

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технологии металлов»

# ТЕХНОЛОГИИ И ДЕФЕКТЫ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

*Методические рекомендации к лабораторным работам  
для студентов направления подготовки  
12.03.01 «Приборостроение» очной формы обучения*

**Часть 2**



Могилев 2022

УДК 621.01  
ББК 34.4  
Т 87

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технологии металлов» «16» марта 2022 г.,  
протокол № 11

Составители: канд. техн. наук, доц. Д. И. Якубович;  
канд. техн. наук, доц. И. А. Лозиков;  
канд. техн. наук, доц. А. С. Федосенко;  
канд. техн. наук, доц. В. П. Груша;  
канд. техн. наук, доц. А. И. Хабибуллин

Рецензент канд. техн. наук, доц. В. М. Шеменков

В методических рекомендациях содержатся основные теоретические положения и методические указания к выполнению лабораторных работ по разделам «Сварка» и «Литье».

Учебно-методическое издание

## ТЕХНОЛОГИИ И ДЕФЕКТЫ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

### Часть 2

Ответственный за выпуск	Д. И. Якубович
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.

Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2022

## Содержание

1 Лабораторная работа № 1. Сущность процесса и классификация основных способов сварки плавлением .....	4
2 Лабораторная работа № 2. Ручная дуговая сварка .....	7
3 Лабораторная работа № 3. Дуговая сварка в защитном газе .....	11
4 Лабораторная работа № 4. Сварка давлением .....	14
5 Лабораторная работа № 5. Сварка полимерных материалов (пластмасс) .....	18
6 Лабораторная работа № 6. Формообразование заготовок литьем в песчано-глинистые формы .....	24
7 Лабораторная работа № 7. Формообразование заготовок литьем в кокиль .....	33
Список литературы .....	37
Приложение А .....	39
Приложение Б .....	42
Приложение В .....	43
Приложение Г .....	45

# 1 Лабораторная работа № 1. Сущность процесса и классификация основных способов сварки плавлением

**Цель работы:** ознакомиться с сущностью процесса сварки и классификацией основных способов сварки плавлением.

## 1.1 Физическая сущность процесса сварки

При сварке плавлением под действием источника тепла кромки металла свариваемых элементов (основной металл) и, если необходимо, дополнительный металл (сварочная проволока и др.) расплавляются в месте соединения, совместно образуя сварочную ванну. В ней происходят различные физико-химические взаимодействия. При охлаждении, по мере удаления источника тепла, металл сварочной ванны кристаллизуется, образуя сварной шов, соединяющий свариваемые элементы.

Рядом со швом в основном металле под действием тепла, распространяющегося из зоны сварки, происходят структурные изменения (зона термического влияния). Таким образом, сварное соединение, т. е. металл шва и зоны термического влияния, характеризуется разнообразием структур, а значит, и свойств. Последующая термическая обработка позволяет уменьшить это различие.

Задачей сварочной операции является получение механически неразъемных соединений, подобных по свойствам свариваемому материалу. Это может быть достигнуто в том случае, если по своей природе сварное соединение будет максимально приближаться к свариваемому металлу.

Свойства твердых тел, в том числе и механические (прочность, упругость, пластичность и др.), определяются их внутренними энергетическими связями, т. е. связями межмолекулярного, межатомного и ионного взаимодействия.

В металлах, которые относятся к кристаллическим твердым телам, внутренние связи определяются единым энергетическим полем ионизированных атомов (находящихся в узлах кристаллической решетки) и подвижных электронов.

Для получения в сварном соединении таких же энергетических связей, как и в свариваемом материале, необходимо пограничные слои одной свариваемой детали приблизить к пограничным слоям второй на такое расстояние, при котором между ними возникнет единое энергетическое поле.

Это технологический процесс, с помощью которого изготавливаются все основные конструкции гидротехнических сооружений, паровых и атомных электростанций, автодорожные, городские и железнодорожные мосты, вагоны, надводные и подводные корабли, строительные металлоконструкции, всевозможные подъемные краны, крупные узлы машиностроительных конструкций, автомобили, ракеты, искусственные спутники Земли, электрическая и радиотехническая аппаратура и многие другие изделия.

Многообразие свариваемых конструкций и свойств материалов, используемых для изготовления, заставляют применять различные способы сварки, разнообразные сварочные источники теплоты.

При сварке плавлением в качестве источника теплоты используют различные источники: высокотемпературное газовое пламя (газовая сварка); электрическую дугу (электродуговая сварка); теплоту, выделяемую в шлаковой ванне проходящим через нее электрическим током (электрошлаковая сварка); теплоту струи ионизированных газов плазмы (плазменная сварка); теплоту, выделяемую в металле в результате преобразования в нее кинетической энергии электронов (электронно-лучевая сварка); теплоту когерентного светового луча лазера (лазерная сварка) и некоторые другие.

Из способов сварки плавлением наиболее широко используется электродуговая сварка. Она имеет много разновидностей в зависимости от способа защиты зоны сварки от воздуха и металлургических взаимодействий в ней и в металле сварочной ванны.

## 1.2 Классификация способов сварки плавлением

Для получения неразъемного соединения свариваемые детали необходимо сблизить на расстояние ( $A \approx 4 \cdot 10^{-10}$  м), при котором между ними произойдет преодоление энергетического барьера потенциальной энергии системы атомов поверхностных слоев и образуются общие межатомные, межионные и металлические связи. Сближению деталей до нужного расстояния препятствуют неровности поверхности, а также находящиеся на ней загрязнения и оксидные пленки. Для преодоления их влияния необходимо затратить энергию, которая при сварке передается свариваемым поверхностям двумя физическими процессами: нагревом и давлением.

На рисунке 1.1 показан график, характеризующий соотношения между температурой и давлением, при которых возможно образование сварного соединения (конкретные численные значения зависят от характеристик свариваемого металла).

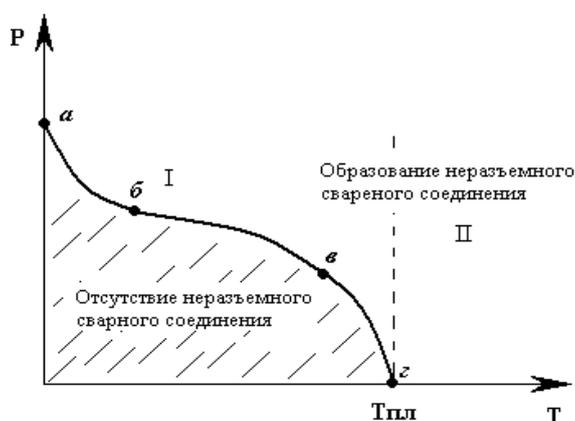


Рисунок 1.1 – Соотношения между температурой и давлением, при которых возможно образование сварного соединения

Диапазон соотношений достаточно велик. Металл можно вообще не нагревать, а создать в зоне сварки высокое давление (точка *a*). При этом активация поверхностей свариваемых деталей и образование сварного соединения происходит за счет значительных пластических деформаций. По этой схеме образуются соединения при холодной сварке, сварке взрывом. Если металл нагреть до определенной температуры, то для образования сварного соединения можно приложить меньшее давление (точка *б*). Этой точке, например, соответствует сварка трением, при которой тепло выделяется за счет трения при вращении одной из деталей и одновременном их сдавливании. При дальнейшем увеличении температуры усилие сжатия деталей, необходимое для сварки, продолжает уменьшаться. Например, при относительно невысоких давлениях и температуре нагрева  $T = 0,7T_{пл}$  осуществляется диффузионная сварка (точка *в*).

При нагреве металла до температуры плавления (точка *г*) для получения сварного соединения прикладывать давление нет необходимости. Расплавленный жидкий металл растекается по активированной нагревом поверхности твердого металла, смачивает ее и приближается на расстояние, достаточное для установления общих связей. После охлаждения образуется неразъемное соединение.

Таким образом, все способы сварки делятся на две большие группы: сварка давлением и сварка плавлением. Для первой группы (см. рисунок 1.1 область I) характерно наличие усилия сжатия свариваемых деталей, которое обеспечивает пластическое деформирование металла в зоне сварки. Для второй группы (см. рисунок 1.1 область II) сварка производится без давления, а нагрев металла производится выше температуры его плавления.

Сваркой давлением могут соединяться металлы, пластмассы, стекло, керамика (например, диффузионной сваркой). Сварка плавлением обычно используется для соединения металлов.

В зависимости от источника нагрева металла сварка плавлением делится на следующие виды:

- 1) дуговая; источник нагрева металла – свободно горящая между электродом и изделием электрическая дуга;
- 2) плазменная; источник нагрева металла – сжатая электрическая дуга, через которую со сверхзвуковой скоростью продувается газ, приобретающий свойства плазмы;
- 3) электрошлаковая; источник нагрева металла – расплавленный флюс (шлак), по которому протекает электрический ток;
- 4) электронно-лучевая; источник нагрева металла – кинетическая энергия электронов, движущихся в вакууме под действием мощного электрического поля;
- 5) лазерная; источник нагрева металла – луч оптического квантового генератора (лазера) в световом или инфракрасном диапазоне;
- 6) газовая; источник нагрева металла – высокотемпературное пламя, образующееся при сгорании газа в смеси с кислородом.

Первые пять способов иногда называют способами электрической сварки плавлением. Последний относят к газопламенной обработке металлов, т. к. электрическая энергия для его осуществления не используется. Наиболее распространенной среди способов сварки плавлением является дуговая.

Для получения качественного сварного соединения расплавленный металл в процессе сварки необходимо защищать от окружающей среды. В зависимости от применяемой защиты различают следующие способы сварки:

- покрытыми электродами. Роль защиты выполняет покрытие электрода, разлагающееся при нагреве;
- под флюсом. Защита осуществляется с помощью специального порошка (флюса), который подается в зону сварки из бункера;
- в защитных газах. Защита осуществляется с помощью газа, который, как правило, подается через сопло сварочной горелки;
- порошковой проволокой. Функцию защиты выполняет предварительно засыпанный в трубчатую сварочную проволоку порошок, который при нагреве разлагается с образованием газа и шлака;
- в вакууме. Расплавленный металл изолирован от окружающей среды вакуумом, который создается в камере, где осуществляется сварка.

Еще одним признаком классификации, который чаще всего используется применительно к дуговой сварке, является степень механизации процесса. В процессе сварки основными операциями являются подача электрода или проволоки в зону сварки и перемещение дуги вдоль свариваемых кромок. Если обе операции выполняются сварщиком вручную, сварка называется ручной; если механизирована подача проволоки, сварку называют механизированной (иногда полуавтоматической). Если механизированы обе операции – подача проволоки и перемещение дуги, сварку называют автоматической.

## **2 Лабораторная работа № 2. Ручная дуговая сварка**

**Цель работы:** ознакомиться с оборудованием и материалами для РДС; получить сварное соединение стальных заготовок.

### ***Оборудование и материалы***

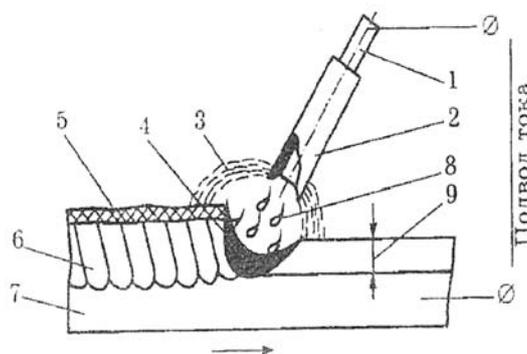
- 1 Сварочный аппарат ручной дуговой сварки KemppiMinarc™ 220.
- 2 Electrodes марок ОЭС-4 и УОНИИ-13/45 по 1 шт.
- 3 Пластины из углеродистой стали 2 шт.

