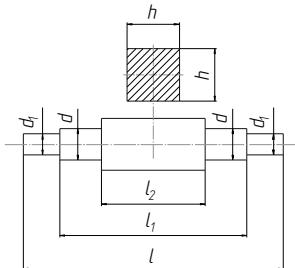
УСРС № 2

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА КОВКИ КОНКРЕТНОЙ ДЕТАЛИ

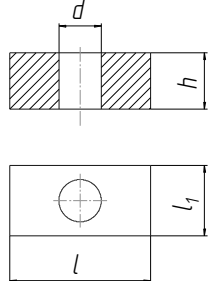
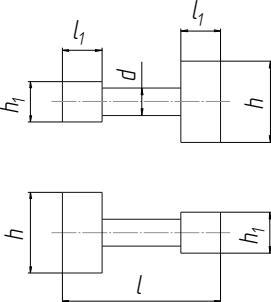
В соответствии с индивидуальным заданием (табл. 9.1) расчитать поковку и определить маршрут технологического процесса ковки.

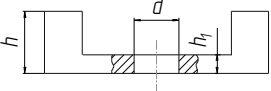
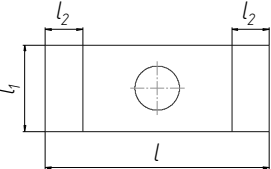
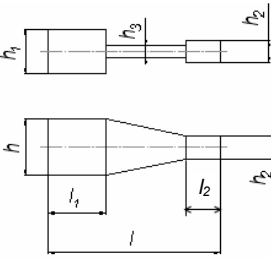
Таблица 9.1

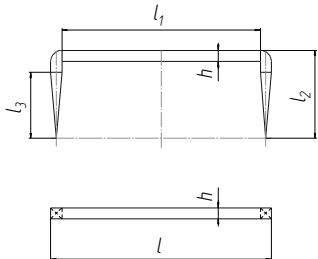
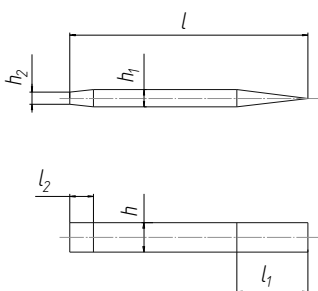
Варианты индивидуальных заданий

Марка стали	Количество поковок	Геометрические параметры										Эскиз поковки
		l	l_1	l_2	l_3	h	h_1	h_2	h_3	d	d_1	
1. Сталь 20	8	150	20	–	–	30	–	–	–	20	–	<p style="text-align: center;">Болт</p> 
2. Сталь 30	15	110	12	–	–	25	–	–	–	18	–	
3. Сталь 40	7	100	8	–	–	20	–	–	–	15	–	
4. Сталь 40	1	250	180	100	–	50	–	–	–	30	20	<p style="text-align: center;">Ось</p> 
5. Сталь 45	3	300	230	150	–	55	–	–	–	40	30	
6. Сталь 50	5	400	300	260	–	80	–	–	–	60	50	

Продолжение таблицы 9.1

Марка стали	Количество поковок	Геометрические параметры										Эскиз поковки
		l	l_1	l_2	l_3	h	h_1	h_2	h_3	d	d_1	
7. Сталь 10	5	100	70	—	—	40	—	—	—	30	—	<p>Фланец</p> 
8. Сталь 15	6	80	55	—	—	30	—	—	—	20	—	
9. Сталь 25	8	110	75	—	—	45	—	—	—	35	—	
10. Сталь 40	5	100	25	—	—	50	25	—	—	17	—	<p>Тяга</p> 
11. Сталь 50	10	200	50	—	—	100	50	—	—	35	—	
12. Сталь 55	4	250	60	—	—	120	60	—	—	45	—	

Марка стали	Количество поковок	Геометрические параметры										Эскиз поковки
		l	l_1	l_2	l_3	h	h_1	h_2	h_3	d	d_1	
13. Сталь 20	3	150	50	25	–	40	12	–	–	15	–	<p>Башмак</p> 
14. Сталь 30	7	300	100	45	–	75	25	–	–	30	–	
15. Сталь 35	10	250	85	35	–	65	20	–	–	25	–	
16. Сталь 40	10	150	50	30	–	50	40	20	10	–	–	
17. Сталь 45	3	350	115	70	–	95	90	45	20	–	–	<p>Рычаг</p> 
18. Сталь 50	1	400	135	80	–	135	100	50	25	–	–	

Марка стали	Количество поковок	Геометрические параметры										Эскиз поковки
		l	l_1	l_2	l_3	h	h_1	h_2	h_3	d	d_1	
19. Сталь 55	1	200	180	80	60	10	—	—	—	—	—	<p>Скоба</p> 
20. Сталь 60	5	150	135	45	35	7	—	—	—	—		
21. Сталь 65	10	300	270	90	70	15	—	—	—	—		
22. Сталь У8А	3	200	60	20	—	25	15	10	—	—	—	<p>Зубило</p> 
23. Сталь У7А	10	250	75	25	—	30	18	13	—	—		
24. Сталь У11А	1	320	100	35	—	45	30	25	—	—		

1. Определение объема и массы поковки

Выполнить эскиз поковки в самостоятельно выбранном масштабе. Указать номер задания, название поковки, ее размеры, марку стали, из которой выполняется поковка, и требуемое количество поковок.

Для расчета объема поковки определить объемы простых геометрических фигур $V_1 \dots V_n$, из которых она состоит. Объем поковки $V_{\text{пок}}$ представляет собой сумму объемов отдельных ее элементов:

$$V_{\text{пок}} = V_1 + V_2 + \dots + V_n. \quad (9.1)$$

Масса поковки определяется по формуле

$$M_{\text{пок}} = V_{\text{пок}} \rho, \quad (9.2)$$

где ρ – плотность металла поковки (для большинства марок сталей $\rho = 7,86 \text{ г/см}^3$).

2. Определение объема и массы исходной заготовки

Рассчитать объем исходной заготовки с учетом потерь металла на угар и обсечку по формуле

$$V_{\text{исх}} = V_{\text{пок}} + V_{\text{уг}} + V_{\text{обс}},$$

где $V_{\text{исх}}$ – объем исходной заготовки, см^3 ;
 $V_{\text{уг}}$ – объем потери металла на угар, см^3 ;
 $V_{\text{обс}}$ – объем потери металла на обсечку, см^3 .

Суммарное значение объема потерь металла на угар и обсечку зависит от конфигурации поковки и может быть определено из равенства

$$V_{\text{уг}} + V_{\text{обс}} = V_{\text{пок}} \beta,$$

где β – относительная доля потерь на угар и обсечку от общего объема поковки.

Отсюда

$$V_{\text{исх}} = V_{\text{пок}} + \beta V_{\text{пок}} = V_{\text{пок}} (1 + \beta). \quad (9.3)$$

Значения величины β для поковок различной конфигурации представлены в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Значения величины β для поковок различной конфигурации

Конфигурация поковки	Значение
Глухие фланцы, пластины, кубики, бруски	0,015...0,025
Фланцы с отверстием, хомуты, подвески, гайки	0,02
Гладкие валы, вилки	0,05...0,07
Болты, шпонки, башмаки, траверсы, зубила кузнечные	0,07...0,10
Валы и валики с двусторонними уступами или буртиками, оси, шпиндели, тяги, серьги, скобы	0,10...0,15
Рычаги, сложные шатуны, кривошипцы	0,18...0,25

Определить массу исходной заготовки $M_{исх}$ по формуле

$$M_{исх} = V_{исх} \rho. \quad (9.4)$$

3. Определение размеров исходной заготовки

В качестве исходных заготовок для получения поковок используются отливки или прокат. В данной работе в качестве исходного материала для заготовки под поковку следует использовать сортовую горячекатаную сталь (ГОСТ 2590–88), стандартными диаметрами $d_{сорт}$ которой являются: 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 50, 52, 53, 54, 55, 56, 58, 60, 62, 63, 65, 67, 68, 70, 72, 75, 78, 80, 82, 85, 87, 90, 92, 95, 97, 100, 105, 110, 115, 120, 125, 130, 135, 140, 145, 150, 155, 160, 165, 170, 175, 180, 185, 190, 195, 200, 210, 220, 230, 240, 250, 260, 270 мм.

Если первой технологической операцией получения поковки будет протяжка или осадка, то диаметр исходной заготовки $d_{исх}$ можно определить следующим образом: площадь поперечного сечения исходной заготовки $S_{исх}$ приравнять к площади максимального поперечного сечения поковки после первой операции S_{max} с учетом коэффициента уковки Y_k . Тогда $S_{исх} = S_{max} Y_k$.

Зная, что $S_{исх} = \frac{\pi d_{исх}^2}{4}$, получим:

$$d_{\text{исх}} = \sqrt{\frac{4S_{\text{max}} Y_{\text{к}}}{\pi}}. \quad (9.5)$$

Сравнить расчетное значение $d_{\text{исх}}$ со значением $d_{\text{сорт}}$. Если $d_{\text{исх}} \neq d_{\text{сорт}}$, выбрать наиболее близкое численное значение $d_{\text{сорт}}$ согласно условию $d_{\text{сорт}} \geq d_{\text{исх}}$.

Определить длину исходной заготовки $L_{\text{исх}}$ по формуле

$$L_{\text{исх}} = \frac{V_{\text{исх}}}{S_{\text{сорт}}}, \quad (9.6)$$

где $S_{\text{сорт}}$ – площадь поперечного сечения сортового проката:

$$S_{\text{сорт}} = \frac{\pi d_{\text{сорт}}^2}{4}.$$

4. Выбор температурного интервалаковки

Определить температурный интервалковки для углеродистых сталей по диаграмме состояния Fe–Fe₃C (железо–цементит) (рис. 9.1).

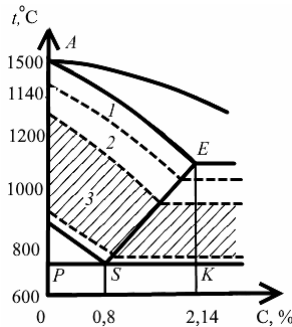


Рис. 9.1. Область диаграммы состояния Fe–Fe₃C для определения температурного интервала обработки давлением углеродистой стали: 1 – зона пережога; 2 – зона перегрева; 3 – область горячей обработки

5. Определение продолжительности нагрева исходной заготовки

Определить время нагрева τ , ч, по формуле Н. Н. Доброхотова

$$\tau = \alpha k d \sqrt{d}, \quad (9.7)$$

где α – коэффициент, учитывающий способ укладки заготовок в печи (рис. 9.2);

k – коэффициент, зависящий от марки стали (для углеродистых и низколегированных сталей $k = 10$, для высокоуглеродистых и высоколегированных сталей $k = 20$);

d – диаметр заготовки, м.

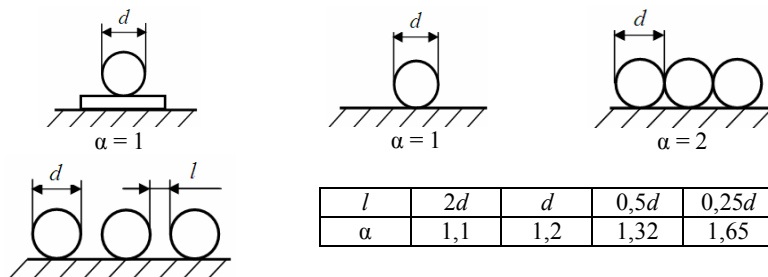


Рис. 9.2. Схемы зависимости коэффициента α от способа укладки заготовок в печи

6. Определение массы падающих частей молота

Определить массу падающих частей молота G в зависимости от массы исходной заготовки $M_{исх}$ или диаметра сортового проката $d_{сорт}$ исходной заготовки по табл. 9.3.

Таблица 9.3

Зависимость массы падающих частей пневматического молота от массы заготовки и диаметра сортового проката

Масса падающих частей молота G , кг	Масса исходной заготовки $M_{исх}$, кг		Диаметр сортового проката $d_{сорт}$, мм
	средняя	наибольшая	
75	0,3	1,2	45
150	1,5	4,0	60
250	2,5	8,0	75
400	6,0	18,0	100
560	9,0	28,0	120
750	12,0	40,0	135
1000	20,0	70,0	160

7. Выбор основных технологических операций и рабочего инструмента для изготовления заданной поковки

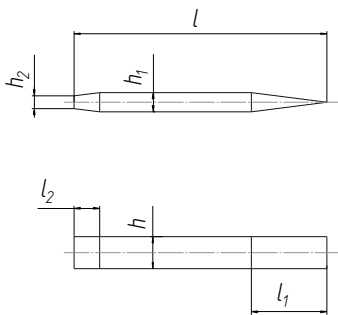
В зависимости от конфигурации поковки выбрать технологические операции и необходимый инструмент для ее получения и привести их

в соответствующей маршрутной карте технологического процесса изготовления поковки.

8. Составление маршрутной карты технологического процесса изготовления поковки

При составлении маршрутной карты технологического процесса в логической последовательности назначить операции и переходы, выполнить эскизы каждого перехода с необходимыми размерами и указать использованные оборудование и инструмент.

Пример выполнения индивидуального задания



Вариант 22

Наименование поковки:

зубило кузнечное.

Марка стали: У8А.

Количество поковок: 3 шт.

Геометрические параметры (мм):

$l = 200$; $l_1 = 60$; $l_2 = 20$;

$h = 25$; $h_1 = 15$; $h_2 = 10$.

1. Определение объема и массы поковки

Элементы поковки – треугольная (V_1), прямоугольная (V_2) и усеченная призма (V_3):

$$V_1 = \left(\frac{1}{2} h_1 l_1\right) h; \quad V_2 = (l - (l_1 + l_2)) h h_1; \quad V_3 = \frac{1}{2} (h_1 + h_2) l_2 h.$$

Определяем объем поковки по формуле (9.1):

$$V_{\text{пок}} = V_1 + V_2 + V_3 = \left(\left(\frac{1}{2} \cdot 15 \cdot 60 \right) \cdot 25 \right) + \left((200 - (60 + 20)) \cdot 25 \cdot 15 \right) + \left(\frac{1}{2} (15 + 10) \cdot 20 \cdot 25 \right) = 62\,500 \text{ мм}^3 = 62,5 \text{ см}^3.$$

Определяем массу поковки по формуле (9.2):

$$M_{\text{пок}} = V_{\text{пок}} \rho = 62,5 \cdot 7,86 = 491 \text{ г.}$$

Таким образом, $V_{\text{пок}} = 62,5 \text{ см}^3$; $M_{\text{пок}} = 491 \text{ г.}$

2. Определение объема и массы исходной заготовки

Объем исходной заготовки определяем по формуле (9.3), используя значение β из табл. 9.2:

$$V_{\text{исх}} = V_{\text{пок}} (1 + \beta) = 62,5 (1 + 0,07) = 66,9 \text{ см}^3.$$

Массу исходной заготовки определяем по формуле (9.4):

$$M_{\text{исх}} = V_{\text{исх}} \rho = 66,9 \cdot 7,86 = 526 \text{ г.}$$

Таким образом, $V_{\text{исх}} = 66,9 \text{ см}^3$; $M_{\text{исх}} = 526 \text{ г.}$

3. Определение размеров исходной заготовки

Диаметр исходной заготовки рассчитываем по формуле (9.5), принимая площадь поперечного сечения поковки после первой операции (протяжки) равной $F_{\text{max}} = h_1 h$:

$$d_{\text{исх}} = \sqrt{\frac{4F_{\text{max}} Y_{\text{к}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4h_1 h Y_{\text{к}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 15 \cdot 20 \cdot 1,3}{3,14}} = 22,3 \text{ мм.}$$

Сравнив расчетное значение $d_{\text{исх}}$ с $d_{\text{сорт}}$ по ГОСТ 2590–88, принимаем $d_{\text{сорт}} = 23 \text{ мм.}$

Длину исходной заготовки определяем по формуле (9.6):

$$L_{\text{исх}} = \frac{V_{\text{исх}}}{S_{\text{сорт}}} = \frac{V_{\text{исх}}}{\frac{\pi d_{\text{сорт}}^2}{4}} = \frac{66 \ 900}{\frac{3,14 \cdot 23^2}{4}} = 161 \text{ мм.}$$

Таким образом, $d_{\text{сорт}} = 23 \text{ мм}$; $L_{\text{исх}} = 161 \text{ мм.}$

4. Выбор температурного интервалаковки

Температурный интервалковки определяем по диаграмме Fe–Fe₃C (см. рис. 9.1). Для стали У8А (0,8 % углерода) температура началаковки $t_n = 1200$ °С, температура концаковки $t_k = 790$ °С.

Таким образом, $t_n = 1200$ °С, $t_k = 790$ °С.

5. Определение продолжительности нагрева исходной заготовки

Время нагрева определяем по формуле (9.7). Заготовки диаметром $d_{\text{сорт}} = 23$ мм расположим в печи на расстоянии $l = d_{\text{сорт}}$. В этом случае, исходя из рис. 9.2, значение α принимаем равным 1,2. Для стали У8А значение k принимаем равным 20. Тогда

$$\tau = \alpha kd \sqrt{d} = \alpha kd_{\text{сорт}} \sqrt{d_{\text{сорт}}} = 1,2 \cdot 20 \cdot 0,023 \sqrt{0,023} = 0,084 \text{ ч.}$$

Таким образом, $\tau = 0,084$ ч.

6. Определение массы падающих частей молота

Для заготовки массой $M_{\text{исх}} = 526$ г $\approx 0,53$ кг и диаметром $d_{\text{сорт}} = 23$ мм массу падающих частей молота G , исходя из данных табл. 9.3, принимаем равной 75 кг.

Таким образом, $G = 75$ кг.

7. Выбор основных технологических операций и рабочего инструмента для изготовления заданной поковки

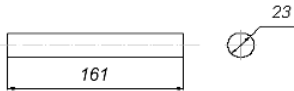
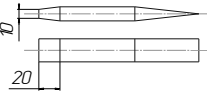
При изготовлении поковки зубила используем такие технологические операции, как отрубка и протяжка. Рабочий инструмент и оборудование: пневматический молот, плоские бойки, наковальня, кувалда, топор, гладилка, клещи, кронциркуль, линейка.

8. Составление маршрутной карты технологического процесса изготовления поковки

Маршрутная карта технологического процессаковки зубила представлена в виде табл. 9.4.

Таблица 9.4

Маршрутная карта технологического процессаковки зубила

Эскиз поковки		Эскиз заготовки
 <p>Сталь У8А, 10 шт.</p>		
Операция, переход	Оборудование, инструмент	Эскиз перехода
Нагрев $t_n = 1200\text{ }^\circ\text{C}$	Горн, клещи	—
Отрубка мерной части заготовки $l_{исх} = 161\text{ мм}$	Наковальня, кувалда, топор, линейка, клещи	—
Протяжка на полосу	Пневматический молот, плоские бойки, кронциркуль, клещи	
Нагрев $t_n = 1200\text{ }^\circ\text{C}$	Горн, клещи	—
Протяжка боковых граней рабочей (рубящей) части	Плоские бойки, клиновья подкладка, клещи	
Протяжка ударяемой части	Наковальня, кувалда, клещи, обжимка	
Отделка поковки	Наковальня, кувалда, гладилка	—

Маршрутная карта технологического процессаковки включает эскизы поковки и заготовки, операции и переходыковки с их эскизами, применяемое оборудование и инструмент.

ЗАНЯТИЕ 10

Контроль знаний по модулю 2

Уровень I (репродуктивный)

1. Операция уменьшения высоты заготовки при увеличении площади поперечного сечения в процессековки называется:

1) осадкой; 2) высадкой; 3) протяжкой; 4) раздачей; 5) прошивкой.

2. Деформация осаживаемой заготовки не по всей высоте при ковке называется:

1) осадкой; 2) высадкой; 3) протяжкой; 4) раздачей; 5) прошивкой.

3. Операция удлинения заготовки или ее части за счет уменьшения площади поперечного сечения при ковке называется:

1) осадкой; 2) протяжкой; 3) разгонкой; 4) раздачей; 5) прошивкой.

4. Операция увеличения ширины части заготовки за счет уменьшения ее толщины при ковке называется:

1) разгонкой; 2) протяжкой; 3) высадкой; 4) раздачей; 5) прошивкой.

5. Минимальной температурой, при которой в структуре деформированного металла зарождаются и растут новые равноосные зерна, является температура:

1) рекристаллизации; 2) плавления; 3) кристаллизации;
4) возврата; 5) кипения.

6. Процесс образования и роста новых равноосных зерен из деформированных называется:

1) возвратом; 2) полигонизацией; 3) кристаллизацией;
4) рекристаллизацией; 5) отжигом.

7. Упрочнение металла в процессе холодной пластической деформации называется:

1) рекристаллизацией; 2) наклепом; 3) возвратом;
4) полигонизацией; 5) отжигом.

8. Деформация, проводимая при температуре выше температуры рекристаллизации, называется:

1) остаточной; 2) холодной; 3) горячей; 4) пластической; 5) упругой.

9. Деформация, проводимая при температуре ниже температуры рекристаллизации, называется:

1) остаточной; 2) холодной; 3) горячей; 4) пластической; 5) упругой.

10. Дефект поковок при нагреве заготовок до температуры, близкой к температуре плавления, называется:

- 1) перегревом; 2) пережогом; 3) волокнистой структурой;
- 4) оплавлением; 5) трещинами.

11. Дефект поковок при нагреве заготовок до температуры выше оптимального интервала горячей обработки давлением называется:

- 1) перегревом; 2) пережогом; 3) волокнистой структурой;
- 4) оплавлением; 5) трещинами.

12. Параметром, с увеличением которого пластичность металла увеличивается, а сопротивление деформации уменьшается, является:

- 1) температура обработки; 2) содержание углерода в стали;
- 3) скорость деформации; 4) содержание серы и фосфора;
- 5) содержание постоянных примесей.

13. Пластичность металла с увеличением температуры обработки:

- 1) уменьшается; 2) увеличивается; 3) не изменяется;
- 4) уменьшается в определенном интервале температур;
- 5) увеличивается в определенном интервале температур.

14. Пластичность стали с увеличением скорости деформации:

- 1) увеличивается; 2) уменьшается; 3) не изменяется;
- 4) увеличивается в определенном интервале скоростей;
- 5) уменьшается в определенном интервале скоростей.

15. Пластичность стали с увеличением содержания углерода и легирующих элементов:

- 1) уменьшается; 2) увеличивается;
- 3) не изменяется; 4) увеличивается в узких пределах;
- 5) уменьшается в узких пределах.

16. Для получения сортового проката используется прокатка:

- 1) продольная; 2) поперечная; 3) поперечно-винтовая;
- 4) клиновья; 5) пилигримовая.

17. Для получения листового проката используется прокатка:

- 1) продольная; 2) поперечная; 3) поперечно-винтовая;
- 4) клиновья; 5) пилигримовая.

18. Для получения специальных периодических профилей используется прокатка:

- 1) продольная; 2) поперечная; 3) поперечно-винтовая;
- 4) клиновья; 5) пилигримовая.

19. Для получения пустотелых трубных заготовок используется прокатка:

- 1) продольная; 2) поперечная; 3) поперечно-винтовая;
- 4) клиновья; 5) поперечно-клиновья.

20. Способ обработки металлов давлением при получении проволоки называется:

- 1) прессованием;
- 2) листовой штамповкой;
- 3) волочением;
- 4) объемной штамповкой;
- 5) ковкой.

21. Способ обработки металлов давлением при получении поковок массой до 250 т и более называется:

- 1) прессованием;
- 2) штамповкой;
- 3) ковкой;
- 4) волочением;
- 5) прокаткой.

22. Законом, используемым для определения размера исходной заготовки, является закон:

- 1) наименьшего сопротивления;
- 2) Гука;
- 3) постоянства объемов;
- 4) Архимеда;
- 5) Ньютона.

23. Допустимыми отклонениями размеров поковки от номинальных являются:

- 1) припуски;
- 2) допуски;
- 3) напуски;
- 4) характеристики шероховатости;
- 5) характеристики прямолинейности.

24. Закрытый штамп – это штамп, у которого:

- 1) имеется облойная канавка;
- 2) разъем происходит по плоскости;
- 3) нет облойной канавки;
- 4) разъем происходит по сложной поверхности;
- 5) имеется верхняя крышка.

25. Элемент поковки для упрощения ее формы называется:

- 1) припуском;
- 2) допуском;
- 3) напуском;
- 4) уклоном;
- 5) прямолинейностью.

26. Открытый штамп – это штамп, у которого:

- 1) имеется облойная канавка;
- 2) нет облойной канавки;
- 3) разъем происходит по сложной поверхности;
- 4) разъем происходит по вертикальной плоскости;
- 5) отсутствует верхняя крышка.

27. Рабочим инструментом при прессовании служит:

- 1) штамп;
- 2) матрица;
- 3) валки;
- 4) наковальня;
- 5) волока.

28. Рабочим инструментом при прокатке служит:

- 1) штамп;
- 2) матрица;
- 3) валки;
- 4) наковальня;
- 5) волока.

29. Недостатком закрытых штампов является:

- 1) повышенный расход металла;
- 2) расход на обрезку облоя;

- 3) точное соблюдение размеров заготовки;
- 4) повышенное давление при штамповке;
- 5) малая стойкость штампа.

30. При обратном прессовании направление истечения металла:

- 1) совпадает с направлением движения пуансона;
- 2) противоположно движению пуансона;
- 3) совпадает с движением матрицы;
- 4) перпендикулярно пуансону;
- 5) перпендикулярно матрице.

31. При прямом прессовании направление истечения металла:

- 1) совпадает с направлением движения пуансона;
- 2) противоположно движению пуансона;
- 3) совпадает с движением матрицы;
- 4) перпендикулярно пуансону;
- 5) перпендикулярно матрице.

32. Твердость и прочность металла при наклепе:

- 1) не изменяется; 2) уменьшается; 3) увеличивается;
- 4) увеличивается в узком пределе; 5) уменьшается в узком пределе.

33. Пластичность и ударная вязкость при наклепе:

- 1) не изменяется; 2) уменьшается; 3) увеличивается;
- 4) увеличивается в узком пределе; 5) уменьшается в узком пределе.

34. Процесс выдавливания металла нагретой заготовки из замкнутой полости контейнера через отверстие в матрице называется:

- 1) прессованием; 2) штамповкой; 3) волочением;
- 4) прокаткой; 5) ковкой.

35. Около 80 % выплаваемой стали и до 55 % сплавов из цветных металлов подвергаются обработке давлением методом:

- 1) объемной листовой штамповки; 2) прокатки;
- 3) прессования; 4) волочения; 5)ковки.

36. Обработке давлением не подвергается:

- 1) углеродистая сталь; 2) ковкий чугун;
- 3) дюралюминий; 4) бронза; 5) латунь.

37. Механизмом пластической деформации монокристалла является:

- 1) фазовая перекристаллизация; 2) анизотропия; 3) скольжение;
- 4) рекристаллизация; 5) дислокационный механизм.

38. При холодной обработке металлов давлением:

- 1) уменьшается объем;
- 2) повышается плотность;
- 3) повышается твердость и прочность;

4) уменьшается твердость и прочность;

5) повышается пластичность.

39. *О пластичности металла можно судить:*

1) по пределу прочности при растяжении;

2) по относительному удлинению; 3) по ударной вязкости;

4) по твердости; 5) по пределу упругости.

40. *Нагрев заготовок перед обработкой металлов давлением производится:*

1) в методических печах; 2) в электродуговых печах;

3) в вагранке; 4) в доменной печи; 5) в мартеновской печи.

41. *Нагрев заготовок перед обработкой металлов давлением производится:*

1) в камерных печах; 2) в электродуговых печах; 3) в вагранке;

4) в доменной печи; 5) в мартеновской печи.

42. *Основным требованием, предъявляемым к нагреву металлических заготовок, является:*

1) минимальная температура нагрева;

2) равномерный нагрев всего объема заготовки; 3) быстрый нагрев;

4) максимальная температура нагрева; 5) отсутствие коробления.

43. *Одним из основных видов прокатки является:*

1) продольная; 2) продольно-винтовая;

3) поперечно-продольная; 4) винто-продольная;

5) продольно-поперечная.

44. *Одним из основных видов прокатки является:*

1) поперечная; 2) продольно-винтовая;

3) поперечно-продольная; 4) винто-продольная;

5) продольно-поперечная.

45. *Одним из основных видов прокатки является:*

1) поперечно-винтовая; 2) продольно-винтовая;

3) поперечно-продольная; 4) винто-продольная;

5) продольно-поперечная.

46. *К профилю сортового проката можно отнести:*

1) круг; 2) рельс; 3) швеллер; 4) трубу; 5) лист.

47. *К профилю сортового проката можно отнести:*

1) шар; 2) лист; 3) трубу; 4) рельс; 5) шестигранник.

48. *К профилю сортового проката можно отнести:*

1) уголок; 2) лист; 3) проволоку; 4) круг; 5) швеллер.

49. *К профилю фасонного проката можно отнести:*

1) уголок; 2) круг; 3) шестигранник; 4) лист; 5) полосу.

50. К профилю фасонного проката можно отнести:
1) швеллер; 2) круг; 3) шестигранник; 4) лист; 5) квадрат.
51. К профилю фасонного проката можно отнести:
1) полосу; 2) круг; 3) двутавр; 4) шестигранник; 5) квадрат.
52. К специальным видам проката можно отнести:
1) шестигранник; 2) швеллер; 3) шар; 4) лист; 5) двутавр.
53. Одним из основных видов прессования является:
1) прямое; 2) поперечное; 3) продольное;
4) вертикальное; 5) горизонтальное.
54. Одним из основных видов прессования является:
1) поперечное; 2) обратное; 3) продольное;
4) вертикальное; 5) горизонтальное.
55. Преимуществом обратного метода прессования по сравнению с прямым является:
1) меньший процент отхода металла;
2) получение изделий с более высоким классом чистоты поверхности;
3) получение изделий с более высоким классом размерной точности;
4) получение изделий с меньшей шероховатостью поверхности;
5) меньшее давление в процессе прессования.
56. Материалом для изготовления фильеры (волоки) служит:
1) коррозионно-стойкая сталь; 2) твердый сплав;
3) латунь; 4) конструкционная сталь; 5) чугун.
57. Основной продукцией волочильных станов является:
1) рельс; 2) винтовой профиль; 3) проволока;
4) труба; 5) шестигранник.
58. Наиболее рациональным способом массового производства крепежных изделий (болты, винты, гвозди и др.) является:
1) холодная объемная штамповка; 2) поперечная прокатка;
3) прессование; 4) горячая штамповка; 5) ковка.
59. Деформация называется холодной при температуре:
1) комнатной; 2) ниже температуры рекристаллизации;
3) выше температуры рекристаллизации;
4) ниже температуры плавления; 5) ниже комнатной.
60. Рекристаллизацией называется:
1) снижение пластических свойств при нагреве;
2) образование волокнистой структуры;
3) образование новых равноосных зерен взамен старых волокнистых;
4) снижение ударной вязкости;
5) увеличение вытянутости зерен.

61. Структура деформированного металла в процессе возврата:

- 1) изменяется с укрупнением зерна;
- 2) изменяется с измельчением зерна;
- 3) не изменяется;
- 4) изменяется с зарождением на границах зерна новых зерен;
- 5) изменяется с увеличением межзеренных границ.

62. Горячей называется деформация при температуре:

- 1) повышенной; 2) выше температуры рекристаллизации;
- 3) выше комнатной; 4) комнатной; 5) выше температуры плавления.

63. Наклепом называется:

- 1) увеличение размеров зерен в процессе деформации;
- 2) явление упрочнения металла в процессе холодной пластической деформации;
- 3) изменение формы и размеров тела в процессе деформации;
- 4) увеличение числа дислокаций;
- 5) повышение пластичности в процессе пластической деформации.

64. При поперечной прокатке:

- 1) валки вращаются в противоположные стороны;
- 2) валки вращаются в одну и ту же сторону;
- 3) заготовка перемещается перпендикулярно оси вращения валков;
- 4) заготовка перемещается под углом к оси вращения валков;
- 5) заготовка неподвижна.

65. Прокатку слитков проводят при помощи:

- 1) гидравлических прессов; 2) волоки;
- 3) механических прессов; 4) штампа; 5) валков.

66. Прокатные валки, имеющие на поверхности ручьи, называются:

- 1) гладкими; 2) поперечными; 3) неоднородными;
- 4) продольными; 5) калиброванными.

67. Признаком классификации прокатных станов по назначению является:

- 1) вид прокатных изделий; 2) длина бочки рабочих валков;
- 3) конструкция прокатных станов; 4) расположение рабочих клетей;
- 5) количество валков в рабочей клети.

68. При горячей ОМД оптимальная температура нагрева стали по диаграмме «железо–цементит»:

- 1) ниже линии ликвидус на 100...200 °С;
- 2) выше линии ликвидус на 100...200 °С;
- 3) ниже линии солидус на 100...200 °С;

4) выше линии солидус на 100...200 °С;

5) равна температуре линии солидус.

69. Инструментом, обеспечивающим получение правильных размеров профиля и качество поверхности изделий при прессовании, является:

1) контейнер; 2) пресс-шайба; 3) матрица; 4) игла; 5) пуансон.

70. Инструментом дляковки является:

1) изложница; 2) матрица; 3) валок; 4) кувалда; 5) волока.

Уровень II (продуктивный)

1. Дать определение терминов «обработка металлов давлением», «холодная обработка металлов давлением» и «горячая обработка металлов давлением».

2. Дать определение терминов «наклеп», «возврат» и «рекристаллизация».

3. Указать значения температурного интервала горячей обработки металлов давлением, дать определения терминов «перегрев» и «пережог».

4. Описать технологию прессования металлов, изобразить схемы видов прессования.

5. Описать технологию волочения металлов, изобразить схемы процесса и инструмента для волочения.

6. Описать технологию прокатки металлов, изобразить схемы основных способов прокатки.

7. Изобразить схему валка прокатного стана с обозначением его конструктивных элементов, дать определение термина «калибр».

8. Описать основное и вспомогательное оборудование прокатного производства, изобразить схему прокатного стана.

9. Перечислить виды прокатных станов продольной прокатки.

10. Описать технологиюковки металлов, перечислить основные операцииковки.

11. Перечислить инструмент и оборудование, используемые приковке.

12. Описать технологиюштамповки металлов, изобразить схемы горячей объемной штамповки в открытых и закрытых штампах.

13. Описать технологию холодной объемной штамповки, изобразить схемы разновидностей этой технологии.

14. Описать технологию листовой штамповки, перечислить разделительные и формообразующие операции этой технологии.

15. Изобразить схемы и описать технологии специальных способов листовой штамповки.

Уровень III (творческий)

1. Определить показатели, характеризующие степень деформации заготовки при продольной прокатке: обжатие (абсолютное Δh и относительное ε), уширение (абсолютное Δb и относительное θ) и коэффициент вытяжки λ . Геометрические параметры заготовки до и после прокатки представлены на рис. 10.1.

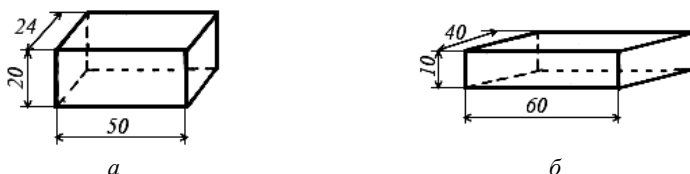


Рис. 10.1. Геометрические параметры заготовки:
a – до прокатки; *б* – после прокатки

2. Определить размеры исходной заготовки до прокатки, если значение абсолютного обжатия $\Delta h = 15$ мм, а коэффициент вытяжки $\lambda = 1,4$. Геометрические параметры заготовки после прокатки представлены на рис. 10.2.

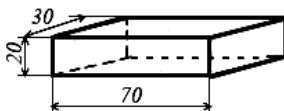


Рис. 10.2. Геометрические параметры заготовки после прокатки

3. Определить степень деформации (степень обжатия) ε заготовки и длину полученного волочением изделия (рис. 10.3), если начальная длина заготовки прямоугольного сечения равна 15 мм, а ширина и высота – 8 и 6 мм соответственно.

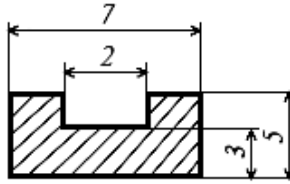


Рис. 10.3. Форма и размеры поперечного сечения изделия, полученного волочением

4. Рассчитать возможность захвата стальной заготовки высотой $h_0 = 150$ мм закаленными чугунными валками диаметром $D = 550$ мм при продольной прокатке. Окружная скорость вращения валков $v = 3,5$ м/с, температура прокатки $t = 1200$ °С, высота заготовки после прокатки $h_1 = 125$ мм.

5. Рассчитать возможность захвата стальной заготовки высотой $h_0 = 200$ мм стальными валками диаметром $D = 530$ мм при продольной прокатке. Окружная скорость вращения валков $v = 4,1$ м/с, температура прокатки $t = 1100$ °С, высота заготовки после прокатки $h_1 = 150$ мм.

6. Определить коэффициент вытяжки λ и степень деформации ε при прямом прессовании трубок наружным диаметром 8 мм и внутренним – 6 мм, если внутренний диаметр контейнера равен 30 мм, а количество отверстий матрицы равно 10.

7. Определить площадь сечения контейнера F_k при прямом прессовании цилиндрических изделий диаметром 4 мм, если количество отверстий в матрице равно 15, а коэффициент вытяжки $\lambda = 30$.

8. Определить скорость истечения металла v_n из отверстия в матрице при прямом прессовании цилиндрических изделий диаметром 10 мм, если внутренний диаметр контейнера равен 400 мм, скорость прессования $v_n = 8 \cdot 10^{-4}$ м/с, а количество отверстий в матрице равно 8.

9. Определить коэффициент вытяжки λ и степень деформации ε заготовки при волочении, если диаметр исходной заготовки $d_0 = 10$ мм, а полученное изделие имеет поперечное сечение в форме полукруга ($d_k = 8$ мм).

10. Определить диаметр исходной заготовки d_0 при волочении, если поперечное сечение полученного изделия имеет форму квадрата со стороной, равной 5 мм, а коэффициент вытяжки $\lambda = 1,3$.

11. Определить массу исходной заготовки для получения стальной поковки (рис. 10.4, а) методомковки, если относительная доля потерь на угар и обсеckу $\beta = 0,07$. Плотность стали $\rho = 7,86 \text{ г/см}^3$.

12. Определить массу исходной заготовки для получения стальной поковки (рис. 10.4, б) методомковки, если относительная доля потерь на угар и обсеckу $\beta = 0,12$. Плотность стали $\rho = 7,86 \text{ г/см}^3$.

13. Определить размеры исходной заготовки (диаметр $d_{\text{исх}}$ и длину $l_{\text{исх}}$ проката круглого поперечного сечения) для получения поковки (рис. 10.4, в), если относительная доля потерь на угар и обсеckу $\beta = 0,02$, а коэффициент уковки $У_{\text{к}} = 1,3$.