### ***2.1 Общие сведения***

**2.1.1 Сущность способа.** Ручную дуговую сварку выполняют штучными электродами, которые сварщик подает к свариваемому изделию и перемещает в нужном направлении. При сварке по методу Бенардоса применяют угольные

или графитовые электроды диаметром 6...30 мм, длиной 200...300 мм. Для сварки по методу Славянова используют металлические электроды, имеющие диаметр 1,6...12 мм и длину 150...450 мм. Сварку в инертных газах осуществляют вольфрамовыми электродами диаметром 1...6 мм.

Для сварки сталей электроды изготавливают из стальной сварочной проволоки по ГОСТ 2246–70, которым предусмотрено 75 ее марок. Из них шесть изготавливают из низкоуглеродистой, 30 из легированной и 39 из высоколегированной сталей. Все они имеют ограниченное содержание углерода, серы и фосфора. Дуговая сварка стержнями из стальной проволоки (голыми электродами) не применяется из-за плохой устойчивости дуги. Для повышения устойчивости горения дуги на электродные стержни наносят так называемые тонкие, или стабилизирующие, покрытия. В их состав входят соединения щелочных (калия, натрия) или щелочно-земельных (кальция) металлов, которые в дуге легче ионизируются, чем кислород и азот воздуха, и этим улучшают устойчивость горения дуги. Однако электроды с тонкими покрытиями не обеспечивают высоких механических свойств металла шва, который сильно насыщается азотом и кислородом воздуха. Для защиты расплавленного металла от взаимодействия с воздухом на электродные стержни наносят толстые, или качественные, покрытия (рисунок 2.1).



1 – электродный стержень; 2 – покрытие электрода; 3 – газовая атмосфера дуги; 4 – сварочная ванна; 5 – затвердевший шлак; 6 – закристаллизовавшийся металл шва; 7 – свариваемое изделие; 8 – капли расплавленного электродного металла; 9 – глубина проплавления

Рисунок 2.1 – Схема ручной дуговой сварки

Их составляющими, кроме стабилизирующих и клеящих (жидкое стекло), являются шлако- и газообразующие вещества и раскислители. Для получения наплавленного металла специального состава и свойств в них вводят также различные легирующие элементы.

Шлакообразующими веществами являются оксиды  $TiO_2$ ,  $SiO_2$ ,  $MnO$ , карбонаты  $CaCO_2$ ,  $MgCO_3$  и другие соединения  $CaF_2$ , вносимые в покрытия в виде минералов (кремнезема, мрамора) и руд (титановой, марганцевой). При плавлении покрытия они образуют шлаки, которые покрывают капли электродного

металла и металл шва и этим защищают расплавленный металл от азота и кислорода воздуха. После остывания металла шва и шлака шлаковая корка легко удаляется с поверхности шва.

В качестве газообразующих веществ используют различные органические соединения, например, электродную целлюлозу, древесную муку и пр. При их сгорании вокруг дуги образуются защитные газы в виде оксидов углерода, водорода и пр., которые предохраняют расплавленный металл от взаимодействия с воздухом.

Для раскисления применяют элементы, которые обладают большим сродством с кислородом, чем железо (марганец, титан, кремний, алюминий). Находясь в сварочной ванне, они отбирают кислород от оксидов железа, образуя нерастворимые в железе оксиды соответствующих элементов, которые затем всплывают в шлак.

Легирующими элементами являются хром, молибден, ванадий и др.

В покрытия их вводят, если электроды предназначены для сварки легированных сталей, получения износостойких наплавов и пр.

Для изготовления покрытых электродов все кусковые материалы шихты покрытия дробят, размалывают, просеивают и смешивают с жидким стеклом. Полученную массу наносят на электродные стержни. Затем электроды просушивают и прокаливают.

По назначению выделяют четыре группы покрытых электродов для сварки сталей: углеродистые (У), легированные (Л), теплоустойчивые (Т) и высоколегированные (В). Пятую группу составляют электроды для наплавки, для создания поверхностных слоев с особыми свойствами (Н). В зависимости от механических и других свойств наплавленного металла эти группы электродов подразделяются на типы. Каждому типу может соответствовать одна или несколько марок электродов.

В условное обозначение электродов входит тип и марка. Для сварки углеродистых и легированных конструкционных сталей тип электрода характеризует механические свойства металла шва сварного соединения. Например, Э42. Буква «Э» обозначает электрод для дуговой сварки, а цифры – минимально гарантируемый предел прочности металла шва.

В соответствии с ГОСТ 946–65 марка электрода присваивается организацией-разработчиком по техническим условиям и паспортам, например, УОН-НИ-13/45, ЦД-20, ОЗН-300У и др. Каждому типу электродов могут соответствовать одна или несколько марок. Структура условного обозначения электродов достаточно сложна. В нее, кроме типа и марки, входят обозначения назначения электродов, обозначение толщины и вида покрытия, характеристика наплавленного металла и металла шва, род применяемого тока при сварке, полярность, допустимые пространственные положения при сварке и др. с указанием соответствующих ГОСТов.

*2.1.2 Выбор силы тока сварки и электродов.* При ручной дуговой сварке необходимо правильно отрегулировать значение сварочного тока, чтобы обес-

печить надлежащее плавление материала наполнителя и покрытия для эффективной сварки. В таблице 2.1 приведены размеры электродов, используемых со сварочным аппаратом Minarc 220, соответствующие значения тока и его техническая характеристика.

Таблица 2.1 – Соответствие электродов силе тока

Показатель	Значение					
	1,6	2,0	2,5	3,25	4,0	5,0
Диаметр электрода, мм						
Fe-Rutile, А	30...60	40...80	50...110	80...150	120...210	170...220
Fe-Basic, А	30...55	50...80	80...110	110...150	140...200	200...220

## **2.2 Порядок выполнения работы**

- 1 Ознакомиться с сущностью процесса РДС.
- 2 Ознакомиться с оборудованием и материалами для РДС.
- 3 Получить сварное соединение стальных заготовок.

## **2.3 Содержание отчета**

- 1 Цель работы.
- 2 Сущность процесса РДС.
- 3 Назначение тонкого и толстого покрытия на электродах для РДС.

## **Контрольные вопросы**

- 1 Почему не производят ручную дуговую сварку проволокой без специального покрытия?
- 2 Состав и назначение покрытия электродов.
- 3 Состав и назначение газообразующих элементов в покрытии.
- 4 Состав и назначение шлакообразующих элементов в покрытии.

## **3 Лабораторная работа № 3. Дуговая сварка в защитном газе**

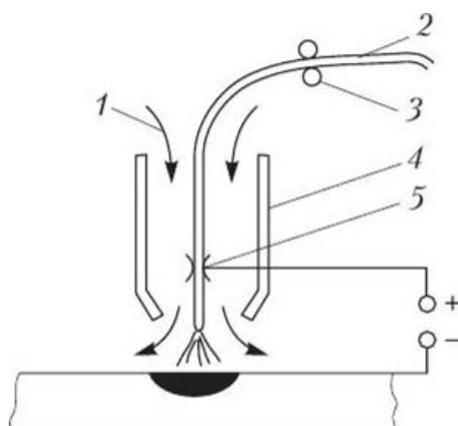
**Цель работы:** ознакомиться с технологией полуавтоматической сварки в среде углекислого газа, а также с устройством сварочного полуавтомата KemractMIG 2530.

### **Оборудование и материалы**

- 1 Сварочный полуавтомат KemractMIG 2530.
- 2 Проволока сварочная Св-08Г2С (0,7...1,2 мм).
- 3 Пластины из стали.

### 3.1 Общие сведения

3.1.1 *Сварка в углекислом газе.* Сварка в  $\text{CO}_2$  является основным и наиболее распространенным способом сварки плавлением на машиностроительных предприятиях. Она экономична, обеспечивает достаточно высокое качество швов, особенно при сварке низкоуглеродистых сталей, требует более низкой квалификации сварщика, чем ручная, позволяет выполнять швы в различных пространственных положениях. Наиболее распространена сварка полуавтоматами. Схема процесса приведена на рисунке 3.1. Защитный газ 2, выходя из сопла 1, вытесняет воздух из зоны сварки. Сварочная проволока 3 подается вниз роликами 4, которые вращаются двигателем подающего механизма. Подвод сварочного тока к проволоке осуществляется через скользящий контакт 5.



1 – подача защитного газа; 2 – сварочная проволока; 3 – подающие ролики; 4 – сопло сварочной горелки; 5 – скользящий токоподвод

Рисунок 3.1 – Схема процесса сварки в защитных газах плавящимся электродом

Учитывая, что защитный газ активный и может вступать во взаимодействие с расплавленным металлом, сварка в  $\text{CO}_2$  имеет ряд особенностей.

В зоне дуги углекислый газ диссоциирует:



Углекислый газ и образовавшийся кислород взаимодействуют с расплавленным металлом сварочной ванны с образованием оксида железа:



Окисление сварочной ванны ухудшает механические свойства шва и в первую очередь его пластичность. Для предотвращения этого процесса в сварочную ванну вводят элементы-раскислители, хорошо взаимодействующие с кислородом. Обычно это марганец и кремний. Раскислители выводят в шлак

избыток кислорода и на участках сварочной ванны, имеющих пониженную температуру, восстанавливают железо из оксидов:



Введение раскислителей в сварочную ванну обычно осуществляется через проволоку. Поэтому при сварке в  $\text{CO}_2$  используется сварочная проволока, легированная марганцем и кремнием. При сварке низкоуглеродистых сталей это обычно проволока марки Св-08Г2С, содержащая 0,08 % С, 2 % Мп и 1 % Si.

Однако, несмотря на введение раскислителей, характеристики пластичности шва получаются несколько ниже, чем при сварке под флюсом или ручной сварке электродами с основным покрытием. Поэтому сварку в  $\text{CO}_2$  не рекомендуют использовать для ответственных конструкций, работающих при низких температурах в условиях переменных и ударных нагрузок.

*3.1.2 Технология полуавтоматической сварки.* Сварку разрешается выполнять очищенной проволокой без следов масла, загрязнений и ржавчины. Для сварки ответственных соединений рекомендуется принять «осушенную» или «сварочную» углекислоту. Допускается использование для сварки «пищевой» углекислоты, но поскольку она содержит повышенное количество влаги, обязательна установка осушителя. Иначе диссоциация паров воды в дуге и образование атомарного водорода приведет к его растворению в расплавленном металле и формированию пор в шве в процессе кристаллизации сварочной ванны.

При недостаточном расходе  $\text{CO}_2$  в зону сварки проникает воздух. В результате в сварочную ванну попадает азот, что вызывает не только образование пор, но увеличивает твердость и хрупкость металла шва. Аналогичная ситуация может возникнуть при сварке на сквозняках или на ветру.

Сварка в углекислом газе выполняется при значительно больших плотностях тока (более 100 А/мм<sup>2</sup>), чем при сварке покрытыми электродами ( $i \approx 10...12$  А/мм<sup>2</sup>). Сварка ведется в жесткой и частично в возрастающей зонах вольт-амперной характеристики дуги. Это обеспечивает в совокупности с дополнительными технологическими мероприятиями переход на мелкокапельный и даже струйный перенос металла. В результате улучшается качество сварного шва и уменьшается разбрызгивание.