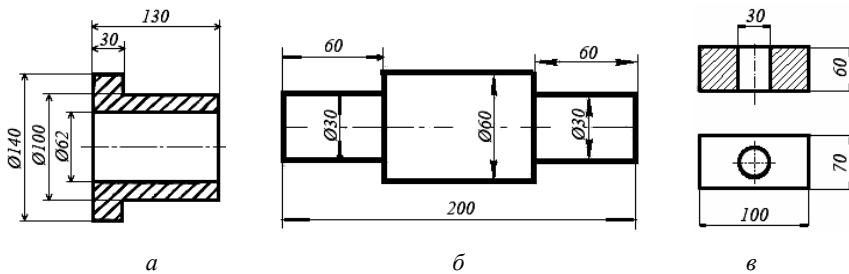


Рис. 10.4. Эскизы поковки

14. Определить температурный интервалковки (см. рис. 9.1) и продолжительность нагрева одной заготовки из стали 35 диаметром $d = 23 \text{ мм}$.

15. Определить температурный интервалковки (см. рис. 9.1) и продолжительность нагрева одной заготовки из стали У7А диаметром $d = 50 \text{ мм}$.

МОДУЛЬ 3. СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО И РОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В результате изучения модуля студент должен:

- **знать** сущность основных видов сварки плавлением и сварки давлением, технологию пайки, напыления и наплавки материалов;
- **уметь** выбирать виды сварки, оборудования и другой технологической оснастки в зависимости от условий реализации процесса сварки.

ЗАНЯТИЕ 11

Лабораторная работа № 7 ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Цель работы: ознакомиться с физическими основами сварки; изучить строение и структуру сварного соединения, формируемого при электродуговой сварке углеродистых сталей.

Теоретическая часть

1. Физические основы сварки.

Сущность способов сварки плавлением

Сварка – процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между соединяемыми частями при их нагревании и (или) пластическом деформировании (ГОСТ 2601–84).

Для создания межатомных связей необходимо сближение атомов контактирующих поверхностей на расстояние, соизмеримое с параметрами кристаллической решетки, т. е. на межатомное расстояние. Если такое сближение происходит, возникшие силы межатомного или межмолекулярного взаимодействия обеспечивают образование устойчивых межатомных связей и, следовательно, прочного неразъемного соединения. Однако в реальных условиях сближению атомов на расстояние межатомных взаимодействий препятствует наличие на соединяемых поверхностях микронеровностей (шероховатости), оксидных, масляных и других загрязнений. Эти нега-

тивные факторы можно устранить нагревом зоны контакта до расплавления или ее пластическим деформированием. В результате плавления этой зоны микронеровности расплавляются, а загрязнения всплывают наверх расплава. При пластическом деформировании зоны контакта микронеровности сглаживаются и исчезают, а присутствующие на ее поверхности загрязнения разрушаются и вытесняются из зоны контакта.

Рассмотренные способы воздействия на зону контакта для установления межатомных связей позволяют разделить существующие виды сварки на две группы: сварку плавлением и сварку давлением. В данной лабораторной работе предусмотрено изучение структуры и строения сварного соединения, полученного при электродуговой сварке, которая является одним из способов сварки плавлением.

Сварка плавлением – это сварка, осуществляемая плавлением кромок свариваемых деталей без приложения давления. В результате оплавления кромок соединяемых деталей между ними образуется общая жидкая ванна из расплавленного металла. При дальнейшем ее охлаждении и кристаллизации создаются прочные атомно-молекулярные связи и происходит соединение деталей в единое целое.

Сварка плавлением позволяет:

- 1) производить сварку в монтажных, цеховых и полевых условиях (ручная дуговая и газовая сварка);
- 2) осуществлять сварку металлических заготовок толщиной от нескольких микрометров (микроплазменная сварка) до 1 м и более (электрошлаковая сварка);
- 3) сваривать конструкции различных габаритных размеров практически неограниченной длины, например магистральные газо- и нефтепроводы (дуговые методы сварки);
- 4) изменять химический состав металла шва, применяя сварочную проволоку и присадочный материал различного химического состава, вводя легирующие элементы в электродное покрытие и флюсы (дуговые методы сварки, газовая сварка);
- 5) осуществлять сварку в любых пространственных положениях, а также в космосе и под водой (дуговые методы сварки).

2. Дуговая сварка

По своей простоте и универсальности ни один вид сварки не может конкурировать с дуговой сваркой (на нее приходится более 60 % всего объема сварочных работ).

Дуговая сварка – сварка плавлением, при которой нагрев осуществляется электрической дугой. *Электрической (сварочной) дугой* называют мощный устойчивый электрический разряд между электродами, находящийся в среде ионизированных газов и паров.

В зависимости от материала электродов и их числа, а также способа включения электродов и заготовки в цепь электрического тока различают следующие виды дуговой сварки:

1) *сварка неплавящимся* (угольным, графитовым или вольфрамовым) *электродом 1* дугой прямого действия *2*, при которой соединение выполняется путем расплавления только основного металла *3* либо с применением присадочного металла *4* (рис. 11.1, *а*);

2) *сварка плавящимся* (металлическим) *электродом 1* дугой прямого действия *2* с одновременным расплавлением основного металла *3* и электрода, который пополняет сварочную ванну жидким металлом (рис. 11.1, *б*);

3) *сварка дугой косвенного действия 5*, горячей между двумя, как правило неплавящимися, электродами *1*; основной металл *3* нагревается и расплавляется теплотой столба дуги (рис. 11.1, *в*);

4) *сварка трехфазной дугой 6*, при которой дуга горит между двумя электродами *1*, а также между каждым электродом и основным металлом *3* (рис. 11.1, *г*).

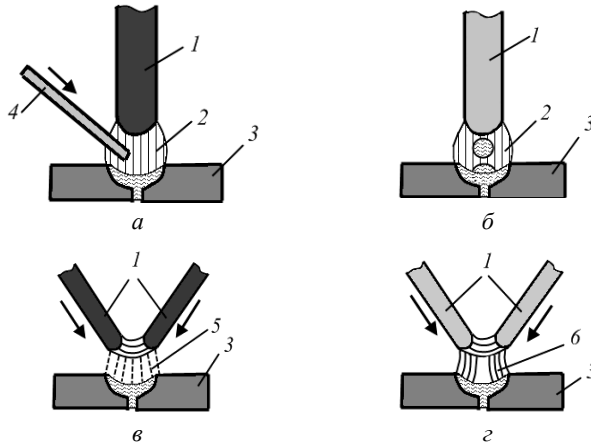


Рис. 11.1. Виды дуговой сварки:

а – сварка неплавящимся электродом; *б* – сварка плавящимся электродом;
в – сварка дугой косвенного действия; *г* – сварка трехфазной дугой

Питание дуги осуществляется постоянным или переменным током. При применении постоянного тока различают сварку *дугой прямой полярности* и *дугой обратной полярности*. При прямой полярности (рис. 11.2, *а*) электрод подключают к отрицательному полюсу (катоде), а свариваемое изделие – к положительному (аноду), при обратной полярности (рис. 11.2, *б*) – наоборот. При питании дуги переменным током ее полярность постоянно меняется.

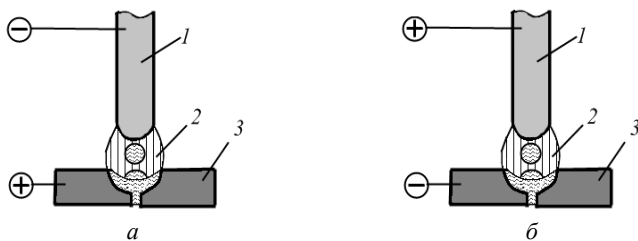


Рис. 11.2. Дуговая сварка:
а – дугой прямой полярности; *б* – дугой обратной полярности

3. Типы сварных соединений и классификация сварных швов

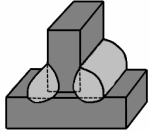
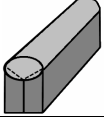
Сварным соединением называют участок конструкции, в котором отдельные ее элементы соединены с помощью сварки.

По форме сопряжения свариваемых элементов различают следующие типы сварных соединений: стыковые, угловые, нахлесточные, тавровые и торцовые (табл. 11.1).

Таблица 11.1

Типы сварных соединений (ГОСТ 2601–84)

Тип	Описание	Схема
Стыковое	Сварное соединение двух элементов, примыкающих друг к другу торцовыми поверхностями	
Угловое	Сварное соединение двух элементов, расположенных под углом и сваренных в месте примыкания их краев	
Нахлесточное	Сварное соединение, в котором сваренные элементы расположены параллельно друг другу и частично перекрывают друг друга	

Тип	Описание	Схема
Тавровое	Сварное соединение, в котором торец одного элемента примыкает под углом к боковой поверхности другого элемента и приварен к ней	
Торцовое	Сварное соединение, в котором боковые поверхности сваренных элементов примыкают друг к другу	

Сварное соединение представляет собой совокупность зон, образующихся в материале в процессе сварки. Зоны могут отличаться между собой и от основных материалов по химическому составу, структуре, а также по физическим, механическим и другим свойствам.

В сварном соединении, выполненном сваркой плавлением, присутствуют следующие зоны: сварной шов, зона термического влияния и зона прилегающего основного металла, сохраняющего присущие ему свойства и структуру (рис. 11.3, а).

Сварное соединение, выполненное сваркой давлением, состоит из зоны сварного шва, зоны механического влияния и зоны основного металла (рис. 11.3, б).



Рис. 11.3. Сварные соединения, выполненные сваркой плавлением (а) и сваркой давлением (б):
 1 – сварной шов; 2 – зона термического влияния;
 3 – зона основного металла; 4 – зона механического влияния

В сварном шве при сварке плавлением материал представляет собой сплав, образованный переплавленными основными и дополнительными (электродным и присадочным) материалами или только основными материалами. В зоне термического влияния основной

материал не расплавляется, но на отдельных участках зоны под действием нагрева и охлаждения изменяются свойства и структура.

Сварной шов – участок сварного соединения, образовавшийся в результате плавления и последующей кристаллизации расплавленного металла (при сварке плавлением) или в результате пластической деформации и последующей диффузии (при сварке давлением). Сварной шов является связующей частью соединяемых элементов, определяет геометрическую форму, сплошность, прочность и другие свойства металла непосредственно в месте сварки.

По форме поперечного сечения сварные швы подразделяют на стыковые, угловые и точечные (рис. 11.4). Стыковой шов – сварной шов стыкового соединения (рис. 11.4, а). Угловой шов – сварной шов углового, нахлесточного или таврового соединений (рис. 11.4, б). Точечный (прорезной) шов – сварной шов нахлесточного соединения, в котором связь между сваренными частями осуществляется сварными точками (рис. 11.4, в).

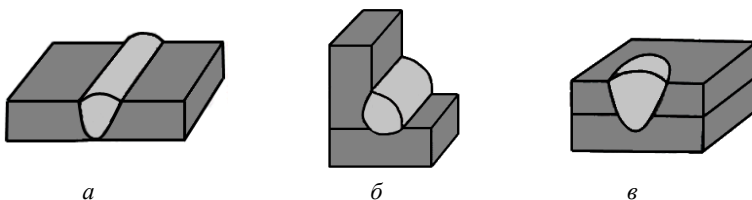


Рис. 11.4. Классификация сварных швов по форме поперечного сечения:
а – стыковой; б – угловой; в – точечный (прорезной)

По протяженности сварные швы подразделяют на непрерывные (без промежутков по длине) и прерывистые (с промежутками по длине). Стыковые сварные швы, как правило, выполняют непрерывными. Угловые и тавровые швы могут быть непрерывными и прерывистыми.

По способу выполнения сварка бывает односторонняя и двусторонняя, а также однослойная и многослойная. Многослойный шов применяют при сварке изделий большой толщины, а также для уменьшения зоны термического влияния.

По пространственному положению (с учетом международных стандартов) различают сварные швы горизонтальные и вертикальные (на вертикальной плоскости), потолочные и нижние (рис. 11.5).

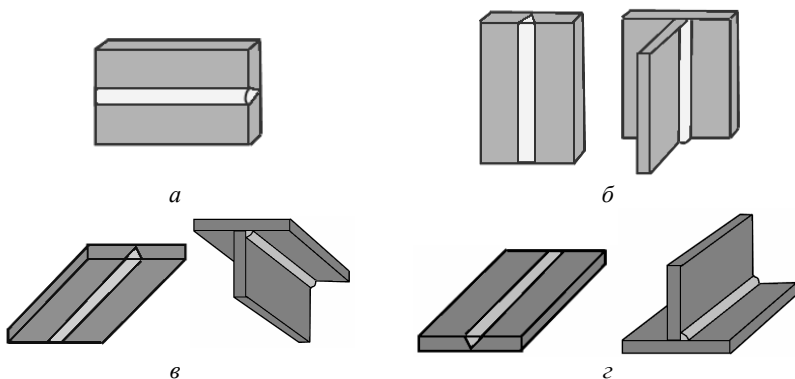


Рис. 11.5. Положение шва при сварке стыковых и тавровых соединений листов: *a* – горизонтальное; *б* – вертикальное; *в* – потолочное; *г* – нижнее

По положению относительно действующего усилия швы могут быть лобовыми, фланговыми, косыми и комбинированными (рис. 11.6). Лобовой шов расположен перпендикулярно усилию (рис. 11.6, *a*), фланговый – параллельно (рис. 11.6, *б*), косой – под углом (рис. 11.6, *в*). Это разновидности угловых швов нахлесточных соединений.

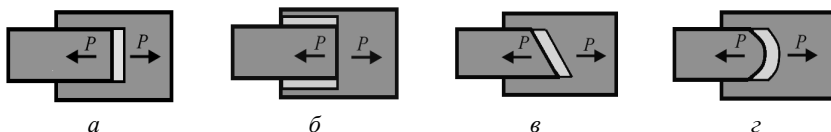


Рис. 11.6. Расположение швов относительно действующего усилия: *a* – лобовое; *б* – фланговое; *в* – косое; *г* – комбинированное

Подготовка кромок изделия регламентируется ГОСТ 5264–80 (для ручной дуговой сварки) и ГОСТ 8713–70 (для автоматической сварки под слоем флюса). Вид подготовки кромок зависит от толщины свариваемых деталей, способа сварки, а также технологических и конструктивных особенностей свариваемого изделия.

4. Строение сварного соединения. Зона термического влияния

Зона термического влияния – это прилегающий к сварному шву участок основного металла, в котором в результате термического воздействия произошли изменения структуры и свойств.

Температура нагрева различных участков зоны термического влияния находится в пределах от начальной температуры основного металла до температуры плавления (вблизи шва). Строение и размеры зоны термического влияния зависят от химического состава и теплофизических характеристик свариваемого металла, а также от температурного режима (термического цикла) сварки.

В соответствии с диаграммой состояния Fe–Fe₃C зона термического влияния малоуглеродистой стали состоит из шести характерных участков (рис. 11.7).

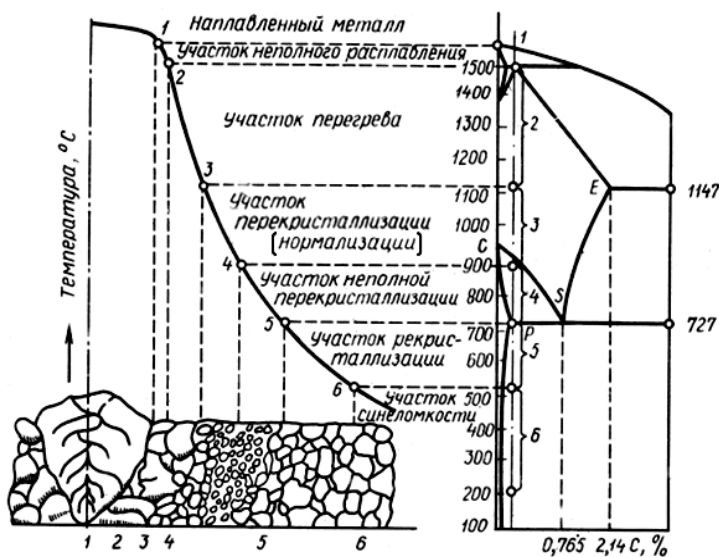


Рис. 11.7. Микроструктура металла в зоне термического влияния при сварке низкоуглеродистой стали

Первый участок (*участок неполного расплавления*) непосредственно примыкает к металлу шва (*наплавленному металлу*), формируется из двухфазного состояния «жидкость–твердое тело» и, подобно наплавленному металлу, имеет дендритное строение. Здесь и происходит сварка. Участок имеет небольшую ширину и по химическому составу и структуре отличается от соседнего участка 2 основного металла.

Совокупность первого участка околошовной зоны и пограничного участка металла шва называют зоной сплавления, или переходной

зоной. Свойства этой зоны в ряде случаев оказывают решающее влияние на работоспособность сварных конструкций, т. к. при динамических нагрузках здесь чаще всего образуются трещины.

Второй участок околошовной зоны, получивший название *участка перегрева 2* (участка крупного зерна), включает металл, нагретый от температуры ~ 1200 °С до температуры плавления. Металл на этом участке претерпевает полиморфное превращение $\alpha\text{-Fe}-\gamma\text{-Fe}$. При значительном перегреве относительно точки A_{c3} (линия CS) происходит рост аустенитного зерна. Обычно металл на втором участке околошовной зоны обладает худшими свойствами, чем основной металл. Задача выбора рациональной технологии сварки сводится в первую очередь к обеспечению наименьшего ухудшения свойств металла на этом участке.

Третий участок околошовной зоны называется *участком перекристаллизации (нормализации)*. Он включает металл, приобретший в процессе нагрева выше точки A_{c3} полностью аустенитную структуру, а при умеренном охлаждении – мелкокристаллическое строение. Этот участок обладает хорошими механическими свойствами.

Четвертый участок околошовной зоны (*участок неполной перекристаллизации*) включает металл, нагретый от температуры, при которой начинается превращение $\alpha\text{-Fe}-\gamma\text{-Fe}$ (727 °С), до температуры ~ 880 °С (между точками A_{c1} и A_{c3}). Металл на этом участке подвергается только частичной перекристаллизации, поэтому здесь наряду с зёрнами основного металла, не изменившимися в процессе сварки (феррит), присутствуют зёрна, образовавшиеся при перекристаллизации (перлит).

На пятом участке основной зоны (*участке рекристаллизации*) металл нагревается до 727 °С. Здесь происходит перекристаллизация раздробленных при пластическом деформировании зёрен основного металла и некоторое разупрочнение его по сравнению с исходным состоянием. Структура этой зоны мало отличается от структуры основного металла.

Кроме того, в зону термического влияния входит *участок синеломкости 6*. При температуре $200\dots 500$ °С происходит процесс старения – закрепление атомами внедрения дислокаций, вызывающих уменьшение их подвижности и повышение хрупкости.

В случае многопроходных швов околошовная зона располагается не только в основном металле, но и в металле шва. Ее строение

в пределах шва значительно отличается от строения в основном металле. Как правило, в пределах первых трех участков наблюдается образование мелкозернистых структур, обладающих повышенной пластичностью. Зона крупного зерна отсутствует.

В зоне термического влияния и на ее границе с участком основного металла с неизменной структурой и свойствами возникают внутренние напряжения, приводящие к возникновению холодных и горячих трещин, пластической деформации сварного соединения, окислению, образованию пор и других дефектов. Эти изменения являются основными общими критериями свариваемости материалов.

Практическая часть

Оборудование и инструменты: металлографический микроскоп МИМ-7 (МИМ-8), микроскоп МПБ-2, твердомер ТК-2.

Материалы: набор шлифов сварных соединений образцов из углеродистых сталей (20, 30, 45) для изучения их макро- и микроструктуры.

1. Макроструктурный анализ сварного соединения

Для проведения макроструктурных исследований использовать набор макрошлифов сварных соединений образцов из углеродистых сталей (шлифованные образцы сварных соединений, протравленные 10%-м водным раствором азотной кислоты). Макроисследование провести визуально или с использованием микроскопа МПБ-2.

В результате макроструктурного исследования определить форму и размеры шва, площадь и форму провара основного металла, направленность, рост и размеры кристаллитов, размеры и форму околшовной зоны, наличие в соединении непроваров, трещин, пор, шлаковых включений, химической неоднородности и т. п.

2. Микроструктурный анализ сварного соединения

Для проведения микроструктурных исследований использовать набор микрошлифов сварных соединений образцов из углеродистых сталей (шлифованные и полированные образцы сварных соединений, протравленные 4%-м раствором азотной кислоты в этиловом спирте). Микроисследование провести с помощью металлографического микроскопа МИМ-7 (МИМ-8).

В результате микроструктурного исследования определить строение и структуру металла шва и зоны термического влияния, размеры и форму зерен, а также наличие дефектов (перегрева и пережога металла, микропор и микротрещин).

3. Определение твердости сварного соединения

С помощью твердомера ТК-2 определить твердость металла шва и различных участков зоны термического влияния. Количество измерений твердости на каждом участке должно быть не менее трех. За конечный результат берется среднее арифметическое значение всех замеров твердости на каждом участке.

4. Содержание отчета

1. Физические основы сварки.
2. Сущность способов сварки плавлением.
3. Дуговая сварка.
4. Типы сварных соединений и классификация сварных швов.
5. Строение сварного соединения. Зона термического влияния.

5. Оформление результатов работы

Зарисовать общее строение сварного соединения (макроструктуру). Схематично отметить на рисунке наличие дефектов: непроваров, трещин, пор, шлаковых включений и т. п.

Зарисовать микроструктуру сварного соединения. Отметить на рисунке сварной шов и участки зоны термического влияния, а также оценить размеры этих участков.

Построить график изменения твердости по длине от центра сварного шва до основного металла.

Сделать вывод о качестве сварного соединения.

Вопросы и задания для текущего контроля

1. Как классифицируются виды и способы сварки?
2. Как происходит процесс ручной дуговой сварки плавящимся электродом?
3. Каковы условия кристаллизации сварочной ванны? Каково кристаллическое строение металла шва?

4. Пользуясь диаграммой состояния Fe–Fe₃C (см. рис. 11.7), объясните строение зоны термического влияния в сварном соединении.

5. Чем можно объяснить изменение значений твердости на различных участках сварного соединения?

ЗАНЯТИЕ 12

Лабораторная работа № 8 РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Цель работы: научиться выбирать режимы точечной сварки; овладеть навыками оценки качества сварного соединения, полученного этим методом.

Теоретическая часть

1. Сущность способов сварки давлением

Сварка давлением – сварка, осуществляемая за счет пластической деформации контактирующих поверхностей соединяемых деталей при температуре, как правило, ниже температуры плавления. При приложении нагрузки происходит пластическое течение металла в зоне контакта, приводящее к смятию микронеровностей и изменению рельефа поверхностей, разрушению и вытеснению загрязнений из зоны контакта. В результате этого соединяемые поверхности сближаются на межатомное расстояние и образуются прочные атомно-молекулярные связи. Пластическое деформирование металла в твердом состоянии требует значительных усилий. Для их уменьшения применяют подогрев зоны контакта, приводящий к повышению пластичности металла в десятки раз.

Сварка давлением позволяет:

– расширить диапазон свариваемых материалов, в т. ч. разнородных металлов (медь–титан, коррозионно-стойкая сталь–углеродистая сталь, твердый сплав–углеродистая сталь и др.), а также неметаллических материалов (керамика–керамика, керамика–металл, полимер–металл) (сварка взрывом, ультразвуковая, диффузионная);

– механизировать и автоматизировать процессы сварки и тем самым повысить производительность получения сварных соединений

(контактные способы сварки, ультразвуковая, холодная, индукционная сварка);

– уменьшить вероятность появления трещин, пористости, хрупких интерметаллических и шлаковых включений и тем самым повысить качество сварных соединений.

2. Классификация способов контактной сварки

Контактная сварка – группа способов сварки давлением, основанных на нагреве свариваемых деталей электрическим током и последующей пластической деформации зоны соединения.

Характерная особенность контактной сварки – кратковременность нагрева зоны соединения без ее оплавления или с оплавлением и быстрая пластическая деформация путем осадки свариваемых участков. При контактной сварке к двум сжатым между собой деталям с помощью специальных электродов подводят электрический ток (рис. 12.1).

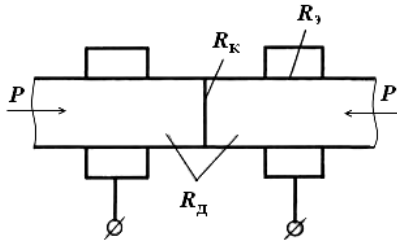


Рис. 12.1. Схема контактной сварки

В соответствии с законом Джоуля–Ленца количество теплоты Q , выделяемое в электрической цепи, определяется по формуле

$$Q = I^2 R \tau,$$

где I – сварочный ток, А;

R – полное сопротивление сварочного контура, Ом;

τ – время протекания тока, с.

Полное электрическое сопротивление зоны сварки R состоит из сопротивления свариваемых деталей $R_д$, сопротивления между электродами и деталями $R_э$ и сопротивления сварочного контакта $R_к$:

$$R = 2R_д + 2R_э + R_к.$$

Величина R_k значительно превосходит электрическое сопротивление любого другого участка зоны сварки. Это вызвано резким уменьшением сечения проводника в зоне соприкасающихся поверхностей (рис. 12.2) и наличием на них пленок оксидов и загрязнений (рис. 12.3), имеющих высокое электросопротивление. Высокое сопротивление в зоне контакта R_k обуславливает максимальное тепловыделение Q_k на этом участке ($Q_k = I^2 R_k \tau$). Поэтому при прохождении тока заданной величины I в течение определенного времени τ можно добиться локального нагрева зоны контакта свариваемых деталей до ее расплавления или термопластического состояния.

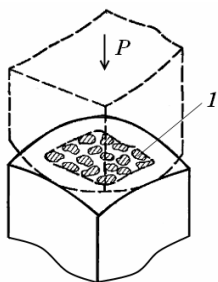


Рис. 12.2. Схематическое изображение контакта свариваемых деталей:
1 – «пятно» единичного контакта

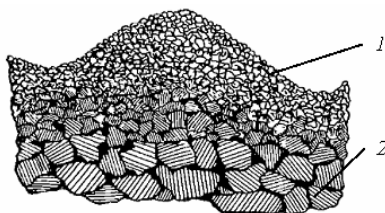


Рис. 12.3. Схема структуры поверхностного слоя:
1 – оксидная пленка; 2 – металл основы

Основные параметры, характеризующие режимы контактной сварки, – величина тока и время его протекания, усилие сжатия и время его действия.

В зависимости от величины тока и времени его протекания различают два режима сварки – жесткий и мягкий. *Жесткий режим* характеризуется большей силой тока и малым временем его протекания. Применяется для сварки деталей из сталей, чувствительных к нагреву и склонных к образованию закалочных структур, а также из легкоплавких цветных металлов и их сплавов. *Мягкий режим* характеризуется большей продолжительностью процесса при более низкой силе тока и постепенным нагревом металла свариваемых изделий. Используется при сварке деталей из углеродистых сталей, обладающих низкой чувствительностью к тепловому воздействию.

Совмещенные графики основных параметров контактной сварки (изменение силы тока I и усилия сжатия P в зависимости от времени τ в процессе сварки) называют *циклограммой* (рис. 12.4).

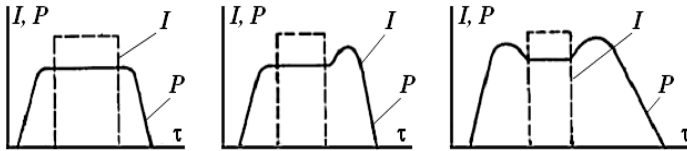


Рис. 12.4. Примеры циклограмм контактной сварки

Особенность контактной сварки – применение кратковременных (доли секунды) импульсов сварочного тока большой мощности (до 100 000 А) при небольшом напряжении (0,3...10 В). Выполнение сварки на таких режимах обуславливает высокую производительность процесса, обеспечивает экономию электроэнергии, снижает вероятность окисления деталей, приводит к уменьшению величины зоны термического влияния, позволяет управлять процессом локального тепловыделения и теплоотвода, т. е. процессом формирования соединения.

Основные способы контактной сварки – точечная, шовная и стыковая. Для подвода электрического тока к свариваемым деталям и для деформации зоны соединения используют различные виды электродов (рис. 12.5): стержневые (для точечной сварки); дисковые (для шовной); зажимные контактные губки (для стыковой).

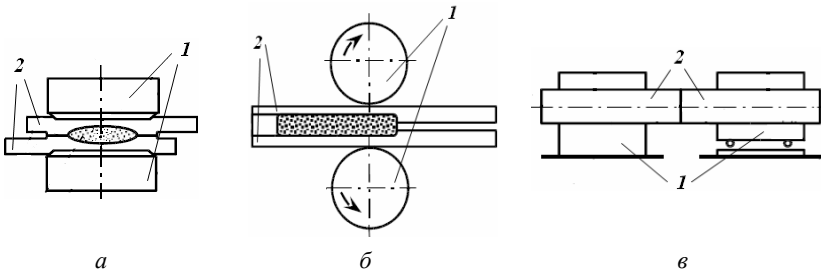


Рис. 12.5. Электроды для контактной сварки:
а – стержневые; *б* – дисковые; *в* – зажимные губки;
1 – электрод; *2* – свариваемые детали

Установки для контактной сварки классифицируются:

- по способу сварки (точечные, шовные и стыковые);
- по роду тока (переменного тока и импульсные);
- по степени механизации (автоматические, механизированные и ручные);
- по виду исполнения (стационарные, передвижные и подвесные).

Установки для контактной сварки включают два основных узла – электрический и механический. Электрический узел состоит из трансформатора, регулятора тока, регулятора времени, прерывателя тока и других устройств, а механический – из станины и механизмов, обеспечивающих фиксацию и необходимое усилие сжатия свариваемых деталей.

3. Сущность контактной точечной сварки

Точечная сварка – контактная сварка, при которой сваривание осуществляется отдельными точками и располагается между торцами электродов, являющихся токоподводами и передающих усилие сжатия.

В зависимости от расположения электродов по отношению к свариваемым заготовкам точечная сварка может быть двусторонней и односторонней (рис. 12.6).

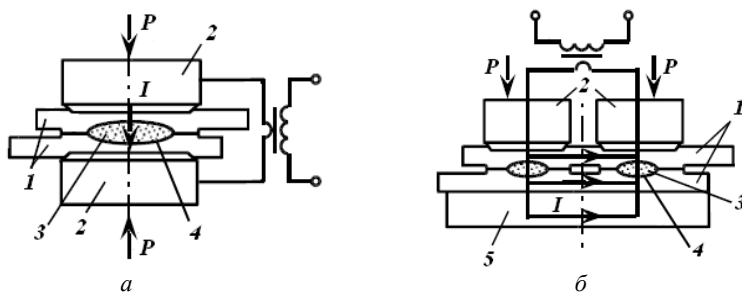


Рис. 12.6. Принципиальная схема точечной сварки:

a – двусторонняя; *б* – односторонняя;

1 – свариваемые заготовки; *2* – стержневые электроды;

3 – линза жидкого металла; *4* – кольцо-поясок; *5* – медная подкладка

При *двухсторонней точечной сварке* заготовки *1* собирают внахлестку ижимают с некоторым усилием *P* между двумя стержневыми электродами *2*, подводящими ток к месту сварки (см. рис. 12.6, *a*). Электроды изготавливаются из меди и медных сплавов, имеющих высокую электро- и теплопроводность (изнутри электроды охлаждаются водой). При прохождении электрического тока на участке контакта двух свариваемых поверхностей металл плавится, образуя жидкое ядро *3* (линза жидкого металла). Благодаря усилиям сжатия, создаваемым электродами, твердый нагретый металл вокруг

расплавленного ядра деформируется, образуя вокруг него кольцо-поясок 4, предотвращающее выплеск (вытекание) расплава в зазор между деталями. Одновременно кольцо-поясок изолирует расплавленный металл от вредного воздействия воздуха (кислорода и азота). После образования ядра расплавленного металла электрический ток выключают, и ядро затвердевает, образуя сварную точку. При пропускании электрического тока и в течение некоторого времени после его отключения электроды сжимают детали, пластически деформируя зону контакта и препятствуя образованию усадочных раковин и трещин. Детали можно сваривать в одной, двух или более точках. Их расположение и количество определяется расположением и количеством электродов в машине для точечной сварки.

При *односторонней точечной сварке* (см. рис. 12.6, б) два или более электрода 2 контактируют только с одной из свариваемых заготовок. При пропускании тока он распределяется между верхним и нижним свариваемыми листами 1 и проходит через свариваемый участок. Для увеличения тока, проходящего через нижний лист, снизу дополнительно устанавливается медная подкладка 5. Односторонней сваркой соединяют заготовки одновременно в двух и более точках.

4. Режимы контактной точечной сварки

Параметром режимов точечной сварки является изменение усилия сжатия P и силы тока I в зависимости от времени протекания процесса τ . На рис. 12.7 показана одна из применяемых циклограмм точечной сварки. Весь цикл сварки состоит из четырех стадий: I – сжатие свариваемых заготовок между электродами; II – включение тока и разогрев места контакта до температуры плавления с образованием жидкого ядра; III – выключение тока и увеличение усилия сжатия для улучшения качества сварного точечного соединения; IV – снятие усилия с электродов.

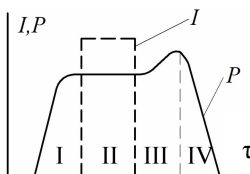


Рис. 12.7. Пример циклограммы точечной сварки:
 I – сварочный ток; P – усилие сжатия; τ – время

Точечную сварку выполняют в мягких и жестких режимах.

Основные параметры мягких режимов: плотность тока – $80...160 \text{ А/мм}^2$, усилие сжатия – $15...40 \text{ МПа}$, время протекания тока – $0,5...3,0 \text{ с}$. На таких режимах сваривают детали из углеродистых, низколегированных сталей и сталей, склонных к закалке.

Параметры жестких режимов: плотность тока – $120...360 \text{ А/мм}^2$, усилие сжатия – $4...150 \text{ МПа}$, время протекания тока – $0,001...0,010 \text{ с}$. Такие режимы применяют при сварке изделий из коррозионно-стойких сталей, алюминиевых и медных сплавов, а также для соединения деталей из тонколистовых материалов. При сварке деталей из коррозионно-стойких сталей и использовании мягких режимов из-за длительности процесса возможно выпадение карбидов хрома в околошовной зоне и, как следствие, потеря коррозионной стойкости. При сварке изделий из алюминиевых, медных сплавов и тонколистового металла (фольги) толщиной до $0,1 \text{ мм}$ мягкие режимы не применяют из-за трудностей, связанных с организацией тепловыделения, необходимого для локального расплавления металла при формировании сварной точки.

Точечная сварка – универсальный способ, применяемый при соединении изделий из низкоуглеродистых, углеродистых, низколегированных, конструкционных и коррозионно-стойких сталей, алюминиевых и медных сплавов. Этот способ широко используется в автомобиле-, вагоне- и авиастроении, строительстве, радиоэлектронике и т. д. Диапазон значений толщины свариваемых изделий составляет от нескольких микрон до трех миллиметров.

Практическая часть

Оборудование и инструменты: машина для контактной точечной сварки МТ-501, разрывная машина УММ-5, штангенциркуль (цена деления – $0,1 \text{ мм}$).

Материалы: образцы из низкоуглеродистой стали.

1. Выбор режимов точечной сварки

Основными параметрами, определяющими режимы точечной сварки, являются диаметр стержневого электрода d , сила тока I , усилие сжатия P и время протекания процесса τ , которые зависят от толщины свариваемых изделий h . Расчетными методами уста-

новлено, что при точечной сварке зависимость основных режимов от толщины свариваемого металла носит линейный характер. Это позволяет при назначении режимов сварки пользоваться таблицами, которые разработаны для основных групп металлов, встречающихся на практике. Основные параметры режимов точечной сварки низкоуглеродистых сталей представлены в табл. 12.1.

Таблица 12.1

Параметры режимов точечной сварки низкоуглеродистых сталей

h , мм	d , мм	I , кА	τ , с	P , кН
0,5	4	6...7	0,08...0,10	1,2...1,8
0,8	5	7...8,5	0,10...0,14	2...2,8
1,0	5	8,5...9,5	0,12...0,16	2,5...3
1,2	6	9,5...10,5	0,12...0,20	3...4
1,5	7	11...12	0,16...6,24	4...5
2,0	8	12...13	0,20...0,32	6...7
3,0	10	14...15	0,30...0,48	9...10
4,0	12	18...19	0,70...0,90	13...15

Согласно выданному индивидуальному заданию (табл. 12.2) выбрать основные параметры режимов точечной сварки (d , I , P и τ) в зависимости от толщины свариваемых изделий h .

Таблица 12.2

Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	Толщина образца h , мм	Марка стали	Номер варианта	Толщина образца h , мм	Марка стали
1	0,5	08	16	4,0	08
2	0,8	10	17	0,5	10
3	1,0	15	18	0,8	15
4	1,2	20	19	1,0	20
5	1,5	25	20	1,2	25
6	2,0	08	21	1,5	10
7	3,0	10	22	2,0	15
8	4,0	15	23	3,0	20
9	0,5	20	24	0,5	25
10	0,8	25	25	0,8	08
11	1,0	08	26	1,0	10

Номер варианта	Толщина образца h , мм	Марка стали	Номер варианта	Толщина образца h , мм	Марка стали
12	1,2	10	27	1,2	15
13	1,5	15	28	1,5	20
14	2,0	20	29	2,0	25
15	3,0	25	30	3,0	08

2. Изготовление экспериментальных образцов

Подготовить образцы к сварке, собрав их внахлестку (величина нахлестки B определяется в соответствии с рис. 12.8) и зажав с усилием P между двумя электродами диаметром d , подводящими ток силой I к месту сварки. Настройку сварочной машины на выбранные по индивидуальному заданию значения параметров режимов точечной сварки (d , P , I и τ) осуществляет мастер производственного обучения. Самостоятельно осуществить процесс точечной сварки.

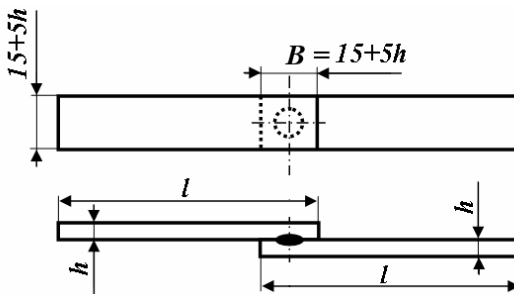


Рис. 12.8. Вид нахлестки сварного соединения, выполненного контактной точечной сваркой

3. Оценка качества сварного соединения

Высокая прочность сварного соединения является его основным показателем качества. Наибольшее влияние на прочность точечных соединений оказывает диаметр сварной точки.