Условия формирования шва существенно зависят от режима сварки. Так, повышение напряжения на дуге (например, при увеличении длины дуги) приводит к увеличению времени контакта капли расплавленного металла с газом и увеличению степени выгорания раскислителей.

Одновременно с этим уменьшается значение коэффициентов плавления и наплавки вследствие увеличения потерь тепла на излучение в окружающее пространство, а также потерь металла на разбрызгивание и угар.

**3.1.3 Сварка в инертных газах.** Наиболее распространенным инертным газом, используемым при сварке для защиты расплавленного металла, является аргон (Ar), который почти не вступает в химические взаимодействия с расплавленным металлом и другими газами в зоне горения дуги. Будучи на 38 % тяжелее воздуха, он вытесняет его из зоны сварки и надежно изолирует сварочную ванну от контакта с атмосферой.

Для сварки используются две схемы процесса: сварка плавящимся и неплавящимся электродами. Схема процесса сварки плавящимся электродом практически не отличается от схемы процесса сварки в  $\text{CO}_2$ .

Сварка в Ar плавящимся электродом используется при сварке нержавеющей сталей и алюминия. Однако объем ее применения относительно невелик. Больше распространение при сварке в Ar получила схема сварки неплавящимся электродом (рисунок 3.2).

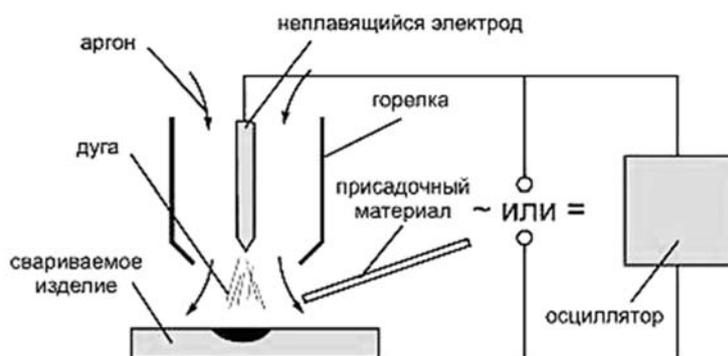


Рисунок 3.2 – Схема процесса сварки в защитных газах неплавящимся электродом

Дуга горит между изделием и электродом, изготовленным из материала, имеющего высокую температуру плавления (обычно из вольфрама). Электрод расположен в горелке, через сопло которой вдувается защитный газ (аргон). Присадочный материал подается в зону дуги со стороны и в электрическую цепь не включен.

Сварка может быть ручной, когда горелка и присадочный пруток находятся в руках сварщика, и автоматической, когда горелка и присадочная проволока перемещаются без непосредственного участия сварщика.

При этом способе сварки зажигание дуги, в отличие от сварки плавящимся электродом, не может быть выполнено путем касания электродом изделия по двум причинам. Во-первых, аргон обладает достаточно высоким потенциалом ионизации, поэтому ионизировать дуговой промежуток за счет искры между изделием и электродом достаточно сложно. Во-вторых, касание изделия вольфрамовым электродом приводит к его загрязнению и интенсивному оплавлению. Поэтому при сварке неплавящимся электродом для зажигания дуги параллельно источнику питания подключается устройство, которое называется осциллятор.

### **3.2 Порядок выполнения работы**

- 1 Ознакомиться с технологическими особенностями сварки в среде CO<sub>2</sub>.
- 2 Изучить состав сварочного поста, устройство, назначение и принцип работы основных его узлов.
- 3 Произвести сварку встык двух пластин или наплавку металла на пластину.
- 4 Составить отчет.

### **3.3 Содержание отчета**

- 1 Цель работы.
- 2 Принципиальная схема сварки в CO<sub>2</sub>.
- 3 Принципиальная схема сварки в Ar.
- 4 Технология сварки в CO<sub>2</sub>.

### **Контрольные вопросы**

- 1 В чем сущность сварки в защитных газах?
- 2 В чем особенность сварки в CO<sub>2</sub>?
- 3 Марка и состав сварочной проволоки для сварки низкоуглеродистых сталей.
- 4 Назначение легирующих элементов в составе сварочной проволоки Св-08Г2С.

## **4 Лабораторная работа № 4. Сварка давлением**

**Цель работы:** ознакомиться с технологией контактной сварки давлением и устройством сварочной машины МТР 16073 .

### **Оборудование и материалы**

- 1 Машина точечной сварки МТР 16073.
- 2 Листовая заготовка.

### **4.1 Общие сведения**

К основным способам электроконтактной сварки давлением относят: стыковую, точечную, роликовую. Также к сварке давлением относят такие способы, как сварку трением, ультразвуковую сварку, диффузионную сварку, сварку взрывом.

Электроконтактная сварка – это процесс образования неразъемного соединения металлов путем их нагрева, проходящим электрическим током и пластической деформации зоны соединения за счет усилия сжатия.

Сила сварочного тока при контактной сварке достигает десятков и даже сотен тысяч ампер. Такие токи получают в понижающих однофазных сварочных трансформаторах, имеющих во вторичной обмотке чаще всего один виток.

Сопротивление места сварки зависит от чистоты и состояния поверхности свариваемого материала, сопротивления самого материала, величины давления, прикладываемого к свариваемым изделиям, и от других факторов. Наибольшее сопротивление имеет место контакта свариваемых изделий, где и выделяется наибольшее количество тепла. Время сварки в зависимости от толщины и рода свариваемого материала изменяется от сотых и даже тысячных долей секунды до нескольких минут. Когда детали нагреваются до пластического состояния или до оплавления, к ним прикладывается усилие осадки и детали свариваются.

**Стыковая сварка.** При стыковой сварке (рисунок 4.1) свариваемые детали *1* (стержни, полосы, рельсы, трубы) закрепляют в медных зажимах машины. Зажим *2п* установлен на подвижной плите, а зажим *2* – на неподвижной. Для регулирования мощности и изменения силы сварочного тока в трансформаторе *3* есть переключатель ступеней *4*. Перемещение подвижной плиты и сжатие свариваемых изделий силой *P* осуществляется механизмом сжатия. Основные виды стыковой сварки – сварка методом сопротивления и оплавления. В первом случае детали сводят в соприкосновение и пропускают сварочный ток, а во втором – свариваемые изделия несколько раз сводят в соприкосновение и разводят, что сопровождается оплавлением торцов и разбрызгиванием металла. Сваркой сопротивлением применяют для соединения изделий сечением до 300 мм<sup>2</sup>, сварку оплавлением – при большем сечении.

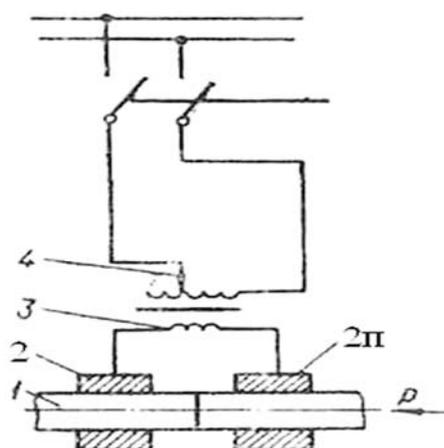


Рисунок 4.1 – Схема стыковой сварки давлением

Сварку непрерывным оплавлением выполняют на машинах с непрерывной подачей деталей только в сторону их сближения. Соприкосновение происходит по выступающим микронеровностям, где возникают большие плотности тока, и металл в этих местах быстро нагревается до расплавленного состояния. Ко-

гда вся поверхность свариваемых торцов оплавится, к изделиям прикладывают усилия осадки и выключают ток. Детали соединяются в одно целое.

Сваркой оплавлением соединяют рельсы, магистральные газо- и нефтепроводы части режущего инструмента и пр.

**Контактную точечную сварку** применяют для соединения листовых конструкций (рисунок 4.2), в которых необходимо обеспечить нужную прочность, а обеспечение герметичности не является обязательным. Суммарная толщина листов обычно не превышает 10...12 мм.

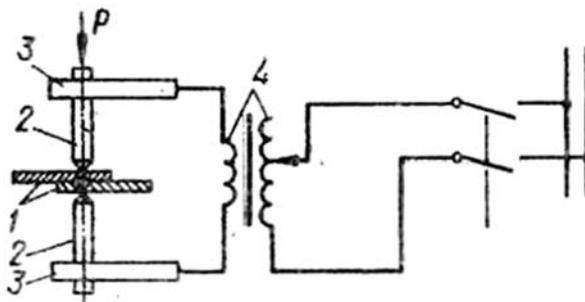


Рисунок 4.2 – Схема точечной сварки давлением

При точечной сварке сложенные внахлестку детали *1* зажимают с некоторым усилием между медными электродами *2*, к которым через электрододержатели *3* подводится ток от сварочного трансформатора *4*. Нижний электрод устанавливают неподвижно, а верхний вместе с электрододержателем перемещается с помощью механизма сжатия, который создает между электродами необходимое давление *P*. Зажав изделие, включают трансформатор, и место контакта между изделиями нагревается до образования ядра из расплавленного металла. Последующим приложением усилия осадки осуществляется сварка металлов, которая заканчивается снятием давления и выключением тока. На точечных машинах сваривают углеродистые, легированные, высоколегированные стали и цветные металлы.

**Рельефная сварка** – это контактная сварка, при которой сила и ток локализуются на выступе или выступах, расположенных на одной или нескольких сопрягаемых поверхностях. При это поверхность контакта определяется формой рельефа их поверхности в месте соединения (рисунок 4.3).

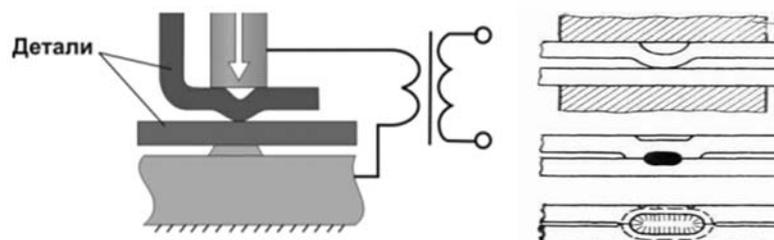


Рисунок 4.3 – Схема рельефной сварки

**Шовную, или роликовую сварку** применяют для получения прочных и плотных швов при изготовлении тонкостенных сосудов, предназначенных для хранения и транспортирования жидкостей, газов и других продуктов, а также в производстве тонкостенных труб.

При шовной сварке листы *1* толщиной 0,3...3 мм собирают внахлестку и затем зажимают усилием *P* между двумя медными роликами *2*, к которым подводят электрический ток от сварочного трансформатора *3* (рисунок 4.4). Одному или обоим роликам сообщает принудительное вращение специальный привод. При включении тока и одновременном вращении роликов происходит перемещение и нагрев до расплавления контактных поверхностей свариваемых изделий, которые под действием сжимающих усилий свариваются.

Различают два основных способа шовной сварки: непрерывную и прерывистую.

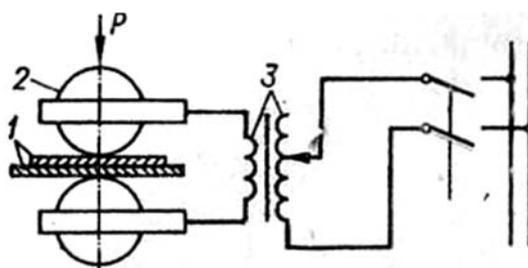


Рисунок 4.4 – Схема роликовой сварки давлением

## 4.2 Порядок выполнения работы

- 1 Ознакомиться с технологическими особенностями сварки давлением.
- 2 Изучить устройство, назначение и принцип работы сварочной машины.
- 3 Произвести сварку двух листовых заготовок.
- 4 Составить отчет.

## 4.3 Содержание отчета

- 1 Цель работы.
- 2 Сущность и принципиальные схемы основных видов сварки давлением.
- 3 Выводы по работе.

## Контрольные вопросы

- 1 В чем сущность способов сварки давлением?
- 2 В чем особенность точечной и рельефной сварки?
- 3 Достоинства и недостатки сварки давлением.
- 4 В чем особенность конструкции токоподводящих частей машины и электродов для точечной сварки давлением?
- 5 Какие параметры необходимо учитывать при выборе величины сварочного тока?

## **5 Лабораторная работа № 5. Сварка полимерных материалов (пластмасс)**

**Цель работы:** ознакомиться с основными способами и особенностями сварки полимерных материалов, а также устройством и принципом действия оборудования, применяемого для выполнения сварных соединений.

### **Оборудование и материалы**

- 1 Промышленный фен.
- 2 Прибор для сварки полимерных труб в раструб.
- 3 Труба полипропиленовая.
- 4 Полипропилен листовой.
- 5 Присадочный материал в виде прутка.
- 6 Секундомер.
- 7 Перчатки кожаные.

### **5.1 Общее положение**

Свариваемость пластмасс характеризуется их способностью переходить в пластическое состояние при нагреве. Однако это способность у всех пластмасс различна. В зависимости от поведения полимера при нагреве, все пластмассы подразделяются на две большие группы: термореактивные и термопластичные.

В термореактивных пластмассах связь между мономерами или их цепями приводит к возникновению пространственной решетки, т. е. к образованию пространственно-сетчатых молекул. Такие молекулы в свою очередь образуют полимерные сетки с прочными связями звеньев, перемещение которых ограничено. В связи с этим данная группа пластмасс не подвергается сварке.

Термопластичные полимеры характеризуются нитеобразным соединением мономеров в молекуле. В данном случае молекулы могут разветвляться и переплетаться между собой. При этом они могут образовывать упорядоченную структуру полимера – кристаллическую фазу, или неупорядоченную – аморфную фазу.

При комнатной температуре энергия молекул не достаточна для преодоления действия сил молекулярного притяжения и подвижность их как бы «заморожена», т. е. пластмасса находится в твердо-хрупком состоянии. С повышением температуры колебания молекул усиливаются, и полимер переходит в твердо-вязкое состояние. При дальнейшем нагреве, при достижении определенной температуры, значение которой зависит от вида свариваемого полимера, энергия молекул становится достаточной для преодоления сил межмолекулярного взаимодействия и взаимное положение молекул изменяется – материал переходит в высокоэластическое, а затем в пластическое состояние. Как правило, полимеры из твердого состояния в пластическое переходят постепенно, по-

этому используется понятие *области температур размягчения*. Для большинства материалов данная область лежит в достаточно узком температурном интервале, отклонение от которого может привести к значительному снижению механических свойств образуемого соединения. Одной из важнейших причин является низкая температура разложения термопластов. Это температура, при которой молекулы расщепляются на более мелкие, в результате чего могут вступать в реакции между собой и элементами окружающей среды, например, с водой, кислородом. В итоге образуются новые химические соединения, при этом пластмасса утрачивает первоначальные свойства. Температуры текучести и разложения некоторых термопластов приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Температурный интервал вязкотекучести и деструкции некоторых термопластов

Материал	Температура текучести $T_m, ^\circ\text{C}$	Температура деструкции $T_d, ^\circ\text{C}$
Полиэтилен (ПНД)	130...135	230
Полипропилен (ПП)	175...180	250
Поливинилхлорид (ПВХ)	180...200	140
Полиэтилентерефталат (ПЭТ)	250...260	350
Полистирол (ПС)	150...160	220...230
Полиметилметакрилат (ПММА)	175...180	170...180
Фторлон 4М (Ф)	285...300	350

Чувствительность пластмасс к данному процессу не обусловлена строго определенной температурой, и степень деструкции ее во многом зависит от продолжительности нагрева. Пластмасса выдерживает кратковременное воздействие температуры, однако продолжительный нагрев приводит к ее разложению.

Для предотвращения процессов разложения и окисления необходимо соблюдать некоторые требования: обеспечивать стабильный нагрев, что улучшает свариваемость и качество швов; при сварке полимеров, отличающихся высокой чувствительностью к окислению, необходимо в качестве газов применять не воздух, а, к примеру, азот или углекислый газ; сварку необходимо выполнять в течение минимального времени, особенно в тех случаях, когда в качестве теплоносителя используется воздух.

Сварке подвергают детали и изделия из поливинилхлорида, полиэтилена, полипропилена, полиметилметакрилата, полиамида, полиизобутилена, поликарбоната и т. д.

Наиболее часто используются такие способы сварки пластмасс, как *сварка нагретым газом* и *сварка нагретым инструментом*.

## 5.2 Технология сварки пластмасс нагретым газом

Для получения сварного соединения данным способом свариваемые изделия одновременно разогревают струей горячего газа-теплоносителя, нагреваемого в специальном устройстве. Сварка выполняется с применением присадочного материала и без него, вручную или с использованием специальных приспособлений для механизации процесса. В качестве присадочного материала в большинстве случаев применяются прутки, изготовленные из того же материала, что и свариваемое изделие. При сварке по классической схеме нагревательный прибор располагается в пространстве между свариваемыми кромками и присадочным материалом (рисунок 5.1). Присадочный материал прижимается и удерживается рукой.

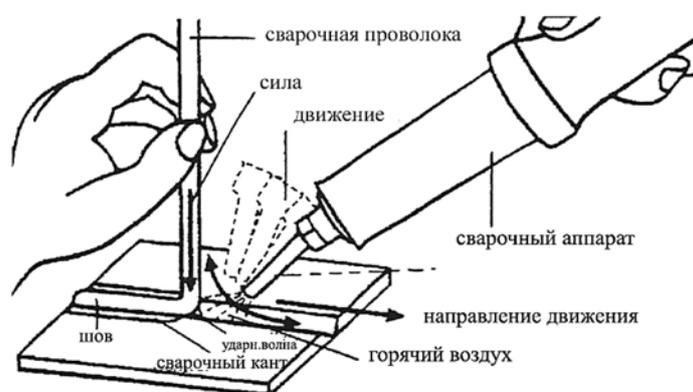


Рисунок 5.1 – Процесс сварки пластмасс нагретым газом

Стыковые швы без разделки кромок выполняют в основном при сварке листов или труб толщиной менее 4 мм. Между деталями необходим зазор 1...1,5 мм для лучшего заполнения сварного шва присадочным материалом, т. е. для лучшего провара по всей высоте шва. Сварку листов толщиной до 2 мм следует производить без зазора.

Температура газа на выходе из сопла горелки обычно на 50 °С...100 °С выше температуры вязко текучего состояния свариваемых термопластов. Расстояние между изделием и соплом горелки следует поддерживать постоянным и равным 5...8 мм. Расход нагретого газа устанавливают обычно в интервале 1...3,5 м<sup>3</sup>/ч. Малые расходы снижают производительность и приводят к непроварам.

Положение сварочного прутка и сопла горелки по отношению к поверхности шва существенно влияет на получение плотного и ровного шва с достаточной прочностью.

Под прямым углом (рисунок 5.2, а) прутки держат при сварке непластифицированного поливинилхлорида, полиметилметакрилата, полиэтилена высокой плотности и др. При угле наклона присадочного прутка больше 90° (рисунок 5.2, б) сваривают поливинилхлорид и полипропилен. При сварке полиэти-

лена низкой плотности, пластифицированного поливинилхлорида и полиизобутилена пруток наклоняют под углом  $45^\circ \dots 50^\circ$  (рисунок 5.2, в).

Перед сваркой пруток нагревают, отгибают под прямым углом и охлаждают на воздухе. Перед началом сварки пруток устанавливают на расстоянии  $10 \dots 15$  мм от начала шва (рисунок 5.2, г). При смене прутка отогнутую часть нового прутка укладывают на конец прерванного шва с перекрытием  $10$  мм (рисунок 5.2, д).

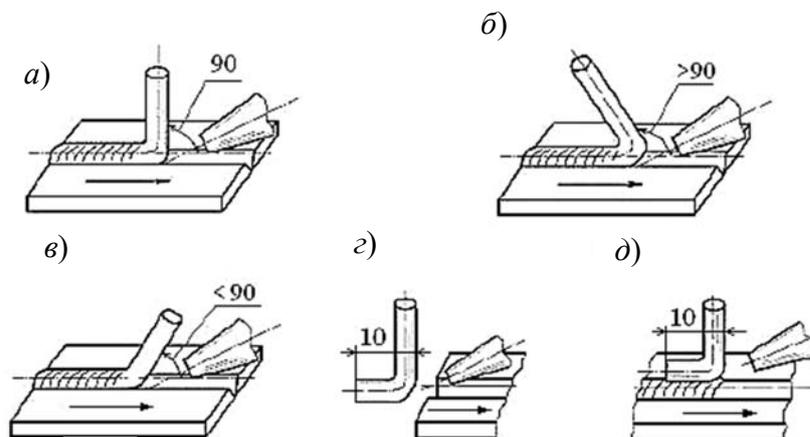


Рисунок 5.2 – Положение присадочного прутка и горелки при сварке

Скорость сварки зависит от толщины и типа свариваемого материала, температуры нагрева присадочного и основного материалов и составляет  $4 \dots 15$  м/ч. Для увеличения производительности процесса целесообразно применять предварительный подогрев присадочного и основного материалов.

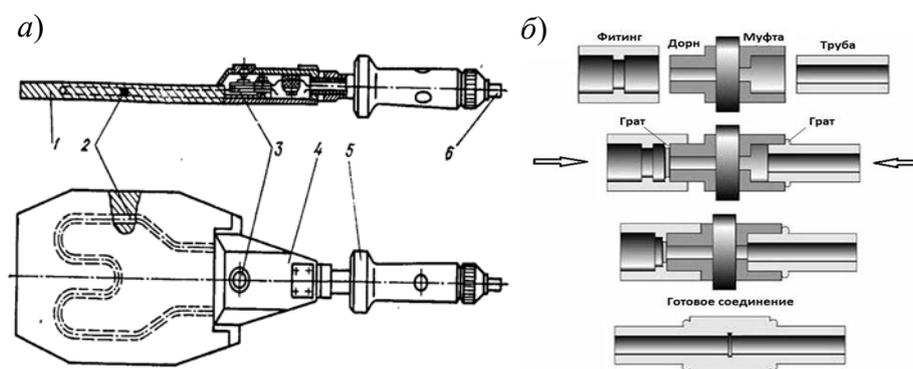
Материал толщиной  $1 \dots 2$  мм сваривают за один проход. При толщине более  $2$  мм швы накладывают последовательно.

### 5.3 Технология сварки нагретым инструментом

Сварка нагретым инструментом основана на оплавлении свариваемых поверхностей путем их прямого соприкосновения с нагреваемым инструментом (рисунок 5.3, а). После нагрева свариваемых поверхностей инструмент удаляется из зоны шва. Данным способом выполняют стыковую сварку деталей, сварку в раструб, сварку нахлесточных соединений (сварка тонкостенных изделий и пленок) и др.

При стыковой и раструбной сварке после оплавления свариваемых поверхностей изделия разводятся, инструмент убирается, а оплавленные поверхности соединяются под небольшим давлением.