Сварные соединения, выполненные точечной сваркой, необходимо испытать на срез путем растяжения образца. При испытании определить нагрузку F , предшествующую разрушению образца (сварной точки).

На разрывной машине УММ-5, подвергая растяжению полученные экспериментальные образцы, определить разрушающую нагрузку F .

Сварные соединения считают доброкачественными, если выполняется условие

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{F}{S} \geq \bar{\tau}_{\text{ср}},$$

где $\tau_{\text{ср}}$ – действительное напряжение при срезе, возникающее в сварной точке под действием разрушающей нагрузки F ;

S – площадь сварной точки;

$\bar{\tau}_{\text{ср}}$ – допустимое напряжение при срезе:

$$\bar{\tau}_{\text{ср}} = 0,75\sigma_{\text{т}},$$

где $\sigma_{\text{т}}$ – предел текучести материала (табл. 12.3).

Таблица 12.3

Значения предела текучести низкоуглеродистых качественных сталей

Марка стали	08	10	15	20	25
Предел текучести $\sigma_{\text{т}}$, МПа	196	205	225	245	275

Рассчитать действительное $\tau_{\text{ср}}$ и допустимое $\bar{\tau}_{\text{ср}}$ напряжение при срезе, сравнить полученные значения и сделать вывод о качестве полученного сварного соединения.

4. Содержание отчета

1. Сущность способов сварки давлением.
2. Классификация способов контактной сварки.
3. Сущность контактной точечной сварки.
4. Режимы контактной точечной сварки.

5. Оформление результатов работы

Значения выбранных по индивидуальному заданию параметров режимов точечной сварки, а также величину нахлестки экспериментальных образцов занести в табл. 12.4. Результаты расчетов, полученные при проведении оценки качества сварного соединения, занести в табл. 12.5.

Таблица 12.4

Значения параметров режимов точечной сварки

Толщина образцов h , мм	Параметры режимов сварки				B , мм
	d , мм	I , кА	P , Н	τ , с	

Таблица 12.5

Оценка качества сварного соединения

Марка стали	Предел текучести σ_s , МПа	Площадь сварной точки S , мм ²	Разрушающая нагрузка F , кгс (Н)	Действительное напряжение при срезе $\tau_{ср}$, МПа	Допустимое напряжение при срезе $\bar{\tau}_{ср}$, МПа

Сделать вывод о качестве сварного соединения, полученного точечной сваркой.

Вопросы и задания для текущего контроля

1. Дайте определение контактной сварки.
2. Какие существуют виды контактной сварки?
3. Дайте определение точечной сварки.
4. Какова общая характеристика процесса точечной сварки?
5. Опишите параметры жесткого и мягкого режимов точечной сварки.
6. Что представляют собой циклограммы процесса контактной сварки?
7. Как проводится оценка качества сварного соединения, полученного точечной сваркой?

ЗАНЯТИЕ 13

Лабораторная работа № 9

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПАЯНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Цель работы: проанализировать структуру и механические свойства паяного соединения, сравнить с соединением, полученным точечной сваркой.

Теоретическая часть

1. Сущность процесса пайки

Пайка – процесс получения неразъемного соединения металлов, находящихся в твердом состоянии, с помощью расплавленного припоя. Припоем является материал с температурой плавления ниже температуры плавления паяемых материалов. В отличие от сварки, при пайке плавится только присадочный сплав – припой, а между паяемым материалом и припоем протекает процесс взаимного растворения компонентов.

Предъявляемые к паяному соединению требования, характеризующие условия его эксплуатации, определяются служебными свойствами изделия в целом: механическими свойствами, герметичностью, вакуум-плотностью, электросопротивлением, коррозионной стойкостью, стойкостью против термоударов, перегрузок и др.

В процессе пайки расплавленный припой вводится в зазор между нагретыми соединяемыми деталями. Припой смачивает поверхности деталей, растекается и заполняет зазор между ними. Взаимодействие припоя с материалом сопровождается растворением основного металла в жидком припое с образованием эвтектик и твердых растворов, взаимной диффузией компонентов припоя в сторону основного металла и компонентов основного металла – в сторону припоя с последующей кристаллизацией жидкой прослойки.

Формирование прочного и надежного соединения зависит от химического состава взаимодействующих металлов, температуры и продолжительности пайки, определяющих физико-химические и диффузионные процессы, протекающие между припоем и основным металлом. Чем выше температура процесса и его длительность, тем больше степень взаимной диффузии между расплавленным припоем и основным металлом и тем выше механическая прочность соединяемых деталей. Кроме того, прочность пайки зависит от величины зазора между паяемыми деталями. Так, при малых зазорах улучшается затекание припоя под действием капиллярных сил, вследствие чего значение временного сопротивления паяного соединения больше значения временного сопротивления самого припоя.

Припой прочно соединяется с поверхностью изделия только тогда, когда хорошо смачивает ее, поэтому поверхность должна быть тщательно очищена от загрязнений. Для удаления пленок оксидов

с поверхностей паяемого материала и припоя и для предотвращения образования этих пленок при пайке используют паяльные флюсы. Флюсы, кроме того, способствуют лучшему затеканию припоя в зазор между соединяемыми деталями и растеканию по их поверхности. Некоторые припои, содержащие эффективные раскислители (бор, кремний, барий, щелочные металлы и др.) могут сами выполнять роль флюсов, переводя в шлак оксидные пленки.

Качество паяных соединений зависит от правильного выбора способа пайки, используемых основных и вспомогательных материалов, технологического процесса пайки.

2. Основные способы пайки

Современные способы пайки принято классифицировать по следующим признакам.

По механизм удаления оксидной пленки с поверхности паяемого материала способы пайки делятся на флюсовые и бесфлюсовые.

Флюсовая пайка – пайка с применением флюса. Флюс может также участвовать в образовании самого припоя путем выделения компонентов, плавящихся при пайке.

Бесфлюсовая пайка – пайка без применения флюса, когда удаление оксидных пленок осуществляется в восстановительной или инертной газовой среде, в вакууме, а также за счет применения ультразвука.

В первом случае удаление оксидов происходит при высоких температурах за счет их восстановления или самопроизвольного распада (диссоциации), а при ультразвуковой пайке они разрушаются за счет ультразвуковых колебаний, создаваемых в расплавленном припое, наносимом на соединяемый металл специальным паяльником.

По видам процессов образования припоя в зазоре способы пайки подразделяются на пайку готовым припоем, контактно-реактивную и реактивно-флюсовую пайку.

Пайка готовым припоем – способ пайки, при котором используется заранее приготовленный припой. В качестве припоя может использоваться металлический (полностью расплавляемый) или композиционный припой. В композиционном припое помимо металлической основы содержится тугоплавкий наполнитель (порошки, волокна, сетки), который сам не плавится, а при плавлении

металла припой образует разветвленную сеть капилляров, удерживающих под действием капиллярных сил его жидкую часть в зазоре между соединяемыми деталями.

Контактно-реактивная пайка – способ пайки, при котором жидкий припой образуется в результате межфазного взаимодействия и последующего контактного плавления соединяемых материалов или соединяемых материалов и прослойки промежуточного металла. К этому способу пайки относится сваркопайка. Сваркопайка – пайка разнородных материалов, при которой более легкоплавкий материал локально нагревается до температуры, превышающей температуру его плавления, и выполняет роль припоя.

Реактивно-флюсовая пайка – способ пайки, при котором припой образуется в результате химических реакций между основным металлом и флюсом. Например, при пайке алюминия с использованием флюса $ZnCl_3$ в результате химической реакции восстановления



образуется цинк, который служит припоем.

По условиям заполнения зазора припоем пайку можно подразделить на капиллярную (ширина зазора меньше 0,5 мм) и некапиллярную (ширина зазора больше либо равна 0,5 мм).

При *капиллярной пайке* припой заполняет зазор между соединяемыми поверхностями и удерживается в нем за счет капиллярных сил. Соединение образуется в результате растворения металла основы в жидком припое и последующей кристаллизации раствора.

Некапиллярная пайка – способ пайки, при котором припой заполняет зазор под действием силы тяжести или прилагаемых извне сил (магнитных, электромагнитных и др.). К этому способу пайки относится пайкосварка. При пайкосварке форма кромок соединяемых заготовок подобна форме кромок при сварке плавлением. Соединение деталей осуществляется приемами, характерными для сварки, а в качестве присадочного металла используется припой, который под действием силы тяжести заполняет зазор.

Способы пайки *по температурным и временным режимам кристаллизации паяного шва* подразделяются на пайку с кристаллизацией при охлаждении и кристаллизацией при выдержке (диффузионную).

Температурный режим *пайки с кристаллизацией при охлаждении* состоит из нагрева припоя до температуры на 50...100 °С выше температуры его плавления и последующего охлаждения соединения. Из-за относительно быстрого охлаждения этот способ характеризуется отсутствием диффузии в объеме взаимодействующих металлов.

Пайка с кристаллизацией при выдержке (диффузионная пайка) – способ пайки с изотермической выдержкой, при которой образование соединения сопровождается взаимной диффузией припоя и паяемого материала. Для диффузионной пайки характерна продолжительная выдержка при температуре образования паяного шва, а после завершения процесса – при температуре ниже линии солидус припоя. В результате диффузии в шве образуются твердые растворы, что обеспечивает более однородный состав паяного шва и позволяет повысить его прочность и пластичность.

В зависимости от **температуры пайки** различают низко- и высокотемпературную пайку. При *низкотемпературной пайке* температура плавления припоя $t_{\text{пл}} < 450$ °С, а при *высокотемпературной* – $t_{\text{пл}} \geq 450$ °С. Целесообразность такого деления обусловлена тем, что используемые основные и вспомогательные материалы существенно отличаются по своим свойствам в зависимости от температуры процесса.

В зависимости от используемых **источников нагрева** различают пайку в печах, индукционную, погружением, газопламенную, плазменную и паяльниками.

При *пайке в печах* соединяемые заготовки нагревают в специальных печах – электросопротивления, с индукционным нагревом, газопламенных и газовых. Припой заранее закладывают в шов собранного узла, наносят на место пайки флюс и помещают изделие в печь, где нагревают его до температуры пайки. Этот способ обеспечивает равномерный нагрев соединяемых деталей без заметной их деформации.

При *индукционной пайке* паяемый участок нагревают в индукторе токами высокой частоты. Для предохранения от окисления изделие нагревают в вакууме или в защитной среде с применением флюсов.

Пайку погружением выполняют в ваннах с расплавленными солями или припоями. Соляная смесь обычно состоит на 55 % из KCl и на 45 % – из NaCl. Температура ванны – 700...800 °С. При пайке погружением в ванну с расплавленным припоем покрытые флюсом детали предварительно нагревают до температуры 550 °С. Пайку

погружением в расплавленный припой используют для соединения деталей из стальных, медных и алюминиевых сплавов.

При *газопламенной пайке* заготовки нагревают и горелками для газовой сварки расплавляют припой. В качестве горючих газов используют ацетилен, природные газы, водород, пары керосина и т. п.

При *плазменной пайке* плазмотроном, обеспечивающим более высокую температуру нагрева, паяют тугоплавкие металлы – вольфрам, тантал, молибден, ниобий и т. п.

При *пайке паяльниками* основной металл нагревают, а припой расплавляют за счет теплоты, аккумулированной в массе металла паяльника. Для низкотемпературной пайки применяют паяльники с периодическим и непрерывным нагревом и ультразвуковые. Паяльник с периодическим нагревом в процессе работы время от времени подогревают посторонним источником теплоты. Для непрерывного нагрева используют электропаяльники. Паяльники с периодическим и непрерывным нагревом чаще используют для флюсовой пайки черных и цветных металлов легкоплавкими припоями с температурой плавления ниже 300...350 °С. Ультразвуковые паяльники применяют для бесфлюсовой пайки на воздухе и пайки алюминия. В этом случае оксидные пленки разрушаются за счет колебаний ультразвуковой частоты.

По наличию или отсутствию давления на паяемые детали способы пайки подразделяются на *пайку без давления* и *пайку под давлением (прессовая пайка)*. Прессовая пайка используется в тех случаях, когда необходимо обеспечить четкую фиксацию взаимного положения деталей и требуемую величину зазора. Для сжатия деталей с требуемым усилием применяют специальные приспособления – механические зажимы. При высоких температурах этот способ нередко является единственно возможным.

По одновременности выполнения паяных соединений способы пайки делятся на одновременную пайку и ступенчатую. При одновременной пайке за один цикл нагрева в одном изделии (узле) выполняют несколько паяных соединений, а при ступенчатой каждое последующее соединение выполняют после предыдущего.

3. Материалы, применяемые для пайки

Материалы, применяемые при пайке, делятся на основные и вспомогательные. К основным материалам относятся припой,

а к вспомогательным – паяльные флюсы, восстановительные и инертные газовые среды и вакуум.

Припой классифицируют по многим признакам, основные из которых – химический состав и температура плавления. Классификация по химическому составу осуществляется по основным химическим элементам, входящим в состав припоев (оловянно-свинцовые, оловянные, свинцовые, медно-цинковые, серебряные, медные, палладиевые и др.).

Припой для низкотемпературной пайки ($t_{\text{пл}} < 450 \text{ }^\circ\text{C}$) подразделяют на особо легкоплавкие ($45 \leq t_{\text{пл}} \leq 145 \text{ }^\circ\text{C}$) и легкоплавкие ($145 \text{ }^\circ\text{C} < t_{\text{пл}} < 450 \text{ }^\circ\text{C}$), а для высокотемпературной пайки ($t_{\text{пл}} \geq 450 \text{ }^\circ\text{C}$) – на среднеплавкие ($450 \text{ }^\circ\text{C} \leq t_{\text{пл}} \leq 1100 \text{ }^\circ\text{C}$), высокоплавкие ($1100 \text{ }^\circ\text{C} < t_{\text{пл}} \leq 1850 \text{ }^\circ\text{C}$) и тугоплавкие ($t_{\text{пл}} \geq 1850 \text{ }^\circ\text{C}$). Припой для низкотемпературной пайки используют в промышленности и в быту для пайки изделий, которые не подвергаются воздействию высоких температур и значительных механических нагрузок. Припой для высокотемпературной пайки применяют тогда, когда требуется высокая прочность и (или) работоспособность при больших температурах.

Припой для низкотемпературной пайки

К *особо легкоплавким припоям* с температурой плавления 45...145 °С относятся сплавы эвтектического состава, содержащие висмут, свинец, олово, кадмий. К таким сплавам относятся сплавы Гутри ($t_{\text{пл}} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$), Вуда ($t_{\text{пл}} = 60,5 \text{ }^\circ\text{C}$), Липовица ($t_{\text{пл}} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$), Д'Арсенваля ($t_{\text{пл}} = 79 \text{ }^\circ\text{C}$), Розе ($t_{\text{пл}} = 93,7 \text{ }^\circ\text{C}$), Ньютона ($t_{\text{пл}} = 96 \text{ }^\circ\text{C}$), ПОСВ 33 ($t_{\text{пл}} = 130 \text{ }^\circ\text{C}$), ПОСК 50-18 ($t_{\text{пл}} = 145 \text{ }^\circ\text{C}$).

Особо легкоплавкие припои применяются, когда опасен перегрев не только паяемого материала, но и материала деталей изделия, не подвергаемых пайке. Такие припои широко применяются в электронике и электротехнике, в частности при изготовлении приборов противопожарного назначения. Припой ПОСВ 33 применяется для пайки плавких сигнальных предохранителей, а ПОСК 50-18 – для деталей из меди и ее сплавов, не допускающих местного перегрева, в частности полупроводниковых приборов.

Наиболее распространенные *легкоплавкие припои* – оловянно-свинцовые.

Маркировка оловянно-свинцовых припоев состоит из букв (П – припой, ОС – оловянно-свинцовый, Су – легированный сурьмой)

и разделенных дефисом цифр, обозначающих соответственно содержание олова и сурьмы. Буква М в марке припоя ПОС 61М обозначает легирующий элемент Cu (1,2...2 %). Содержание свинца в марке не указывается и определяется путем вычитания. Например, маркировка сплава ПОССу 10-2 расшифровывается следующим образом: П – припой, ОС – оловянно-свинцовый, 10 % – Sn, 2 % – Sb, остальное – Pb.

Оловянно-свинцовые припои (ПОС 90, ПОС 61, ПОС 40, ПОС 18, ПОС 10 и др.) обладают высокими технологическими свойствами и весьма пластичны. Пайку этими припоями проводят обычно при нагреве паяльником. Минимальную температуру плавления ($t_{пл} = 190$ °С) и лучшие технологические свойства имеет припой ПОС 61. Его состав близок к эвтектическому в системе «олово–свинец». Наиболее тугоплавким является припой ПОС 10 ($t_{пл} = 299$ °С). Такие оловянно-свинцовые припои применяются для пайки электро- и радиоаппаратуры (контактные поверхности электрических аппаратов, приборов, реле), точных приборов с высокогерметичными швами, где недопустим перегрев.

Для повышения прочности в оловянно-свинцовые припои вводят сурьму (ПОССу 61-0,5, ПОССу 25-0,5, ПОССу 9-2, ПОССу 10-2, ПОССу 4-4, ПОССу 4-6 и др.). Малосурьмянистые припои, содержащие 0,2...0,5 % Sb и обладающие повышенной пластичностью, обеспечивают получение герметичных швов и применяются для пайки оцинкованных и цинковых деталей. Такие припои применяются для пайки электроаппаратуры, обмоток электрических машин, оцинкованных радиодеталей при жестких требованиях к температуре, свинцовых кабельных оболочек электротехнических изделий неответственного назначения, радиаторов, теплообменников и др. Сурьмянистые припои, содержащие 2...6 % Sb, широко используются в различных отраслях техники, требующих повышенной прочности паяных соединений. Такие припои применяются для пайки холодильных устройств, деталей автомобилестроения, деталей с клепаными швами из латуни и меди и др.

Для уменьшения склонности меди к химической эрозии при пайке используют оловянно-свинцовый припой ПОС 61М, легированный медью в количестве 1,2...2 %, близком к его предельной растворимости при температуре пайки, но не ухудшающем технологических и специальных свойств припоя и паяных соединений. Припой ПОС 61М применяется для пайки тонких (толщиной менее 0,2 мм) медных проволок, фольги, проводников в кабельной, электро- и радиоэлектронной промышленности.

К легкоплавким припоям также относятся серебряные припой (ПСрО 10-90, ПСрОСу 8, ПСрМО 5, ПСрОС 3,5-95, ПСр 3, ПСр ЗКд, ПСр 2 и др.), содержащие серебро в незначительных количествах (1...10 %), а также олово, свинец или кадмий. В качестве легирующих элементов легкоплавких серебряных припоев выступают сурьма, медь или цинк. Максимальная температура плавления этих припоев – от 183 до 342 °С.

Легкоплавкие серебряные припой применяются для пайки меди, никеля и медных и медно-никелевых сплавов с посеребренной керамикой, проводов, работающих во всех климатических условиях без защиты соединений лакокрасочными покрытиями, стальных и серебряных изделий.

Припой для высокотемпературной пайки

Припой для высокотемпературной пайки обеспечивают более прочное соединение, чем припой для низкотемпературной, т. к. вследствие высокой температуры нагрева более интенсивно происходит взаимная диффузия элементов основного металла и припоя. Однако переходное электросопротивление таких припоев ниже, чем низкотемпературных.

К *среднеплавким припоям* с температурой до 1100 °С относятся серебряные и медно-цинковые.