При раструбной сварке соединяются внутренняя поверхность раструба и наружная поверхность трубы, а нагревательный инструмент имеет два рабочих элемента: *гильзу* для оплавления наружной поверхности конца трубы и *дорн* для оплавления внутренней поверхности раструбы (рисунок 5.3, б).



1 – нагревательная плита; 2 – нагревательный элемент; 3 – терморегулятор; 4 – корпус; 5 – рукоятка, 6 – кабель питания

Рисунок 5.3 – Инструмент для сварки полимерных труб в раструб (а) и процесс получения сварного соединения (б)

Внешний диаметр трубы чуть больше номинального диаметра, а внутренний диаметр фитинга чуть меньше номинального диаметра трубопровода. Например, труба диаметром 20 мм на самом деле имеет внешний диаметр 20,3...20,5 мм, а фитинг для трубопровода диаметром 20 мм имеет внутренний диаметр 19,5...19,7 мм. При этом диаметры рабочих поверхностей муфт и дорнов в их средней части (рабочие поверхности конические, конусность около  $0,5^\circ$ ) соответствуют номинальному диаметру.

В процессе совмещения трубы с нагретой муфтой внешний слой трубы оплавляется и выдавливается наружу в форме валика (грата), а внутренние слои прогреваются достаточно, чтобы упруго сжаться и позволить трубе войти в нагретую муфту.

*Технология сварки полипропиленовых труб в раструб.*

Процесс включает следующие операции: резка трубы, подготовка деталей к сварке, монтаж и вывод на рабочий режим сварочного аппарата, установка деталей на прогрев, сборка соединения и его охлаждение.

Без больших усилий совместить трубу и фитинг вручную с нагретым инструментом, а затем совместить трубу с фитингом в соединение удастся только при сварке трубопроводов небольших диаметров – до 40...50 мм. Для сварки труб диаметром больше 50 мм, как правило, используют специальные центрирующие устройства для раструбной сварки.

Перед началом работ прибор для сварки полипропиленовых труб необходимо надежно закрепить в кронштейне или на станине, так как во время установки на прогрев к деталям прилагаются определенные усилия, передающиеся на прибор.

После установки аппарата выставляется необходимое значение температуры нагрева, и прибор включается в сеть. Температура инструмента для сварки полипропиленовых труб в раструб должна составлять  $(260 \pm 10)^\circ\text{C}$ . Это значительно превышает температуру вязкотекучести полипропилена и делается с той целью, чтобы быстро оплавить поверхностный слой трубы и фитинга и снять детали, не допуская прогрева их стенки на всю толщину, поскольку в

этом случае труба и фитинг потеряют жесткость и их невозможно будет соединить.

*Установка деталей на прогрев.* После выхода аппарата на рабочий режим труба и фитинг одновременно устанавливаются для нагрева – труба вставляется в муфту, фитинг надевается на дорн. Если одновременная установка деталей невозможна, первым устанавливается фитинг, т. к. он массивнее. При этом прилагаемое усилие не должно быть излишним, надвигать детали нужно постепенно, следя за тем, чтобы образующийся грат был правильной формы.

Устанавливая детали, нужно контролировать глубину их установки, чтобы снять усилие, когда они упрутся в дно муфты и вершину дорна. В противном случае можно смять торец трубы и ограничитель фитинга.

После установки деталей в муфту и на дорн аппарата для сварки пластиковых труб нужно дать им время для оплавления поверхностей. Продолжительность нагрева – очень важный параметр. Она должна быть достаточной для того, чтобы поверхности нагрелись до состояния вязкотекучести, но не быть выше того значения, за которым детали начнут терять жесткость.

Общее время для получения соединения состоит из: времени на нагрев (зависит от типа материала и диаметра трубы); времени на переустановку (время на снятие разогретых деталей и их соединения); времени фиксации (время удержания соединения до частичного остывания). Это время используется для выравнивания соединения руками. По его истечении соединение теряет эластичность, изменять его форму уже невозможно; времени полного остывания.

Время нагрева отсчитывается с момента достижения деталями упоров. После того как оно закончится, трубу и фитинг с тем же умеренным усилием снимают с оправок.

Время, которое проходит с момента снятия деталей до момента их сборки, должно быть как можно меньше и в любом случае не превышать 4...6 с. В случае задержки произойдет охлаждение деталей и соединение получить будет невозможно.

#### **5.4 Порядок выполнения работы**

Определение оптимальной температуры газовой струи для сварки листового полипропилена.

1 Взять две прямоугольные пластины из листового полистирола и собрать их встык с зазором 2...3 мм.

2 Включить прибор и установить температуру струи 200 °С.

3 Наложить сварной шов длиной 20...30 мм, замерив с помощью секундомера затраченное время.

4 Увеличить температуру струи до 250 °С и наложить сварной шов аналогичной длины, замеряя затраченное время.

5 Повторить опыт при температуре струи 300 °С.

6 Результаты занести в отчет.

Определение оптимального времени нагрева заготовок при сварке полипропиленовых труб в раструб.

1 Установить на прибор гильзу и дорн для сварки труб диаметром 15 мм.

2 Включить прибор в розетку и подождать 5...7 мин для выхода его на рабочий режим.

3 Взять соединительную муфту и трубу из полпропилена и осадить их на инструменте. Выдержать свариваемые детали на инструменте 2 с.

4 Снять разогретые детали и соединить между собой, прилагая небольшое усилие.

5 Повторить проделанную операцию, увеличив время выдержки до 5 с, а затем до 15 с.

6 Оценить и описать качество свариваемых соединений. Проанализировать, какое время нагрева является оптимальным. Сделать соответствующий вывод.

### ***5.5 Содержание отчета***

1 Титульный лист.

2 Цель работы.

3 Результаты измерений и наблюдения.

4 Вывод по проделанной работе.

### ***Контрольные вопросы***

1 Какая группа пластмасс может подвергаться сварке?

2 В чем отличие сварки полимеров от сварки металлов?

3 Какие способы сварки полимеров получили широкое распространение? В чем их отличие друг от друга?

4 Почему при сварке пластмасс температура и время нагрева имеют важное значение?

## **6 Лабораторная работа № 6. Формообразование заготовок литьем в песчано-глинистые формы**

***Цель работы:*** ознакомиться с методикой разработки технологического процесса получения отливок при литье в песчано-глинистые формы.

### ***Оборудование***

1 Печь для плавки металла.

2 Формовочный инструмент.

3 Модель.

- 4 Формовочная смесь.
- 5 Опоки.
- 6 Шихта для выплавки металла.

### 6.1 Общие сведения

**Литейное производство** – отрасль машиностроения, занимающаяся изготовлением литых заготовок (*отливок*). Отливка получается в результате заполнения полости **литейной формы** расплавленным жидким металлом. После заливки жидкий металл, охлаждаясь в форме, затвердевает, образуя отливку.

Сущность литейного производства заключается в приготовлении расплава и заливки его в специально изготовленную литейную форму для получения качественной отливки. Технологическая схема изготовления отливки приведена на рисунке 6.1.

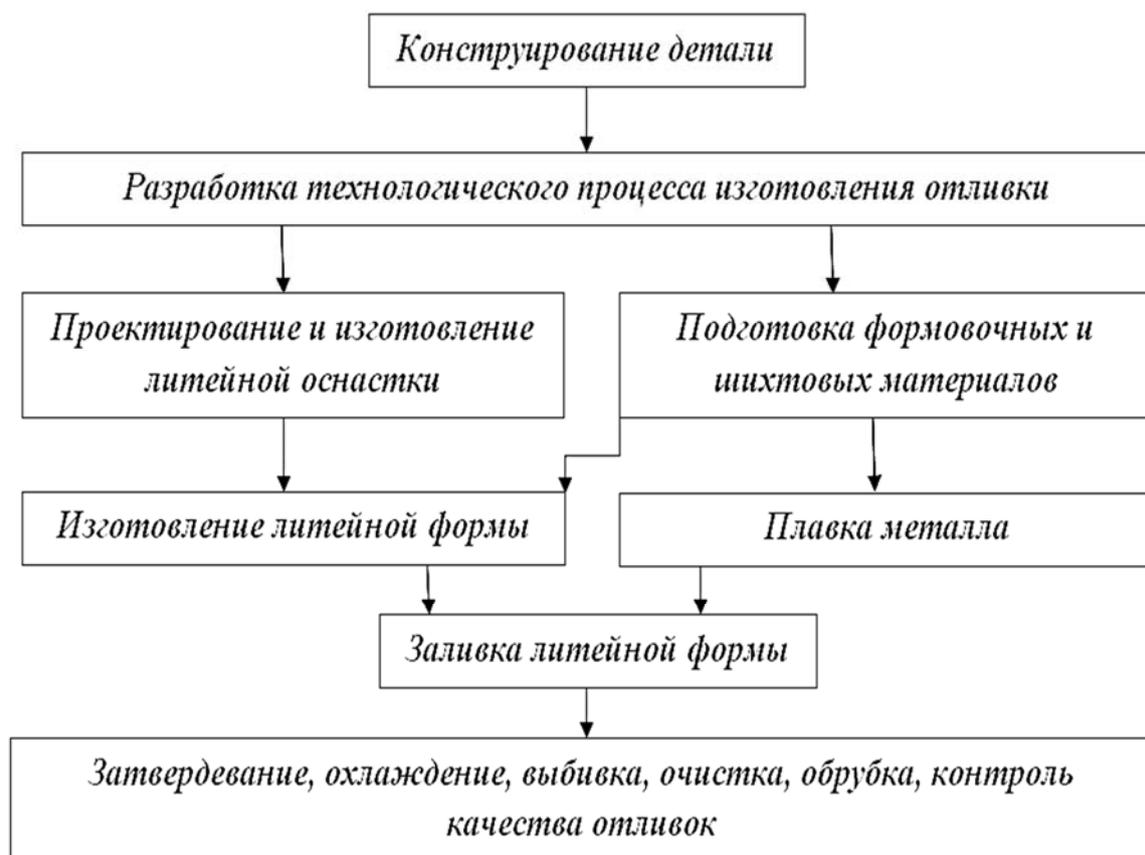


Рисунок 6.1 – Технологическая схема изготовления отливок

**Литейная форма** – это система элементов, образующих полость, при заливке которой расплавленным металлом и последующем его затвердевании формируется отливка. Форма обычно состоит из верхней и нижней полуформ, которые изготавливают при помощи модельного комплекта путем уплотнения формовочной смеси в опоках.

**Опока** – приспособление в виде стальной или чугунной рамки для удержания формовочной смеси.

**Формовочные материалы**– совокупность природных и искусственных материалов, используемых для приготовления формовочных и стержневых смесей. В качестве огнеупорной составляющей смеси используют формовочный кварцевый песок, а для соединения частиц песка между собой применяют формовочные глины, смолы и другие связующие.

**Формовка**– совокупность технологических операций изготовления литейных форм и стержней, способных выдерживать воздействие расплавленного металла и сообщать ему свои очертания в процессе заливки и затвердевания. Основными операциями формовки являются наполнение опоки формовочной смесью, уплотнение ее, извлечение модели и сборка формы.

**Модельный комплект**– это совокупность технологической оснастки и приспособлений, необходимых для образования в форме полости, соответствующей контурам отливки. В модельный комплект включают модели, модельные плиты, стержневые ящики, модели элементов литниковой системы и другие приспособления.

**Модель** – приспособление для получения в форме отпечатка, соответствующего конфигурации и размерам будущей отливки.

**Модельная плита**– металлическая плита с закрепленными на ней моделями и элементами литниковой системы.

**Стержень** – элемент литейной формы, предназначенный для получения в отливках крупных отверстий и полостей. Его изготавливают из стержневой смеси, уплотняемой в специальных *стержневых ящиках*. Рабочая полость стержневого ящика обеспечивает получение стержня нужного размера и очертания.

**Литниковая система**– это совокупность каналов, по которым расплав поступает из разливочного ковша в полость формы. Основными ее элементами являются:

– *литниковая чаша* – служит для приема расплавленного металла и подачи его в стояк;

– *стояк* – вертикальный канал для подачи металла из литниковой чаши в шлакоуловитель;

– *шлакоуловитель* – служит для удержания шлака и других неметаллических включений;

– *прибыль* – служит для питания отливки расплавом при ее затвердевании;

– *питатель* – служит для подвода расплавленного металла в полость литейной формы;

– *выпор* – служит для вывода газов, контроля заполнения формы расплавленным металлом.

## 6.2 Разработка технологического процесса получения отливок

Разработка технологии включает в себя следующие этапы.

1 Выбор и обоснование способа изготовления литейной формы.

2 Конструирование комплекта модельной оснастки (модельного комплекта), который включает в себя модели верха и низа, модель литниковой системы; комплекта стержневых ящиков, сушильных плит для стержней.

3 Разработка последовательности технологических операций формовки, сборки форм, заливки их металлом, очистки и обрубки отливок.

4 Разработка методов и способов контроля качества литой заготовки.

При конструировании модели сначала разрабатывают технологический чертёж отливки. На чертёж детали (рисунок 6.2, а), которая путем механической обработки будет получена из литой заготовки, наносят все технологические указания, необходимые при изготовлении модели.

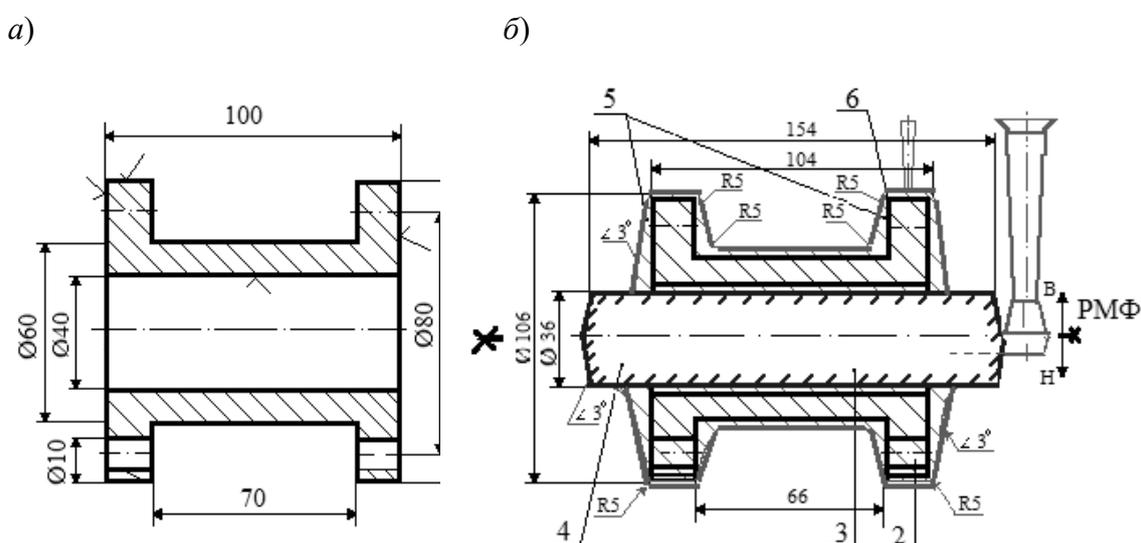


Рисунок 6.2 – Эскизы детали (а) и технологического чертежа отливки (б)

Все размеры детали увеличивают пропорционально величине усадки сплава, из которого будет изготовлена отливка. На поверхности, с которых будет сниматься слой металла при изготовлении детали, наносят припуски на механическую обработку (рисунок 6.2, б). На чертеже отливки припуск показывают тонкой красной линией со штриховкой по контуру детали, также указывается его величина. Величина припуска определяется по ГОСТ 26645–85 (таблицы А.1–А.5).

Для удобства формовки и извлечения модели из уплотненной формовочной смеси модели делают разъемными. Плоскость разъема, как правило, проходит через ось симметрии будущей модели, но обязательно так, чтобы ее части (верхняя и нижняя) беспрепятственно удалялись из полуформ. При этом учитывается необходимость расположения ответственных поверхностей отливки в нижней части формы или вертикально, т. к. вверху всегда при заливке формы металлом скапливаются шлак и газы.

Разъем модели обозначают знаками « х- », « -х » и буквами РМ, а разъем литейной формы – РФ. Если разъем модели и формы совпадает, то на чертеже его обозначают РМФ. Стрелочками указывается направление разъема. Верх и низ модели в форме обозначают соответственно В и Н.

Отверстия в заготовках диаметром менее 12 мм (см. рисунок 6.2, б, поз. 2) обычно получают сверлением, поэтому их тоже заштриховывают, как припуск на механическую обработку. Крупные отверстия в отливках получают с помощью стержней 3. Основное тело стержня повторяет конфигурацию полости отливки. Для точной фиксации стержня в форме используют стержневые знаки 4, выполняемые заодно с самим основным телом стержня. При горизонтальном положении стержня, имеющего форму тела вращения, знаки делают цилиндрическими, а при вертикальном – в виде усеченного конуса (рисунки В.1 и В.2). Модель и стержень имеют одинаковые по конструкции стержневые знаки. Форму и размеры знаковых частей назначают по ГОСТ 3606–85 (таблицы В.1–В.3) с учетом размеров стержня, способа формовки и его положения в форме. На чертеже стержень изображается синим цветом со штриховкой у контурных линий.

Для облегчения извлечения модели из уплотненной смеси на всех ее поверхностях, расположенных перпендикулярно по отношению к плоскости разъема РМ, наносят *формовочные или литейные уклоны* 5. Уклоны выполняют в направлении извлечения модели из формы. Их величина определяется по ГОСТ 3212–92 (таблица Б.1) и зависит от размеров и места расположения поверхности. В местах сопряжений поверхностей моделей вводят *радиусы скруглений (галтели)* 6. При наличии галтелей литейная форма в таких скругленных углах после извлечения модели не осыпается, а отливка не приобретает склонности к появлению трещин, т.к. устраняются концентраторы напряжений.

После нанесения на чертеж (см. рисунок 6.1, б) всех указаний приступают к изготовлению модели и стержневого ящика. Размеры модели и ее очертания (рисунок 6.3, а) соответствуют чертежу (см. рисунок 6.1, б).

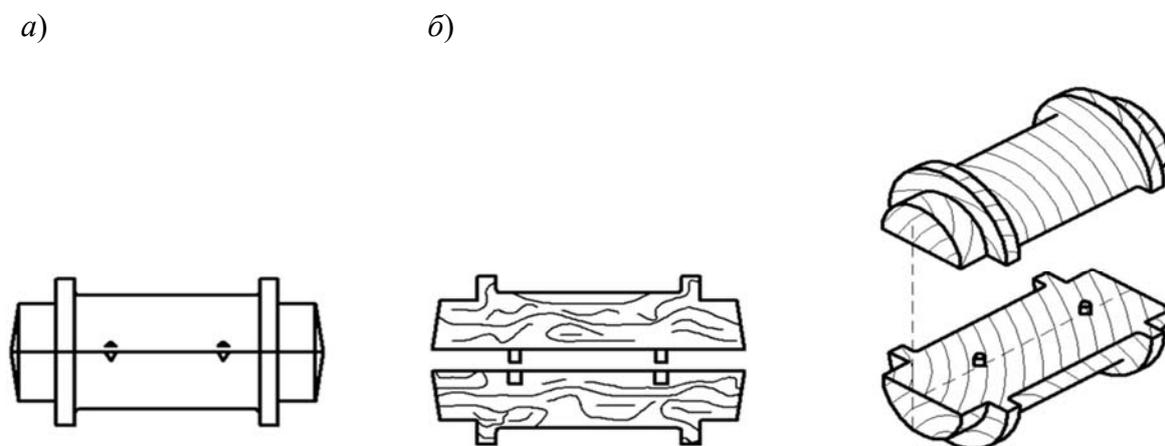


Рисунок 6.3 – Эскизы модели с поперечным сечением (а) и трехмерным изображением (б)

Для точного совмещения половинок моделей на одной из них имеются шипы, а на другой – впадины (рисунок 6.3, б).

Размеры и очертания рабочей полости стержневого ящика соответствуют размерам и очертаниям стержня со знаками (см. рисунок 6.2, б; поз. 3 и 4). Для удобства извлечения стержня ящик делают разъемным (рисунок 6.4).

В стержневом ящике изготавливают стержень путем уплотнения смеси в рабочей полости ящика. Затем для придания прочностистержень сушат, предварительно поместив его на специальную сушильную металлическую плиту – драйер.

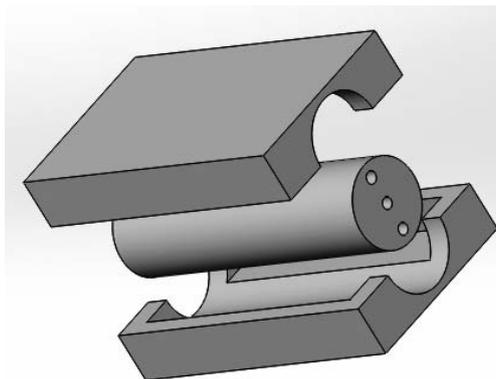


Рисунок 6.4 – Разъемный стержневой ящик

В разработку литейной технологии входят конструирование и расчет литниковой системы, которая служит для заполнения литейной формы металлом.

### **6.3 Последовательности технологических операций формовки и сборки формы**

Последовательность изготовления сырой песчано-глинистой формы в опоках ручным способом показана на рисунке 6.5. Вначале изготавливают нижнюю полуформу (см. рисунок 6.5, а). На подмодельную плиту укладывают модель низа 2, затем на эту же плиту устанавливают опоку 3. Модель располагают в опоке таким образом, чтобы оставалось место для размещения литниковой системы. К модели подводят модель элемента литниковой системы – питатель 4.

На предварительно протертую разделительным покрытием поверхность модели насыпают тонкий слой формовочной смеси, которую тщательно уплотняют на поверхности модели. Затем слои последовательно насыпают и уплотняют, пока уровень ее несколько не превысит край опоки 3.

Излишки уплотненной смеси линейкой срезают вровень с краем опоки. Нижнюю полуформу поворачивают на  $180^\circ$  (вверх плоскостью разъема модели) и на модель низа 2 устанавливают верхнюю полуформу 7, совмещая шипы и впадины 13 (см. рисунок 5.3, поз. б). На опоку 3 нижней полуформы устанавливают верхнюю опоку 8 и взаимно их фиксируют при помощи штырей 6, кото-

рые входят во втулки боковых проушин опок 5. Поверхность нижней полуформы посыпают тонким слоем разделительного песка для предотвращения соединения двух полуформ в процессе уплотнения смеси. На самую высокую поверхность модели устанавливают выпор 9, который обеспечит отвод газов из формы. Над моделью питателя 4 устанавливают модель шлакоуловителя 12 и стояка 11 с литниковой чашей 10. После этого формируют верхнюю полуформу, уплотняя формовочную смесь в опке 8. Затем из уплотненной смеси извлекают модель выпора 9 и стояка 11.