В состав среднеплавких серебряных припоев помимо серебра (10...70 %) в значительных количествах входят медь (ПСр 72, ПСр 50 и др.) или медь и цинк (ПСр 70, ПСр 45 и др.). Широкое применение находит припой ПСр 72, имеющий эвтектический состав с хорошими технологическими свойствами. Припой ПСр 45, ПСр 50, ПСр 70, ПСр 72 технологичны, отличаются высокой пластичностью. Такие припой применяются для пайки меди, медных и медно-никелевых сплавов, никеля, кобальта, нейзильбера, латуни и бронзы, а также железо-никелевых сплавов с посеребренными деталями из стали, титана и титановых сплавов с нержавеющей сталью и т. п.

Некоторые припой, помимо этих элементов, содержат кадмий (ПСрКдМ 50-34-16 и др.), олово (ПСр 62 и др.), марганец (ПСр 37,5), фосфор (ПСр 25Ф) и др. Припой с кадмием применяются для пайки цветных металлов и стали, с марганцем – для пайки меди и медных сплавов с жаропрочными сплавами и нержавеющей стали, с фосфором (самофлюсующиеся припой) – для пайки меди с бронзой, меди с медью, бронзы с бронзой и т. п.

Медно-цинковые припои (ПМЦ 36, ПМЦ 48, ПМЦ 54) используются для пайки меди, медных сплавов и сталей. Маркировка медно-цинковых припоев состоит из букв (П – припой, МЦ – медно-цинковый) и цифр, показывающих процентное содержание меди (остальное – цинк).

К *высокоплавким припоям* с температурой плавления более 1100 °С относятся припои на основе меди и палладия.

Флюсы

В зависимости от температурного интервала активности паяльные флюсы подразделяются на флюсы для низкотемпературной ($t_{\text{пл}} < 450$ °С) и высокотемпературной ($t_{\text{пл}} \geq 450$ °С) пайки.

Флюсы для низкотемпературной пайки по природе активатора подразделяются на канифольные, галогенидные, гидразиновые, анилиновые и др.

В качестве флюса применяют чистую канифоль. В ее составе преобладают смоляные кислоты (80...95 %), имеющие общую формулу $C_{19}H_{29}COOH$. Канифоль удаляет оксиды таких металлов, как медь, серебро, олово, и широко используется для пайки соединений, когда промыть изделие после пайки нельзя (остатки канифоли не вызывают коррозии). Кроме того, в качестве флюса используют раствор канифоли в спирте, а также с добавками хлоридов ($ZnCl_2$ и др.), анилина $C_6H_5NH_2$ и органических веществ, например гидразина N_2H_4 , глицерина $HOCH_2-CH(OH)-CH_2OH$ и др. С их помощью можно паять не только медные сплавы, но и стали, оцинкованное железо, никелированное железо, конструкционные и коррозионно-стойкие сплавы.

Галогенидные флюсы используют для низкотемпературной пайки почти всех черных и цветных металлов. Чаще всего применяют хлористый аммоний NH_4Cl и хлористый цинк $ZnCl_2$, а также смеси, содержащие эти и другие хлориды.

Широкое применение находят флюсы на основе солянокислого гидразина $N_2H_4 \cdot 2HCl$ и анилина $C_6H_5NH_2$, а также других органических веществ. Соли гидразина при нагреве разлагаются с выделением водорода и хлористого водорода HCl , создающих защитную и восстановительную атмосферы. Анилин обладает высокой флюсующей активностью, причем образующийся после пайки остаток защищает шов от коррозии.

Флюсы для высокотемпературной пайки по природе активатора определяющего действия подразделяются на боридно-углекислые, галогенидные, фторборатные и др.

При пайке углеродистых сталей, чугуна и медных сплавов медно-цинковыми и серебряными припоями в качестве флюса используют борную кислоту H_3BO_3 и буру $Na_2B_4O_7$ в различных сочетаниях. При пайке легированных сталей и жаропрочных сплавов флюсующего действия буры и борной кислоты недостаточно, поэтому в состав флюса вводят галогениды – чаще всего фториды натрия NaF , калия KF , лития LiF и кальция CaF_2 , а также фторбораты натрия $NaBF_4$ и калия KBF_4 .

Флюсы для высокотемпературной пайки алюминиевых, магниевых и титановых сплавов состоят из различных хлоридов ($ZnCl_2$, NH_4Cl и др.) и фторидов (NaF , KF и др.).

К вспомогательным материалам для пайки также относятся стоп-материалы, используемые при подготовке паяемой поверхности и наносимые на места, где смачивание паяемого металла жидким припоем нежелательно. Такие вещества подразделяют на стоп-пасты и покрытия, наносимые, например, гальваническим методом или распылением.

4. Структура паяного соединения

Паяное соединение – элемент паяной конструкции, полученной пайкой. Паяное соединение состоит из паяного шва и диффузионных зон (рис. 13.1). *Паяный шов 1* – часть паяного соединения, закристаллизовавшаяся при пайке. *Диффузионная зона 2* – часть паяного соединения с измененным химическим составом паяемого материала в результате взаимной диффузии компонентов припоя и паяемого материала.

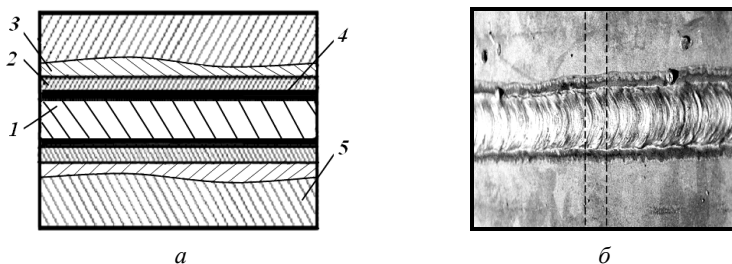


Рис. 13.1. Паяное соединение:

a – схема; *б* – внешний вид;

1 – паяный шов; *2* – диффузионная зона;

3 – зона термического влияния; *4* – спай; *5* – паяемый материал

К паяному соединению примыкает зона *термического влияния* 3 – часть паяемого материала 5 с измененными под влиянием нагрева при пайке структурой и свойствами. Пограничный слой между паяным материалом и швом в сечении паяного соединения называется *зоной сплавления (спаем)* 4.

Тип паяного соединения определяется взаимным расположением и формой паяемых элементов. Основные типы паяных соединений – нахлесточное, телескопическое, стыковое, косостыковое, угловое, тавровое, соприкасающееся и комбинированное (рис. 13.2).

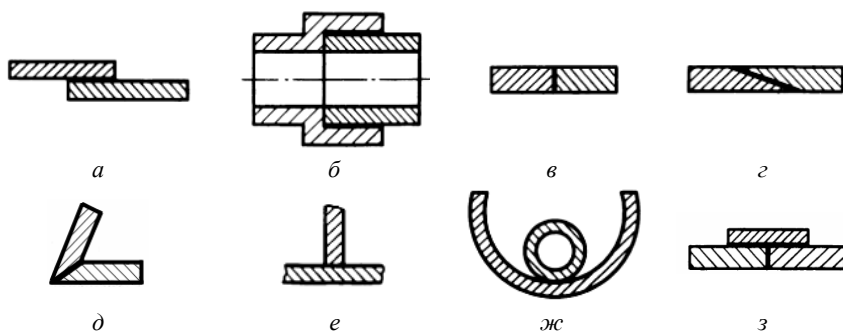


Рис. 13.2. Типы паяных соединений:

а – нахлесточное; *б* – телескопическое; *в* – стыковое; *г* – косостыковое; *д* – угловое; *е* – тавровое; *ж* – соприкасающееся; *з* – комбинированное

Нахлесточное паяное соединение (см. рис. 13.2, *а*) является наиболее удобным для выполнения и обеспечивает наибольшую прочность. Увеличение длины нахлестки в сочетании с пластичными высокотемпературными припоями почти всегда позволяет достичь равнопрочности соединения с основным металлом. Разновидностью нахлесточного паяного соединения является телескопическое – соединение труб или трубы с прутком (см. рис. 13.2, *б*). В практике телескопические паяные соединения получили наиболее широкое применение для соединения фланцев или втулок с трубами, втулок со стержнем, труб с заглушками, компенсаторов и т. д.

Стыковые соединения (см. рис. 13.2, *в*) при пайке используют реже, т. к. они не обеспечивают равнопрочность всего соединения. Для повышения прочности стыкового соединения его выполняют косостыковым (см. рис. 13.2, *г*). При таком соединении повышается

прочность стыка и нередко достигается равнопрочность с основным металлом.

Угловое и тавровое паяные соединения (см. рис. 13.2, *д, е*) применяют сравнительно редко, т. к. их прочность в значительной степени зависит от пластичности паяного шва, модуля упругости паяемого металла и формы поверхности шва.

Соприкасающееся паяное соединение – это соединение, в котором паяемые элементы различной геометрической формы соединены по линии или в точках (см. рис. 13.2, *ж*). Такие соединения допустимы при конструировании изделий, швы которых работают на сжатие или при небольших нагрузках.

Комбинированное паяное соединение представляет собой различные комбинации паяных соединений: нахлесточного, стыкового, косостыкового, таврового, телескопического, соприкасающегося (см. рис. 13.2, *з*).

Пайка по сравнению со сваркой имеет следующие *преимущества*:

1) она позволяет соединять всевозможные сплавы, в т. ч. плохо сваривающиеся, однородные и разнородные, а также соединять металл со стеклом, керамикой, графитом, полупроводниками;

2) за один прием можно получить протяженное соединение или сварить узел из множества заготовок. Последнее является важным при массовом производстве и, кроме того, позволяет изготавливать сложные по конструкции узлы, которые невозможно сделать другими способами;

3) кромки деталей не оплавляются, поэтому при пайке можно сохранить размеры и форму деталей и паяного узла в целом;

4) многие паяные соединения можно распаивать, что важно при монтаже и ремонте в приборостроении.

Процесс пайки дешев, легко поддается механизации и автоматизации, особенно при массовом производстве.

Все это обеспечило широкое применение пайки для изготовления сложных, тяжело нагруженных деталей в разных областях машиностроения (при производстве радиаторов автомобилей и тракторов, камер сгорания жидкостных реактивных двигателей, лопаток турбин, топливных и масляных трубопроводов и др.). В ремонтном производстве пайку используют для соединения или закрепления тонкостенных деталей и деталей из разнородных металлов, уплотнения резьбовых соединений, устранения пористости сварных швов чугуновых и бронзовых отливок, заделки свищей, трещин и т. д.

Практическая часть

Оборудование и инструменты: паяльник, разрывная машина УММ-5, микроскоп МИМ-7 (МИМ-8), штангенциркуль.

Материалы: припой ПОС 40, флюс (хлористый цинк), образцы из низкоуглеродистой стали, микрошлифы паяного соединения и соединения, полученного точечной сваркой.

1. Изготовление экспериментальных образцов

Изготовить экспериментальные образцы соединения, полученного точечной сваркой (см. лабораторную работу № 8).

Для изготовления экспериментальных образцов паяных соединений использовать легкоплавкий припой ПОС 40 и хлористый цинк в качестве флюса. Нагрев произвести паяльником.

Величину нахлестки паяного соединения выбрать равной величине нахлестки соединения, полученного точечной сваркой.

2. Изучение микроструктуры паяного и сварного соединений

Для проведения микроструктурных исследований использовать набор микрошлифов сварного и паяных соединений образцов из низкоуглеродистых сталей. Микроисследования провести с помощью металлографического микроскопа МИМ-7 (МИМ-8).

3. Определение прочности паяного и сварного соединений

Паяные соединения и соединения, выполненные точечной сваркой, испытать на срез путем растяжения образца. На разрывной машине УММ-5, подвергая растяжению полученные экспериментальные образцы, определить нагрузку F , предшествующую их разрушению, и рассчитать предел прочности при срезе $\tau_{\text{ср}}$ по формуле

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{F}{S},$$

где S – площадь сварной точки (при точечной сварке) или площадь контактной поверхности (при пайке).

4. Содержание отчета

1. Сущность процесса пайки. Основные способы пайки.
2. Материалы, применяемые для пайки.
3. Структура паяного соединения.

5. Оформление результатов работы

Зарисовать общее строение сварного и паяного соединений. Схематично отметить на рисунке паяного соединения основные зоны (паяный шов, диффузионная зона, зона термического влияния, спай, паяемый материал).

Данные испытаний на прочность паяного и сварного соединений занести в табл. 13.1, 13.2.

Таблица 13.1

Результаты определения прочности паяного соединения

Марка стали	Тип припоя, марка	Площадь контактной поверхности S , мм ²	Разрушающая нагрузка F , Н	Предел прочности при срезе $\tau_{ср}$, МПа
	ПОС 40			

Таблица 13.2

Результаты определения прочности сварного соединения

Марка стали	Диаметр электродов d , мм	Площадь сварной точки S , мм ²	Разрушающая нагрузка F , кгс (Н)	Предел прочности при срезе $\tau_{ср}$, МПа

Сравнив значения предела прочности полученных соединений, сделать вывод о качестве паяного соединения.

Вопросы и задания для текущего контроля

1. Назовите основные способы пайки.
2. Какие виды припоев и флюсов используются при пайке?
3. Какие существуют типы паяных соединений?
4. Каково строение паяного соединения?

ЗАНЯТИЕ 14

УСРС № 3

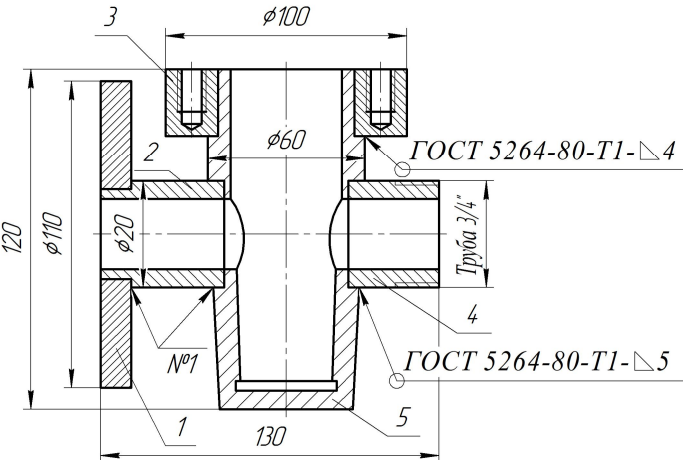
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ СВАРНОГО УЗЛА

В соответствии с индивидуальным заданием (табл. 14.1) рассчитать режимы, выбрать материалы и оборудование для ручной дуговой сварки.

Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	Марка стали	Количество сварных узлов	Эскиз сварного узла
1	Ст2	5	<p>ГОСТ 5264-80-T1-Δ4</p> <p>ГОСТ 5264-80-T3-Δ3</p> <p>ГОСТ 5264-80-T5-Δ3</p> <p>18</p> <p>M24</p> <p>N°1</p> <p>φ180</p> <p>φ110</p> <p>190</p> <p>1</p> <p>2</p> <p>3</p> <p>Корпус гидроцилиндра: 1 – штуцер; 2 – корпус; 3 – фланец</p>
2	Ст3	6	
3	Ст5	7	
4	20	8	
5	30	9	
6	09Г2С	10	
7	16ГС	1	

Номер варианта	Марка стали	Количество сварных узлов	Эскиз сварного узла
8	Ст3	2	<p>ГОСТ 5264-80-C20</p> <p>ГОСТ 5264-80-T1-Δ5</p> <p>Корпус крана: 1 – кольцо; 2 – втулка; 3 – крышка</p>
9	Ст5	3	
10	10	4	
11	20	5	
12	25	6	
13	10Г2	7	
14	16ГС	8	

Номер варианта	Марка стали	Количество сварных узлов	Эскиз сварного узла
15	Ст2	9	 <p data-bbox="853 812 1260 890"> Корпус крана: 1 – плита; 2 – переходник; 3 – фланец; 4 – штуцер; 5 – запор </p>
16	Ст3	10	
17	Ст4	1	
18	20	2	
19	40	3	
20	09Г2	4	
21	10Г2	5	

Номер варианта	Марка стали	Количество сварных узлов	Эскиз сварного узла
22	Ст3	6	<p>ГОСТ 5264-80-T3-Δ6</p> <p>ГОСТ 5264-80-T1-Δ6</p> <p>Кронштейн: 1 – косынка; 2 – щека; 3 – направляющая</p>
23	Ст5	7	
24	08	8	
25	15	9	
26	35	10	
27	10Г2	1	
28	16ГС	2	

1. Определение типа сварного соединения

По чертежу сварного узла определить типы сварных соединений.

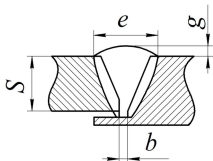
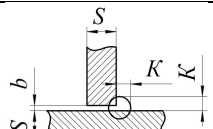
Согласно ГОСТ 5264–80, который устанавливает основные типы, конструктивные элементы и размеры сварных соединений из сталей, а также сплавов на железоникелевой и никелевой основах, выполняемые ручной электродуговой сваркой, эти соединения имеют следующие условные обозначения: С1...С40 – стыковые; У1...У10 – угловые; Т1...Т5 – тавровые; Н1...Н2 – нахлесточные.

2. Определение площади поперечного сечения и объема сварного шва, массы наплавленного металла и общей массы наплавленного металла

По форме поперечного сечения сварные швы подразделяют на стыковые и угловые. Стыковые швы применяют при выполнении стыковых соединений, угловые – при выполнении угловых, нахлесточных и тавровых соединений. Конструктивные элементы сварных швов и их размеры представлены в табл. 14.2 (ГОСТ 5264–80).

Таблица 14.2

Конструктивные элементы сварных швов

Обозначение соединения	Эскиз конструктивного элемента	Размеры, мм			
		S	b	e	g
С20		3...5	3	$10^{+2,0}_{-2,0}$	$0,5^{+1,5}_{-0,5}$
		5...8		$16^{+2,0}_{-2,0}$	
		8...11	4	$20^{+2,0}_{-2,0}$	
		11...14		$24^{+2,0}_{-2,0}$	
		14...17	5	$28^{+3,0}_{-3,0}$	$0,5^{+2,0}_{-0,5}$
		17...20		$32^{+3,0}_{-3,0}$	
		20...24		$36^{+3,0}_{-3,0}$	
		24...28		$40^{+3,0}_{-3,0}$	
		28...32		$44^{+3,0}_{-3,0}$	
Т1		2...3	0^{+1}	–	–
		3...15	0^{+2}	–	–
		15...40	0^{+3}	–	–

Обозначение соединения	Эскиз конструктивного элемента	Размеры, мм			
		S	b	e	g
ТЗ		2...3	0^{+1}	—	—
		3...15	0^{+2}	—	—
		15...40	0^{+3}	—	—

Площадь поперечного сечения сварных швов F_n рассчитать:

– для стыкового шва:

$$F_n = 0,75eg + Sb; \quad (14.1)$$

– для углового шва:

$$F_n = \frac{K^2}{2} K_y, \quad (14.2)$$

где e, g, S, b – конструктивные параметры шва (табл. 14.2);

K – катет шва (в условном обозначении сварного соединения на чертеже);

K_y – коэффициент усиления шва (табл. 14.3).

Таблица 14.3

Зависимость коэффициента усиления шва от величины катета шва

$K, \text{ мм}$	3...4	5...6	7...10	12...20
K_y	1,5	1,35	1,25	1,15

Объем наплавленного металла сварного шва

$$V_n = F_n l, \quad (14.3)$$

где l – длина шва.

Масса наплавленного металла шва

$$G_n = V_n \gamma, \quad (14.4)$$

где γ – плотность свариваемого материала.