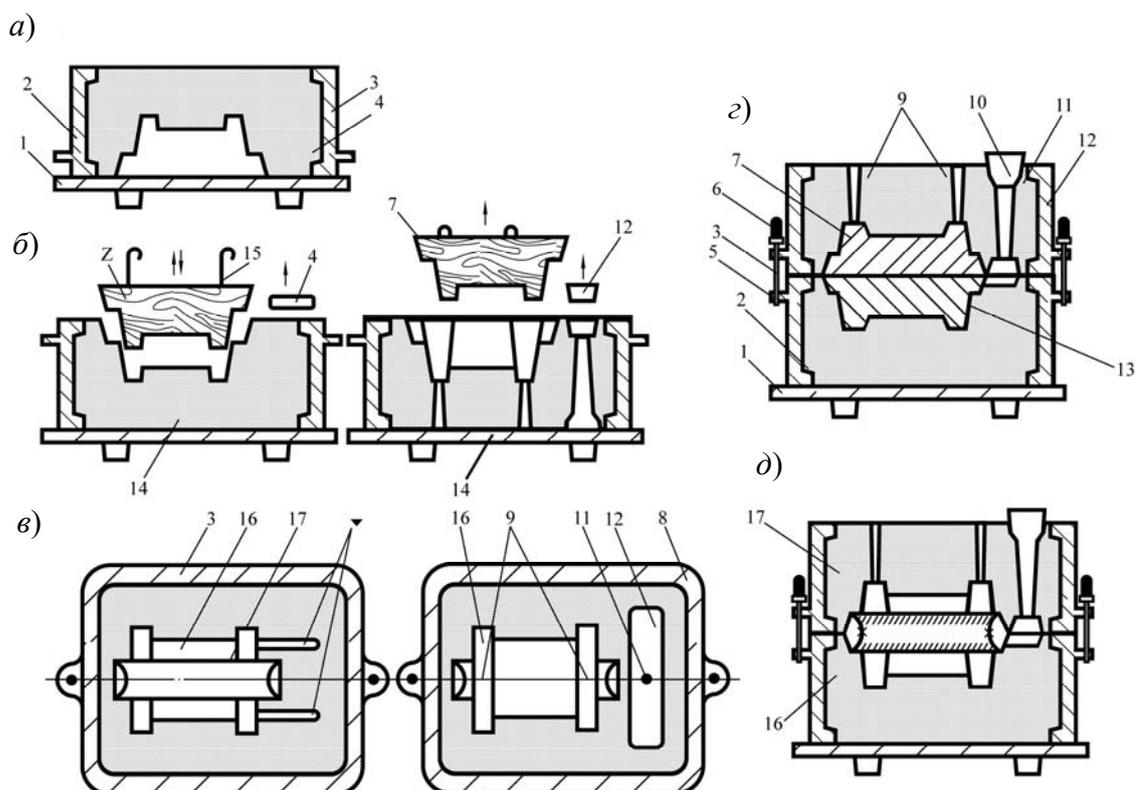


Рисунок 6.5 – Последовательность процесса изготовления сырой песчано-глинистой формы ручным способом

Для образования дополнительных газоотводящих каналов 14 полуформы многократно прокалывают иглообразной спицей. Верхнюю полуформу снимают с нижней и помещают рядом на щитке (позиция в). Из нижней и верхней полуформ с предварительной раскочкой удаляют полумодель и элементы литниковой системы при помощи крючков или шпилек 15. После извлечения моделей в знаковые части нижней полуформы помещают стержень 17, изготовленный ранее. Нижнюю полуформу накрывают верхней (позиция д). Таким образом, получается литейная форма, внутри которой имеется полость 16, по конфигурации соответствующая конфигурации модели, а внутри полости расположен стержень 17, образующий отверстие в отливке.

#### **6.4 Технология заливки, выбивка, обрубка и очистка литья**

Заливку форм расплавленным металлом производят из ковшей различных конструкций, футерованных огнеупорным материалом. Температура заливаемого металла зависит от рода сплава, толщины стенок отливки, их конфигурации и т. п. Заливку форм ведут непрерывно до полного заполнения литниковой чаши.

Выбивку отливок из литейных форм осуществляют на вибрационных решетках. От вибрации форма разрушается, смесь просыпается сквозь решетку, а опоки с отливкой остаются на решетке (рисунок 6.6). Удаление стержней производится пневматическими вибрационными машинами или вымыванием мощной струей воды.

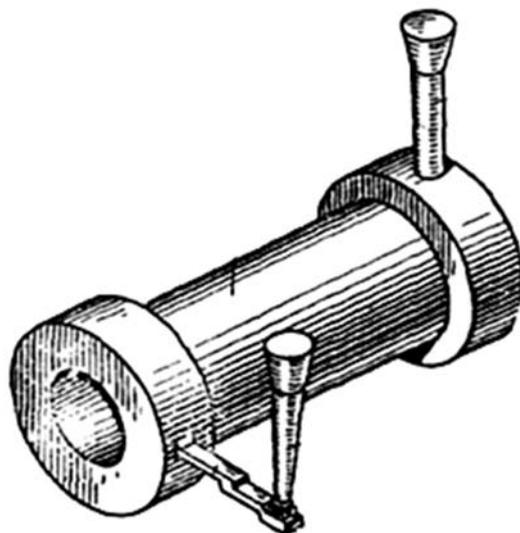


Рисунок 6.6 – Отливка с элементами литниковой системы после выбивки

Обрубку и зачистку отливок от остатков питателей, заусенцев и заливов производят шлифовальными кругами, дековыми пилами, газокислородной резкой или на обрезных прессах.

Очистка отливок от пригара осуществляется в очистных вращающихся барабанах или дробеметных установках.

#### **6.5 Качество отливок**

Контроль качества производят с целью обнаружения брака отливок. Основные виды брака и причины его возникновения:

- газовые раковины и пористость в отливках. Причины: малая газопроницаемость или повышенная влажность формовочной смеси;
- усадочные раковины и пористость в отливках. Причины: неправильный подвод жидкого металла в форму; слишком высокая температура заливаемого металла;

– песчаные и шлаковые раковины (полости в теле отливки, заполненные формовочной смесью или шлаком). Причины: слабая набивка формы; плохая конструкция шлакоуловителя;

– холодные трещины. Причина: неодинаковая скорость охлаждения различных сечений отливки, что приводит к возникновению внутренних напряжений;

– горячие трещины (имеют темную окисленную поверхность). Причины: малая податливость стержней и формы; резкие переходы от тонкой части отливки к толстой;

– коробление (изменение формы и размеров отливки под влиянием внутренних напряжений, возникающих при неравномерном охлаждении равных частей отливки). Причины: высокая скорость охлаждения; недостаточная податливость формы; нерациональная конструкция отливки;

– заливы (тонкие выступы вдоль разъема формы). Причина: неплотное смыкание полуформ;

– недолив (неполная отливка). Причины: плохая жидкотекучесть сплава; низкая температура расплава; малое сечение питателей; утечка расплава из формы.

### ***6.6 Порядок проведения работы***

1 Начертить эскиз детали согласно варианту задания.

2 Разработать технологический чертеж отливки:

– выбрав положение отливки в форме и назначив плоскость разъема модели;

– назначив припуски на механическую обработку отливки;

– определив конфигурацию стержней и знаковые части стержня;

– назначив формовочные уклоны и радиусы скруглений;

– прорисовав элементы литниковой системы.

3 Начертить эскиз модели.

4 Начертить эскиз литейной формы в сборе.

5 Используя модельный комплект отливки заданной детали, изготовить стержень и форму.

6 Получить отливку посредством заполнения формы расплавленным металлом.

7 Провести контроль размеров и качества полученной отливки. Сделать выводы по результатам контроля отливки.

### ***6.7 Содержание отчета.***

1 Цель работы.

2 Эскиз детали согласно заданию.

3 Чертеж модели.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Перечислите основные этапы изготовления отливки.
- 2 Что входит в состав модельного комплекта?
- 3 Для чего служат литейная опока, литниковая чаша, стояк, шлакоуловитель, питатели, выпор?
- 4 Какие основные причины и виды брака при литье?
- 5 В чем достоинства и недостатки литья в песчано-глинистые формы?

## **7 Лабораторная работа № 7. Формообразование заготовок литьем в кокиль**

***Цель работы:*** ознакомиться с технологией получения отливок литьем в кокиль.

### ***Оборудование***

- 1 Печь для плавки металла.
- 2 Разъемный кокиль.
- 3 Литейный сплав.

### ***7.1 Общие сведения***

Сущность литья вкокиль заключается в том, что вместо разовой песчано-глинистой формы используют постоянную металлическую, называемую кокилем. Обладая по сравнению с песчано-глинистыми формами приблизительно в 60 раз более высокой теплопроводностью, кокили обеспечивают мелкозернистую структуру отливок, что повышает их прочность. При кокильном литье отпадает необходимость в модельно-опочной оснастке, в формовочных и стержневых смесях, что не только дает большую экономию, но и снижает количество пыли и улучшает санитарные условия труда; повышается точность и чистота поверхности отливки; обслуживание кокилей не требует рабочих высокой квалификации; значительно повышается производительность и уменьшаются необходимые производственные площади. Технологический процесс кокильного литья можно легко механизировать. Механизированные кокили имеют устройство, позволяющее закрывать и раскрывать их от пневматического или гидравлического привода.

Наряду с преимуществами, у кокильного литья есть и недостатки: высокая стоимость кокилей позволяет использовать их только в серийном и массовом производстве; опасность образования трещин в отливках из-за неподатливости металлического кокиля; чугунные отливки в кокиле получают отбеленными, и требуется длительный отжиг, что ведет к удорожанию их производства.

Классификация кокилей осуществляется по следующим признакам:

- по соотношению трех габаритных размеров: плоские (один размер значительно меньше двух других) и цилиндрические (один размер значительно больше двух других);
- по наличию разъемных частей и расположению в пространстве поверхности раздела: неразъемные (вытряхные) и разъемные (с горизонтальной, вертикальной и комбинированной поверхностью разъема);
- по числу рабочих гнезд: одноместные и многоместные;
- по способу охлаждения: с воздушным (естественным или принудительным), жидкостным (вода, эмульсия, масло) и комбинированным (водо-воздушным) охлаждением;
- по типу конструкции рабочей стенки и способу подвода к ней охлаждающей среды: однослойные и двухслойные;
- по долговечности защитного покрытия: с периодически наносимым и постоянным защитным покрытием;
- по составу материала рабочей стенки кокиля: чугунные, стальные, из алюминиевых, медных и специальных сплавов, а также композиционных материалов.

При конструировании кокилей необходимо обеспечить их технологичность, в которую включаются следующие требования:

- наличие минимально необходимого числа разъемов и стержней;
- использование стандартных и унифицированных деталей;
- конструктивное обеспечение быстрого удаления из рабочей полости кокиля газов посредством различных вентиляционных каналов (вент-выдувных сетчатого типа отверстий, подвижных соединений, разъемов, выпора);
- легкое удаление из кокиля отливок и металлических стержней, а также сменных элементов кокиля (вставок и др.);
- наличие элементов для естественного и искусственного (водяного, воздушного или смешанного) охлаждения;
- включение в конструкцию кокиля (или стержня) элементов литниковой системы для обеспечения заливки расплава;
- обеспечение (за счет центрирующих штырей, отверстий, фиксирующих шпонок) четкой сборки (без перекоса) при смыкании подвижных частей кокиля;
- конструктивное обеспечение регулируемого теплоотвода за счет использования многослойных кокилей (в частности, получаемых методами порошковой металлургии), стенки которых состоят из двух (или более) слоев с разным составом, структурой и теплопроводностью.