Общая масса наплавленного металла

$$G_{\text{общ}} = nG_{\text{н}}, \quad (14.5)$$

где n – количество сварных узлов.

3. Выбор диаметра электрода

При получении стыковых швов диаметр электрода рассчитываем по формуле

$$d = \frac{S}{2} + 1,$$

где S – толщина свариваемых изделий.

При получении угловых швов диаметр электрода обычно выбирается в зависимости от величины катета шва K (табл. 14.4).

Таблица 14.4

Рекомендованные значения диаметра электродов для получения угловых швов

K , мм	2	3	4	5	6...8
d , мм	1,6; 2,0	2,5; 3,0	3,0; 4,0	4,0; 5,0	6,0

4. Выбор типа и марки электрода

Тип электрода выбрать с учетом равнопрочности материалов сварного соединения и сварочного шва, используя табл. 14.5, 14.6.

Таблица 14.5

Значения предела прочности при растяжении $\sigma_{\text{в}}$ различных марок сталей

Марка стали	Предел прочности при растяжении $\sigma_{\text{в}}$, МПа	Марка стали	Предел прочности при растяжении $\sigma_{\text{в}}$, МПа
Ст2	390	25	460
Ст3	430	30	500
Ст4	489	35	530
Ст5	550	40	550
08	330	09Г2	450
10	340	09Г2С	430...490
15	380	10Г2	420
20	420	16ГС	480

Таблица 14.6

Значения предела прочности металла шва сварного соединения для различных типов электродов для сварки углеродистых и низколегированных сталей (ГОСТ 9467–75)

Тип электрода	Предел прочности при растяжении σ_b , МПа	Тип электрода	Предел прочности при растяжении σ_b , МПа
Э38	380	Э46А	460
Э42	420	Э50А	500
Э42А	420	Э55	550
Э46	460	Э60	600

Марка электрода выбирается в зависимости от его типа и от назначения сварного узла или конструкции. В табл. 14.7 для каждого типа электрода приведены соответствующие ему марки и их основные характеристики: род тока, коэффициент наплавки α_n и коэффициент расхода электродов k_3 .

Таблица 14.7

Характеристики марок электродов для сварки углеродистых и низколегированных сталей

Тип	Марка	Назначение	Род тока*	α_n , г/А·ч	k_3
Э38	ОЗС-41	Сварка рядовых конструкций из низкоуглеродистых сталей	Пр, П	8,0	1,8
Э42	АНО-6	Сварка конструкций из углеродистых сталей с содержанием углерода до 0,25 %	Пр, П	8,0...9,5	1,6
	ВСЦ-4М	Сварка стыков трубопроводов из углеродистых и низколегированных сталей	П	9,0	1,8
	ОЗС-12И/42	Сварка конструкций из низкоуглеродистых сталей	Пр, П _{пп}	8,0	1,7
	ОЗС-23	Сварка конструкций из тонколистовых (толщиной 1...3 мм) углеродистых сталей	Пр, П _{оп}	8,5	1,6
Э42А	УОНИ-13/45	Сварка особо ответственных конструкций из углеродистых и низкоуглеродистых сталей, когда к металлу швов предъявляются повышенные требования по пластичности и ударной вязкости	П _{оп}	8,5...9,5	1,6

Продолжение таблицы 14.7

Тип	Марка	Назначение	Род тока*	$\alpha_{нн}$, г/А·ч	k_s
Э46	MP-3	Сварка ответственных конструкций из углеродистых сталей	Пр, П	8,0...8,5	1,7
	АНО-36	Сварка рядовых и ответственных конструкций из низкоуглеродистых сталей	Пр, П	8,0...8,5	1,7
	АНО-21	Сварка угловых, стыковых, нахлесточных соединений рядовых и ответственных металлоконструкций из металла толщиной 1,0...5,0 мм	Пр, П	7,0...8,0	1,65
	ОЗС-3	Высокопроизводительная сварка ответственных конструкций из углеродистых сталей в нижнем положении шва	Пр, П _{оп}	15,0	1,3
Э46А	УОНИ-13/55К	Сварка особо ответственных жестких конструкций из углеродистых и низколегированных сталей, работающих при знакопеременных нагрузках и пониженных температурах, в частности в дизелестроении	П _{оп}	9,5	1,6
Э50А	УОНИ-13/55	Сварка особо ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей, когда к металлу швов предъявляют повышенные требования по пластичности и ударной вязкости	П _{оп}	8,5...9,5	1,6
	ОЗС-18	Сварка ответственных конструкций из низколегированных сталей, стойких к атмосферной коррозии	П _{оп}	9,5	1,5
Э55	УОНИ-13/55У	Сварка стержней арматуры железобетонных конструкций и рельсов из углеродистых и низколегированных сталей	Пр, П	10,0	1,6

Тип	Марка	Назначение	Род тока*	$\alpha_{из}$, г/А·ч	k_3
Э60	ВСФ-65У	Сварка стыков трубопроводов и других ответственных конструкций из низколегированных сталей	П _{оп}	9,5	1,4
	ВИ-10-6	Сварка особо ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей	П _{оп}	8,0	1,9

*Пр – переменный ток; П – постоянный ток (П_{пр} – прямой полярности, П_{оп} – обратной полярности).

5. Определение силы сварочного тока и напряжения на дуге

Силу сварочного тока I определить по эмпирической формуле

$$I = kd, \quad (14.6)$$

где k – коэффициент плотности тока, А/мм (табл. 14.8).

Таблица 14.8

Зависимость плотности тока от диаметра электрода

d , мм	1, 2	3, 4	5, 6
k , А/мм	25...30	30...45	45...60

Напряжение на дуге U_d определить по формуле

$$U_d = \alpha + \beta l_d, \quad (14.7)$$

где α – коэффициент, характеризующий падение напряжения на аноде или катоде (для стальных электродов принимаем $\alpha = 10...12$ В);

l_d – длина дуги ($l_d = 0,5(d + 2)$, мм);

β – коэффициент, характеризующий падение напряжения на 1 мм длины дуги (принимаем $\beta = 2...3$ В/мм).

6. Выбор оборудования для сварки

Для рассчитанных параметров режимов ручной дуговой сварки (сила тока I и напряжение на дуге U_d) и выбранных рода и полярности тока определить источник питания сварочной дуги (табл. 14.9–14.11).

Таблица 14.9

Технические данные трансформаторов для ручной дуговой сварки

Параметр	Марки			
	ТДК-2	ТД-306	ТД-300	ТДМ-254
Номинальный сварочный ток, А	160	250	315	250
Номинальное рабочее напряжение, В	26	30	33	33
Пределы регулирования сварочного тока, А	60...175	60...360	60...360	60...370
Напряжение холостого хода, В, не более	80	80	80	80
КПД, %	72	86	86	86

Таблица 14.10

Технические данные трансформаторов с увеличенным магнитным рассеянием для ручной дуговой сварки

Параметр	Марки			
	СТШ-250	ТСМ-250	ТДЭ-101	ТДЭ-251
Номинальный сварочный ток, А	250	250	100	250
Номинальное рабочее напряжение, В	25	25	24	30
Пределы регулирования тока, А	70...250	90...250	40...110	90...260
Напряжение холостого хода, В	62	62	42	55
Коэффициент полезного действия (КПД), %	86	69	60	67

Таблица 14.11

Технические характеристики универсальных тиристорных выпрямителей

Параметр	Марки			
	ВДУ-505	ВДУ-506	ВДУ-601	ВДУ-1201
Номинальный сварочный ток, А	500	500	630	1250
Напряжение холостого хода, В, не более	90	85	90	85

Параметр	Марки			
	ВДУ-505	ВДУ-506	ВДУ-601	ВДУ-1201
Номинальное рабочее напряжение, В:				
– жесткие характеристики;	50	50	56	56
– падающие характеристики	46	46	52	52
Пределы регулирования сварочного тока, А:				
– жесткие характеристики;	60...500	60...500	65...530	300...1250
– падающие характеристики	50...500	50...500	50...630	300...1250
Пределы регулирования рабочего напряжения, В:				
– жесткие характеристики;	18...50	18...56	18...56	24...56
– падающие характеристики	22...46	22...46	22...52	26...56
КПД, %, не менее	82	79	75	83,5

7. Определение скорости сварки

Скорость сварки v определить по формуле

$$v = \frac{\alpha_n I}{\gamma F_n}, \quad (14.8)$$

где α_n – коэффициент наплавки, г/А·ч (см. табл. 14.7).

8. Определение времени сварки

Технологическое время сварки τ_T (время горения электрической дуги) определить по формуле

$$\tau_T = \frac{G_{\text{общ}}}{\alpha_n I}. \quad (14.9)$$

Дополнительное время сварки $\tau_{\text{доп}}$ (установка и поворот детали, уход за сварочным оборудованием, получение наряда) составляет 30...50 % от технологического времени:

$$\tau_{\text{доп}} = (0,3...0,5) \tau_T. \quad (14.10)$$

Полное время τ на сварочные работы рассчитать по формуле

$$\tau = \tau_T + \tau_{\text{доп}}. \quad (14.11)$$

9. Определение расхода электродов и электроэнергии

Расход электродов G_3 для выполнения сварочных работ определить по формуле

$$G_3 = k_3 G_{\text{общ}}, \quad (14.12)$$

где k_3 – коэффициент расхода электродов (см. табл. 14.7).

Расход электроэнергии W на выполнение сварочных работ определить по формуле

$$W = \frac{U_d I \tau_r}{1000 \eta} + P_{xx} (\tau - \tau_r), \quad (14.13)$$

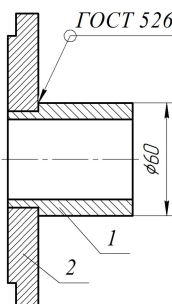
где η – КПД источника питания сварочной дуги (см. табл. 14.9–14.11);

P_{xx} – мощность холостого хода источника питания сварочной дуги (при сварке на переменном токе $P_{xx} = 0,2 \dots 0,3$ кВт, на постоянном токе $P_{xx} = 2,5 \dots 3,0$ кВт).

10. Составление маршрутной карты технологического процесса ручной дуговой сварки сварного узла

По рассчитанным и выбранным режимам ручной дуговой сварки составить маршрутную карту технологического процесса ручной дуговой сварки сварного узла.

Пример выполнения индивидуального задания



Вариант 10

Марка стали: 10.

Количество

сварных узлов: 4 шт.

Корпус крана:

1 – втулка; 2 – крышка

1. Определение типа сварного соединения

Условное обозначение сварного соединения на чертеже – ГОСТ 5264–80-Т1-Δ5, следовательно тип соединения – тавровое (Т1).

2. Определение площади поперечного сечения и объема сварного шва, массы наплавленного металла шва и общей массы наплавленного металла

Площадь поперечного сечения шва F_n рассчитываем по формуле (14.2), учитывая, что $K = 5$ мм ($\Delta 5$ – в условном обозначении сварного соединения на чертеже), а $K_y = 1,35$ (см. табл. 14.3):

$$F_n = \frac{K^2}{2} K_y = \frac{5^2}{2} \cdot 1,35 = 16,9 \text{ мм}^2.$$

Объем наплавленного металла сварного шва V_n рассчитываем по формуле (14.3), учитывая, что длина шва $l = \pi d$ ($d = 60$ мм):

$$V_n = F_n l = F_n \pi d = 16,9 \cdot 3,14 \cdot 60 = 3184 \text{ мм}^3 = 3,2 \text{ см}^3.$$

Массу наплавленного металла шва G_n определяем из выражения (14.4), принимая $\gamma = 7,86$ г/см³ (плотность стали):

$$G_n = V_n \gamma = 3,2 \cdot 7,86 = 25,2 \text{ г}.$$

Общую массу наплавленного металла $G_{\text{общ}}$ определяем по формуле (14.5), учитывая, что $n = 4$:

$$G_{\text{общ}} = n G_n = 4 \cdot 25,2 = 100,8 \text{ г}.$$

Таким образом, $F_n = 16,9 \text{ см}^2$; $V_n = 3,2 \text{ см}^3$; $G_n = 25,2 \text{ г}$; $G_{\text{общ}} = 100,8 \text{ г}$.

3. Выбор диаметра электрода

Диаметр электрода при получении углового шва таврового соединения выбираем в зависимости от величины катета шва K (табл. 14.4). Для $K = 5$ принимаем $d = 4$ мм.

Таким образом, $d = 4$ мм.

4. Выбор типа и марки электрода

Тип электрода выбираем, учитывая равнопрочность материалов сварного соединения и сварочного шва: для стали 10 предел прочности $\sigma_b = 340$ МПа (см. табл. 14.5), соответственно из табл. 14.6 выбираем тип электрода Э38 ($\sigma_b = 380$ МПа).

Марка электрода выбирается в зависимости от типа электрода и назначения сварного узла или конструкции (см. табл. 14.7). Для сварки низкоуглеродистой стали 10 выбираем марку электрода ОЗС-41.

Таким образом, тип электрода – Э38, марка электрода – ОЗС-41.

5. Определение силы сварочного тока и напряжения на дуге

Силу сварочного тока I определяем по эмпирической формуле (14.6), принимая $k = 45$ А/мм (см. табл. 14.8):

$$I = kd = 45 \cdot 4 = 180 \text{ А.}$$

Напряжение на дуге U_d определяем по формуле (14.7), приняв $\alpha = 12$ В, $\beta = 3$ В/мм и рассчитав длину дуги l_d :

$$l_d = 0,5(d + 2) = 0,5(4 + 2) = 3 \text{ мм;}$$

$$U_d = \alpha + \beta l_d = \alpha + \beta(0,5(d + 2)) = 12 + 3(0,5(4 + 2)) = 21 \text{ В.}$$

Таким образом, $I = 180$ А; $l_d = 3$ мм; $U_d = 21$ В.

6. Выбор оборудования для сварки

Для рассчитанных режимов ручной дуговой сварки ($I = 180$ А, $U_d = 21$ В) при сварке переменным током выбираем из табл. 14.10 трансформатор ТДК-2.

Таким образом, трансформатор – ТДК-2.

7. Определение скорости сварки

Скорость сварки определяем по формуле (14.8), принимая $\alpha_n = 8$ г/А·ч (см. табл. 14.7):

$$v = \frac{\alpha_n I}{\gamma F_n} = \frac{8 \cdot 180}{7,86 \cdot 0,17} = 1078 \text{ см/ч} = 10,8 \text{ м/ч.}$$

Таким образом, $v = 10,8$ м/ч.

8. Определение времени сварки

Технологическое время сварки определяем по формуле (14.9):

$$\tau_T = \frac{G_{\text{общ}}}{\alpha_n I} = \frac{100,8}{8 \cdot 180} = 0,07 \text{ ч.}$$

Дополнительное время сварки определяем по формуле (14.10):

$$\tau_{\text{доп}} = 0,4\tau_T = 0,4 \cdot 0,07 = 0,03 \text{ ч.}$$

Полное время, затраченное на сварочные работы, рассчитываем по формуле (14.11):

$$\tau = \tau_T + \tau_{\text{доп}} = 0,07 + 0,03 = 0,1 \text{ ч.}$$

Таким образом, $\tau_T = 0,07$ ч; $\tau = 0,1$ ч.

9. Определение расхода электродов и электроэнергии

Расход электродов для выполнения сварочных работ определяем по формуле (14.12), принимая $k_3 = 1,8$ (см. табл. 14.7):

$$G_3 = k_3 G_{\text{общ}} = 1,8 \cdot 100,8 = 181,4 \text{ г.}$$

Расход электроэнергии на выполнение сварочных работ определяем по формуле (14.13), принимая $\eta = 0,72$ (см. табл. 14.10, трансформатор ТДК-2), $P_{\text{xx}} = 0,2$ кВт (сварка на переменном токе):

$$\begin{aligned} W &= \frac{U_d I \tau_T}{1000 \eta} + P_{\text{xx}} (\tau - \tau_T) = \\ &= \frac{21 \cdot 180 \cdot 0,07}{1000 \cdot 0,72} + 0,2 (0,1 - 0,07) = 0,37 \text{ кВт} \cdot \text{ч.} \end{aligned}$$

Таким образом, $G_3 = 181,4$ г; $W = 0,37$ кВт·ч.

ЗАНЯТИЕ 15

Контроль знаний по модулю 3

Уровень I (репродуктивный)

1. *К сварке плавлением относится сварка:*
1) газовая; 2) трением; 3) стыковая; 4) диффузионная; 5) взрывом.
2. *К сварке плавлением относится сварка:*
1) трением; 2) лазерная; 3) стыковая; 4) диффузионная; 5) взрывом.
3. *К сварке плавлением относится сварка:*
1) трением; 2) шовная; 3) дуговая; 4) диффузионная; 5) взрывом.
4. *К сварке плавлением относится сварка:*
1) трением; 2) стыковая; 3) электрошлаковая;
4) холодная; 5) взрывом.
5. *К сварке плавлением относится сварка:*
1) стыковая; 2) ультразвуковая; 3) термитная;
4) холодная; 5) магнитно-импульсная.
6. *К сварке давлением относится сварка:*
1) газовая; 2) стыковая; 3) термитная;
4) лазерная; 5) дуговая.
7. *К сварке давлением относится сварка:*
1) диффузионная; 2) лазерная; 3) термитная;
4) газовая; 5) дуговая.
8. *К сварке давлением относится сварка:*
1) газовая; 2) шовная; 3) термитная; 4) лазерная; 5) дуговая.
9. *К сварке давлением относится сварка:*
1) газовая; 2) лазерная; 3) термитная; 4) ультразвуковая; 5) дуговая.
10. *К сварке давлением относится сварка:*
1) газовая; 2) лазерная; 3) трением; 4) термитная; 5) дуговая.
11. *К сварке давлением относится сварка:*
1) магнитно-импульсная; 2) лазерная;
3) плазменная; 4) термитная; 5) дуговая.
12. *Газ, используемый в качестве защитного при сварке в среде защитного газа:*
1) углекислый газ; 2) природный газ;
3) кислород; 4) ацетилен; 5) бутан.
13. *Газ, используемый в качестве защитного при сварке в среде защитного газа:*
1) аргон; 2) природный газ;
3) кислород; 4) ацетилен; 5) бутан.

14. Максимальная температура плазменной струи составляет:

- 1) 10 000...20 000 °С; 2) 6000...8000 °С; 3) 8000...9000 °С;
- 4) 2000...5000 °С; 5) 5000...6000 °С.

15. Электрошлаковая сварка используется:

- 1) для сварки толстых листов;
- 2) для сварки тонких листов;
- 3) для получения нахлесточных соединений;
- 4) для получения потолочных швов;
- 5) для получения угловых соединений.

16. При сварке трением:

- 1) детали вращаются относительно друг друга в разных направлениях;
- 2) обе детали неподвижны;
- 3) детали вращаются относительно друг друга в одном направлении;
- 4) одна деталь неподвижна, на вторую подается смазочная жидкость;
- 5) детали вращаются в одном направлении и подается электрический ток.

17. Температура дуги ручной дуговой сварки составляет:

- 1) 2000...4000 °С; 2) 6000...7000 °С; 3) 10 000...20 000 °С;
- 4) 3000...5000 °С; 5) 1000...2000 °С.

18. Критерием, по которому выбирается диаметр электрода при сварке швов стыковых соединений, является:

- 1) толщина листов; 2) сила тока; 3) катет шва;
- 4) положение шва в пространстве; 5) величина напряжения.

19. Критерием, по которому выбирается диаметр электрода при сварке швов угловых и тавровых соединений, является:

- 1) катет шва; 2) толщина листов; 3) сила тока;
- 4) положение шва в пространстве; 5) величина напряжения.

20. Источником питания сварочной дуги переменного тока является:

- 1) трансформатор; 2) преобразователь; 3) выпрямитель;
- 4) сварочный агрегат; 5) ацетиленовый генератор.

21. Источником питания сварочной дуги с наибольшим КПД является:

- 1) трансформатор; 2) преобразователь; 3) выпрямитель;
- 4) сварочный агрегат; 5) ацетиленовый генератор.

22. Источником питания сварочной дуги с наименьшим КПД является:

- 1) трансформатор; 2) преобразователь; 3) выпрямитель;
- 4) сварочный агрегат; 5) ацетиленовый генератор.

23. Напряжение холостого хода источника питания сварочной дуги:

- 1) равно рабочему напряжению; 2) больше рабочего напряжения;

- 3) меньше рабочего напряжения; 4) равно напряжению сети;
5) зависит от силы тока.
24. Ток короткого замыкания источника питания сварочной дуги:
1) больше рабочего тока; 2) равен рабочему току;
3) меньше рабочего тока; 4) зависит от напряжения в сети;
5) равен силе тока сети.
25. Критерием, по которому отличаются друг от друга сварочные проволоки марок Св-08 и Св-08А, является:
1) содержание углерода; 2) содержание легирующих элементов;
3) содержание вредных примесей серы и фосфора;
4) тип покрытия; 5) величина сварочного тока.
26. Цифры в марке сварочной проволоки Св-12 обозначают:
1) содержание углерода в проволоке; 2) содержание углерода в шве;
3) диаметр проволоки; 4) тип покрытия; 5) величину сварочного тока.
27. Число 13 в марке сварочной проволоки Св-12Х13 обозначает:
1) содержание углерода; 2) содержание хрома;
3) диаметр проволоки; 4) тип покрытия; 5) величину сварочного тока.
28. Содержание углерода в сварочной проволоке марки Св-09Х18Н9 составляет:
1) 0,9 %; 2) 0,09 %; 3) 9 %; 4) 18 %; 5) 0,009 %.
29. Буква А в маркировке сварочной проволоки Св-08А обозначает:
1) повышенную пластичность и ударную вязкость сварного шва;
2) повышенное качество сварочной проволоки;
3) гарантию химического состава;
4) содержание углерода;
5) тип покрытия.
30. Параметром, по которому определяется тип электрода, является:
1) предел прочности стали; 2) содержание углерода в стали;
3) толщина свариваемого металла; 4) сила сварочного тока;
5) величина напряжения.
31. Буква А в наименовании типа электрода Э42А обозначает:
1) наличие покрытия на электроде;
2) повышенное качество сварного шва;
3) повышенное качество сварочной проволоки;
4) тип покрытия электрода;
5) содержание легирующих элементов.
32. Типом электрода для сварки стали, имеющей предел прочности, равный 460 МПа, и испытывающей при работе ударные и знакопеременные нагрузки является:

1) Э46А; 2) Э46; 3) Э50; 4) Э50А; 5) Э42А.

33. *Признаком, по которому электроды подразделяются на типы, является:*

1) назначение и механические свойства металла шва; 2) род тока;
3) состав покрытия; 4) назначение покрытия; 5) сила тока.

34. *Стальями, для сварки которых в качестве защитного газа используется углекислый газ, являются:*

1) высокоуглеродистые; 2) высоколегированные;
3) малоуглеродистые и низколегированные;
4) инструментальные; 5) мартенситно-старяющие.

35. *Толщина каждой из заготовок при точечной контактной сварке составляет:*

1) 2...3 мм; 2) 10...15 мм; 3) 15...20 мм; 4) 20...25 мм; 5) 30 мм.

36. *Толщина каждой из заготовок при шовной сварке составляет:*

1) 2...3 мм; 2) 10...15 мм; 3) 15...20 мм; 4) 20...25 мм; 5) 30 мм.

37. *Способом нагрева металла при контактной сварке является:*

1) горение ацетилена в струе кислорода; 2) нагрев лазерным лучом;
3) прохождение электрического тока через место контакта;
4) горение электрической дуги; 5) нагрев плазменной струей.

38. *Газом с наибольшей температурой сгорания в среде кислорода является:*

1) ацетилен; 2) природный газ; 3) водород; 4) бутан; 5) аргон.

39. *Горючим газом, находящим наибольшее применение при газовой сварке, является:*

1) ацетилен; 2) природный газ; 3) водород; 4) бутан; 5) аргон.

40. *Давление кислорода в баллоне не превышает:*

1) 15 МПа; 2) 20 МПа; 3) 150 МПа; 4) 1500 МПа; 5) 200 МПа.

41. *Максимальная температура пламени при сгорании ацетилена в среде кислорода составляет:*

1) 3150 °С; 2) 1000 °С; 3) 2000 °С; 4) 10 000 °С; 5) 500 °С.

42. *Приспособлением для смешивания кислорода и ацетилена является:*

1) редуктор; 2) горелка; 3) вентиль;
4) ацетиленовый генератор; 5) водяной затвор.

43. *Приспособлением для понижения давления газа, поступающего из баллона, является:*

1) вентиль; 2) редуктор; 3) манометр;
4) горелка; 5) ацетиленовый генератор.

44. Метод сварки неплавящимся электродом получил название по фамилии:

1) Патона; 2) Бенардоса; 3) Славянова; 4) Петрова; 5) Миткевича.

45. Метод сварки плавящимся электродом получил название по фамилии:

1) Патона; 2) Бенардоса; 3) Славянова; 4) Петрова; 5) Миткевича.

46. Получить сварное соединение меди с алюминием можно:

1) дуговой сваркой; 2) электрошлаковой сваркой;
3) сваркой взрывом; 4) газовой сваркой; 5) термитной сваркой.

47. Шовную сварку применяют для изготовления:

1) листовых конструкций; 2) деталей сложной формы;
3) рельсовых соединений; 4) трубопроводов;
5) угловых и тавровых конструкций.

48. Сварное соединение поверхностей при ультразвуковой сварке образуется в результате их:

1) химического взаимодействия; 2) оплавления;
3) нагрева; 4) пластической деформации; 5) расплавления.

49. Основными зонами сварочной дуги являются:

1) катодная, анодная, столб дуги;
2) промежуточная, катодная, анодная;
3) анодная, ионизированная, плазменная;
4) катодная, ионизированная, плазменная;
5) промежуточная; ионизированная, плазменная.

50. Полярность дуги называют прямой, если:

1) на электроде – минус, на изделии – плюс;
2) на электроде – плюс, на изделии – минус;
3) на электроде и изделии – плюс;
4) на электроде и изделии – минус;
5) полярность на электроде и изделии переменная.

51. Полярность дуги называют обратной, если:

1) на электроде – минус, на изделии – плюс;
2) на электроде – плюс, на изделии – минус;
3) на электроде и изделии – плюс;
4) на электроде и изделии – минус;
5) полярность на электроде и изделии переменная.

52. Сварочный аппарат, преобразующий механическую энергию в электрическую, называется:

1) генератором; 2) трансформатором; 3) выпрямителем;
4) преобразователем; 5) инвертором.

53. Сварочная проволока обозначается буквами:

1) Сп; 2) Пс; 3) Св; 4) Сс; 5) Ас.

54. При дуговой сварке источником нагрева является:

1) расплавленный шлак; 2) направленный поток электронов;
3) электрод; 4) мощный световой луч; 5) электрическая дуга.

55. При электрошлаковой сварке источником нагрева является:

1) расплавленный шлак; 2) направленный поток электронов;
3) электрод; 4) мощный световой луч; 5) электрическая дуга.

56. При лазерной сварке источником нагрева является:

1) расплавленный шлак; 2) направленный поток электронов;
3) электрод; 4) мощный световой луч; 5) электрическая дуга.

57. При электронно-лучевой сварке источником нагрева является:

1) расплавленный шлак; 2) направленный поток электронов;
3) электрод; 4) мощный световой луч; 5) электрическая дуга.

58. Несуществующим видом сварного соединения является:

1) фасонное; 2) стыковое; 3) угловое; 4) нахлесточное; 5) тавровое.

59. Плавающий электрод применяется:

1) при термитной сварке; 2) при сварке взрывом;
3) при газовой сварке; 4) при дуговой сварке;
5) при ультразвуковой сварке.

60. Соединение металлических деталей в твердом состоянии с помощью присадочного сплава (металла) называется:

1) термической обработкой; 2) холодной сваркой;
3) сваркой трением; 4) обработкой металлов давлением; 5) пайкой.

61. Сварка сжатой дугой называется:

1) плазменной; 2) дуговой; 3) электродуговой;
4) электронно-лучевой; 5) сваркой давлением.

Уровень II (продуктивный)

1. Дать определение термина «сварной шов» и перечислить виды сварных соединений и сварных швов по положению в пространстве.

2. Описать механизмы установления межатомных связей при сварке плавлением и сварке давлением, перечислить способы сварки плавлением и сварки давлением.

3. Перечислить источники питания сварочного тока, описать принцип их работы, сформулировать преимущества и недостатки каждого источника.

4. Описать технологию процесса дуговой сварки, дать определение термина «электрическая дуга», объяснить сущность сварки дугой прямой и обратной полярности.

5. Описать сущность сварки по методу Бенардоса и по методу Славянова.

6. Перечислить функции покрытия на электродах, используемых при ручной дуговой сварке.

7. Описать технологию дуговой сварки под флюсом, перечислить оборудование и функции флюсов при этом способе сварки.

8. Описать технологии газовой сварки и кислородной резки металлов, перечислить оборудование, используемое при этом способе сварки.

9. Описать технологию электрошлаковой сварки, перечислить оборудование и приспособления, используемые при этом способе сварки.

10. Описать технологии контактной сварки (точечной, шовной и стыковой), перечислить оборудование, используемое при этих способах сварки.

11. Описать технологии электронно-лучевой и лазерной сварки, перечислить оборудование и приспособления, используемые при этих способах сварки.

12. Описать технологию плазменной сварки, перечислить оборудование и приспособления, используемые при этом способе сварки.

13. Описать технологию сварки взрывом, перечислить оборудование и приспособления, используемые при этом способе сварки.

14. Описать технологию диффузионной сварки, перечислить оборудование и приспособления, используемые при этом способе сварки.

15. Описать технологию ультразвуковой сварки, перечислить оборудование и приспособления, используемые при этом способе сварки.

16. Описать технологию сварки трением, перечислить оборудование и приспособления, используемые при этом способе сварки.

17. Описать технологию холодной сварки, перечислить оборудование и приспособления, используемые при этом способе сварки.

18. Описать технологию пайки металлов и сплавов, перечислить оборудование и материалы для пайки.

Уровень III (творческий)

1. Оценить качество сварного соединения, полученного точечной сваркой, если разрушающая нагрузка при срезе сварной точки

$F = 5400$ Н, диаметр электродов сварочной машины $d = 6$ мм, материал свариваемых изделий – сталь 20 (предел текучести $\sigma_t = 245$ МПа).

2. Сравнить прочность паяного соединения и соединения, полученного точечной сваркой, если диаметр электродов при точечной сварке $d = 5$ мм. Схема сборки деталей для пайки и сварки представлена на рис. 15.1.

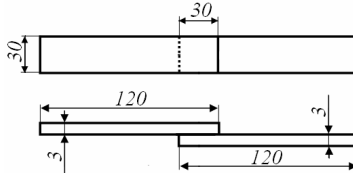


Рис. 15.1. Схема сборки деталей для пайки и точечной сварки

3. Определить массу наплавленного металла шва G_n сварного соединения (рис. 15.2), полученного ручной дуговой сваркой стальным электродом. Коэффициент усиления шва K_y принять равным 1,5.

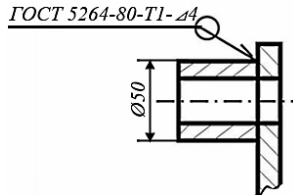


Рис. 15.2. Сварное соединение, полученное ручной дуговой сваркой

4. Описать методику выбора типа и марки электрода при ручной дуговой сварке.

5. Выбрать диаметр электрода d , силу сварочного тока I и напряжение на дуге U_d для получения стыкового сварного соединения ручной дуговой сваркой. Толщина свариваемых изделий $S = 8$ мм, коэффициент плотности тока $k = 45$ А/мм, коэффициент, характеризующий падение напряжения, $\alpha = 10$ В, коэффициент, характеризующий падение напряжения на 1 мм длины дуги, $\beta = 3$ В/мм.

6. Описать методику выбора оборудования для ручной дуговой сварки.

7. Определить скорость ручной дуговой сварки v стальным электродом для получения углового соединения (катет шва $K = 4$ мм, коэффициент усиления шва $K_y = 1,5$). Коэффициент наплавки $\alpha_n = 8,0$ г/А·ч, сила сварочного тока $I = 120$ А.

8. Определить технологическое τ_T и полное τ время ручной дуговой сварки стальным электродом при получении углового соединения (площадь поперечного сечения сварного шва $F_H = 6,8 \text{ мм}^2$, длина шва $l = 190 \text{ мм}$). Коэффициент наплавки $\alpha_H = 8,5 \text{ г/А}\cdot\text{ч}$, сила сварочного тока $I = 90 \text{ А}$.

9. Определить расход электроэнергии W на выполнение сварочных работ, если масса наплавленного металла швов $G_{\text{общ}} = 120 \text{ г}$, коэффициент наплавки $\alpha_H = 8,5 \text{ г/А}\cdot\text{ч}$, сила сварочного тока $I = 90 \text{ А}$, напряжение на дуге $U_d = 25 \text{ В}$, КПД трансформатора ТДЭ-251 $\eta = 67 \%$, а мощность его холостого хода $P_{\text{xx}} = 0,3 \text{ кВт}$.

10. Определить, к какой группе по свариваемости относится сталь 20ХГСА (рассчитать эквивалентное содержание углерода C_3). Охарактеризовать эту группу сталей по свариваемости – оценить склонность к образованию трещин и необходимость термообработки (до сварки, в ее процессе и после сварки).

11. Определить, к какой группе по свариваемости относится сталь 8Х3 (рассчитать эквивалентное содержание углерода C_3). Охарактеризовать эту группу сталей по свариваемости – оценить склонность к образованию трещин и необходимость термообработки (до сварки, в ее процессе и после сварки).

12. Определить, к какой группе по свариваемости относится сталь 15ХМ (рассчитать эквивалентное содержание углерода C_3). Охарактеризовать эту группу сталей по свариваемости – оценить склонность к образованию трещин и необходимость термообработки (до сварки, в ее процессе и после сварки).

13. По циклограмме (рис. 15.3, а) определить вид контактной сварки, описать ее процесс и режимы.

14. По циклограмме (рис. 15.3, б) определить вид контактной сварки, описать ее процесс и режимы.

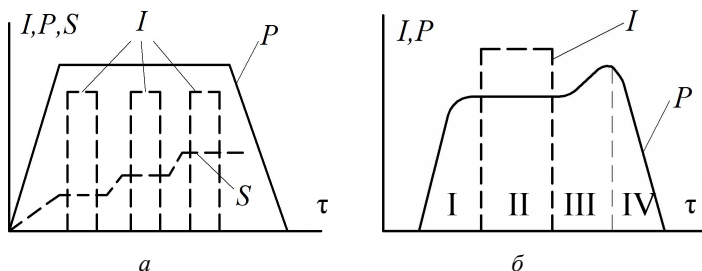
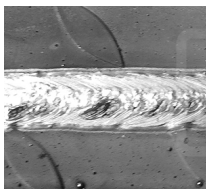


Рис. 15.3. Циклограммы контактной сварки

15. Определить, какими видами сварки выполнены соединения, представленные на рис. 15.5.



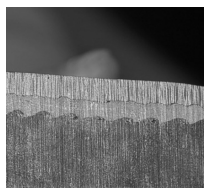
a



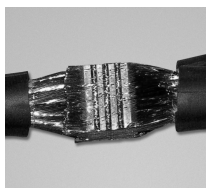
б



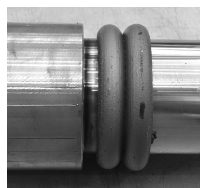
в



г



д



е

Рис. 15.5. Соединения, полученные различными видами сварки

Описать технологию одного из видов сварки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефимов, В. А. Специальные способы литья : справочник / В. А. Ефимов. – М. : Машиностроение, 1991. – 436 с.
2. Калиновский, В. Р. Литье. Обработка давлением. Сварка : учебное пособие / В. Р. Калиновский, В. М. Капцевич, А. Ф. Ильющенко. – Минск : БГАТУ, 2004. – 298 с.
3. Калиновский, В. Р. Технологии горячей обработки металлов : учебное пособие / В. Р. Калиновский, В. М. Капцевич, А. Ф. Ильющенко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск : ИВЦ Минфина, 2010. – 352 с.
4. Ковка и штамповка : справочник : в 4 т. / ред. совет: Е. И. Семенов (пред.) и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2010. – Т. 1 : Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка. – 717 с. ; т. 2 : Горячая объемная штамповка. – 720 с.
5. Ковка и штамповка : справочник : в 4 т. / ред. совет: Е. И. Семенов (пред.) и др. – М. : Машиностроение, 1987. – Т. 3 : Холодная объемная штамповка. – 384 с. ; т. 4 : Листовая штамповка. – 544 с.
6. Коновалов, Ю. В. Справочник прокатчика : в 2 кн. / Ю. В. Коновалов. – М. : Теплотехник, 2008–2010. – Кн. 1 : Производство горячекатаных листов и полос. – 2008. – 640 с. ; кн. 2 : Производство холоднокатаных листов и полос. – 2010. – 608 с.
7. Материаловедение и технология металлов : учебник / Г. П. Фетисов [и др.] ; под ред. Г. П. Фетисова. – 3-е изд., испр. и доп. – М. : Высшая школа, 2005. – 862 с.
8. Могилев, В. К. Справочник литейщика / В. К. Могилев, О. И. Лев. – М. : Машиностроение, 1988. – 272 с.
9. Пейсахов, А. М. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учебник / А. М. Пейсахов, А. М. Кучер. – СПб. : Изд-во Михайлова В. А., 2003. – 406 с.
10. Сварка и свариваемые материалы : справочник : в 3 т. / под ред. Э. Л. Макарова. – М. : Металлургия, 1991. – Т. 1 : Свариваемость материалов. – 528 с.
11. Сварка и свариваемые материалы : справочник : в 3 т. / под ред. В. М. Ямпольского. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1996. – Т. 2 : Технология и оборудование. – 574 с.
12. Технология конструкционных материалов : учебник / А. М. Дальский [и др.] ; под общ. ред. А. М. Дальского. – 6-е изд., испр. и доп. – М. : Машиностроение, 2005. – 592 с.
13. Технология конструкционных материалов : учебник / О. С. Комаров [и др.] ; под общ. ред. О. С. Комарова. – Минск : Новое знание, 2005. – 560 с.

Учебное издание

Капцевич Вячеслав Михайлович,
Корнеева Валерия Константиновна,
Чугаев Павел Сергеевич

**ГОРЯЧАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

Учебное пособие

Ответственный за выпуск *В. М. Капцевич*
Редактор *Д. А. Значёнок*
Корректор *Д. А. Значёнок*
Компьютерная верстка *Д. А. Значёнок*
Дизайн обложки *Д. О. Бабаковой*

Подписано в печать 04.03.2020. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 9,3. Уч.-изд. л. 7,27. Тираж 99 экз. Заказ 84.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/359 от 09.06.2014.
№ 2/151 от 11.06.2014.
Пр-т Независимости, 99–2, 220023, Минск.