Отливки простой конфигурации изготавливают в неразъемных кокилях (рисунок 7.1, *а*). Несложные отливки с небольшими выступами и впадинами на наружных поверхностях изготавливают в кокилях с вертикальным разъемом (рисунок 7.1, *б*). При изготовлении крупных, но простых по конфигурации отливок используются кокили с горизонтальными разъемами (рисунок 7.1, *в*). Ко-

кили с комбинированным разъемом применяют при изготовлении сложных отливок.

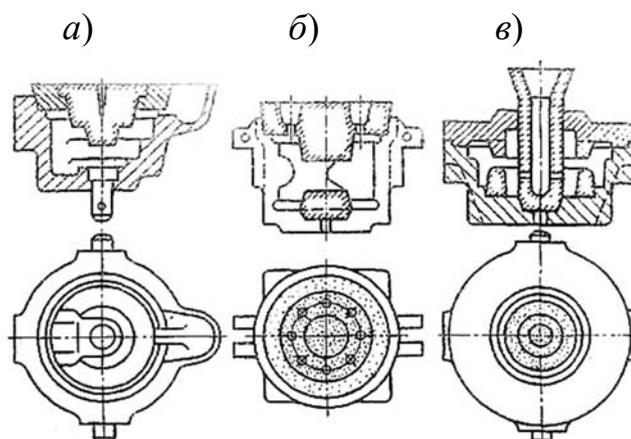


Рисунок 7.1 – Основные типы конструкций кокилей

## 7.2 Технологический процесс изготовления отливки

Технологический процесс изготовления отливки в кокиль показан на рисунке 7.2. Рабочую поверхность кокиля с вертикальной плоскостью разъема, состоящую из поддона 1, двух симметричных полуформ 2 и 3 и металлического стержня 4, предварительно нагревают до температуры  $100\text{ }^{\circ}\text{C} \dots 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ , покрывают из пульверизатора 5 слоем защитного покрытия (см. рисунок 7.2, а). С помощью манипулятора устанавливают песчаный стержень 6 (см. рисунок 7.2, б), которым выполняют в отливке 7 расширяющуюся полость. Половины кокиля 2 и 3 соединяют, скрепляют и проводят заливку расплава (см. рисунок 7.2, в). После затвердевания отливки 7 (см. рисунок 7.2, г) и охлаждения ее до температуры выбивки кокиль раскрывают (см. рисунок 7.2, д) и протягивают вниз металлический стержень 4. Отливка 7 манипулятором удаляется из кокиля (см. рисунок 7.2, е).

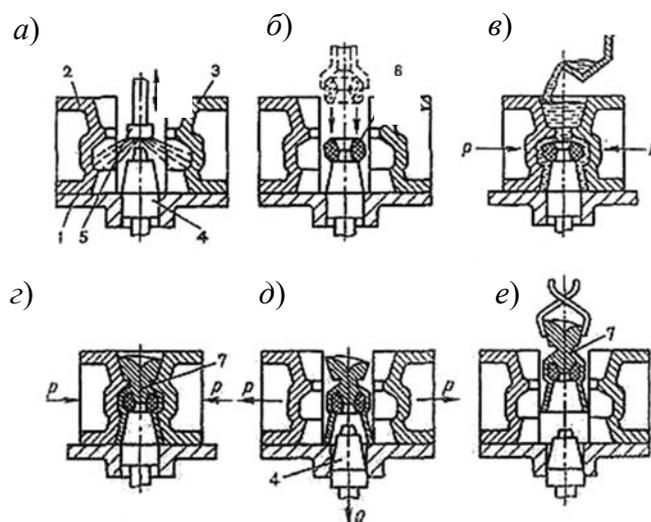


Рисунок 7.2 – Технологический процесс изготовления отливки

Полости в отливках формируют песчаными, оболочковыми или металлическими стержнями. Кокили с песчаными или оболочковыми стержнями используют для получения отливок сложной конфигурации из чугуна, стали и цветных сплавов, а с металлическими – для получения отливок из алюминиевых и магниевых сплавов. Металлические стержни удаляют из отливки до извлечения ее из кокиля после образования прочной корки в отливке.

Для удаления воздуха и газов из полости формы по плоскости разъема кокиля выполняют вентиляционные каналы. Отливки из рабочей полости удаляют выталкивателями. Заданный тепловой режим литья обеспечивает система подогрева и охлаждения кокиля.

Рабочую поверхность кокиля и металлических стержней очищают от загрязнений. Затем на рабочую поверхность кокиля наносят теплозащитные покрытия для предохранения его стенок от воздействия высоких температур заливаемого металла, регулирования скорости охлаждения отливки, улучшения заполняемости кокиля, облегчения извлечения отливки и т. д.

Теплозащитные покрытия готовят из огнеупорных материалов (пылевидного кварца, молотого шамота, графита, мела и др.), связующего (жидкого стекла и др.) и воды. Теплозащитные покрытия наносят пульверизатором на предварительно подогретый до температуры 100 °С...150 °С кокиль слоем толщиной 0,3...0,8 мм.

Заключительная операция подготовки кокиля – нагрев его до 150 °С...350 °С. Температуру нагрева кокиля назначают в зависимости от сплава и толщины стенок отливки. Например, при изготовлении чугунных отливок с толщиной стенок 5...10 мм кокиль нагревают до 300 °С...350 °С, при толщине стенок 1,0...20 мм – до 150 °С...250 °С, для алюминиевых и магниевых отливок – до 250 °С...350 °С.

При сборке кокилей в определенной последовательности устанавливают металлические или песчаные стержни, проверяют точность их установки и закрепления, соединяют половины кокиля и скрепляют их.

Заливку металла осуществляют разливочными ковшами или автоматическими заливочными устройствами. Затем отливки охлаждают до температуры выбивки, составляющей 0,6...0,8 температуры солидуса сплава, и выталкивают из кокиля. После этого отливки подвергают обрубке, очистке и, в случае необходимости, термической обработке.

### ***7.3 Порядок проведения работы***

- 1 Ознакомиться с сущностью и технологией кокильного литья.
- 2 Подготовить кокиль к заполнению металлом.
- 3 Получить отливку посредством заполнения литейной формы расплавленным металлом.
- 4 Сделать выводы по результатам контроля отливки.

## **7.4 Содержание отчета**

- 1 Цель работы.
- 2 Сущность, достоинства и недостатки литья в кокиль.
- 3 Классификация кокилей.
- 4 Технологический процесс получения отливки.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Достоинства литья в кокиль.
- 2 Недостатки литья в кокиль.
- 3 Область применения литья в кокиль.
- 4 Классификация кокилей.

## **Список литературы**

- 1 Технология конструкционных материалов: учебное пособие / Под ред. А. М. Дальского. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1990. – 352 с.: ил.
- 2 Справочник сварщика / Под ред. В. В. Степанова. – Москва: Машиностроение, 1983. – 560 с.
- 3 Оборудование для дуговой сварки : сварочное пособие / Под ред. Н. В. Смирнова. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1986. – 656 с.
- 4 **Браткова, О. Н.** Источники питания сварочной дуги / О. Н. Браткова. – Москва: Высшая школа, 1982. – 117 с.
- 5 Технология конструкционных материалов / Под ред. О. С. Комарова. – Минск: Новое знание, 2005. – 560 с.
- 6 Сварка в машиностроении: справочник: в 4 т. / Под ред. Н. А. Ольшанского. – Москва: Машиностроение, 1978. – Т. 1. – 504 с.
- 7 Сварка в машиностроении: справочник: в 4 т. / Под ред. А. И. Акулова. – Москва : Машиностроение, 1978 – Т. 1. – 434 с.
- 8 **Куликов, В. П.** Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: учебное пособие / В. П. Куликов. – Минск: Экоперспектива, 2003. – 415 с.
- 9 Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: учебник / Под ред. А. И. Акулова. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Машиностроение, 2003. – 560 с.
- 10 **Потапьевский, А. Г.** Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Ч. 1: Сварка в активных газах / А. Г. Потапьевский. – 2-е изд., перераб. – Киев: Екотехнологія, 2007. – 192 с.

11 Сварочные материалы для дуговой сварки. Защитные газы и сварочные флюсы / Под ред. Н. Н. Потапова. – Москва: Машиностроение, 1989. – 544 с.

12 **Катаев, Р. Ф.** Сварка пластмасс: учебное пособие / Р. Ф. Катаев. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2008. – 139 с.

13 **Волков, С. С.** Сварка и склеивание полимерных материалов: учебное пособие для вузов / С. С. Волков. – Москва: Химия, 2001. – 376 с.

## Приложение А (справочное)

Допуски линейных размеров отливок должны соответствовать указанным в таблице А.1.

Таблица А.1 – Допуски размеров отливок

Интервал номинальных размеров, мм	Допуск размеров отливок, мм, не более, для классов точности отливок		
	7	8	9Т
Св. 6 до 10	0,64	0,8	1,0
Св. 10 до 16	0,7	0,9	1,1
Св. 16 до 25	0,8	1,0	1,2
Св. 35 до 40	0,9	1,1	1,4
Св. 40 до 63	1,0	1,2	1,6
Св. 63 до 100	1,1	1,4	1,8
Св. 100 до 160	1,2	1,6	2,0
Св. 160 до 250	1,4	1,8	2,2
Св. 250 до 400	1,6	2,0	2,4

Допуски формы и расположение поверхностей отливок (отклонения от прямолинейности, плоскостности, параллельности, перпендикулярности, заданного профиля) должны соответствовать указанным в таблице А.2.

Таблица А.2 – Допуск формы и расположения элементов отливки

Номинальный размер нормируемого участка отливки, мм	Допуск формы и расположения элементов отливки, мм, не более, для степеней коробления элементов отливки						
	3	4	5	6	7	8	9
До 125	0,20	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80
Св. 125 до 160	0,24	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00
Св. 160 до 200	0,32	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20
Св. 200 до 250	0,40	0,50	0,64	0,80	1,00	1,20	1,80
Св. 250 до 315	0,50	0,64	0,80	1,00	1,30	1,60	2,00

Таблица А.3 – Степень коробления элементов отливок

Отношение наименьшего размера отливки к наибольшему	Разовые формы	
	Нетермообрабатываемые отливки	Термообрабатываемые отливки
Св. 0,200	3...6	4...7
Св. 0,100 до 0,200	4...7	5...6
Св. 0,050 до 0,100	5...8	6...9
Св. 0,025 до 0,050	6...9	7...10
До 0,025	7...10	8...11

Общие допуски элементов отливок, учитывающие совместное влияние допуска размера от поверхности до базы и допусков формы и расположения поверхностей, приведены в таблице А.4.

Таблица А.4 – Общий допуск элемента отливки

Допуск размера от поверхности до базы	Допуск формы и расположения поверхности, мм	Общий допуск элемента отливки, мм, не более
1	2	3
Св. 0,50 до 0,64	До 0,50	0,9
	Св. 0,50 до 0,64	1,0
	Св. 0,64 до 0,80	1,2
	Св. 0,80 до 1,00	1,4
	Св. 1,00 до 1,20	1,6
	Св. 1,20 до 1,28	1,8
Св. 0,64 до 0,8	До 0,50	1,00
	Св. 0,50 до 0,64	1,10
	Св. 0,64 до 0,80	1,20
	Св. 0,80 до 1,00	1,40
	Св. 1,00 до 1,20	1,80
	Св. 1,20 до 1,60	2,20
Св. 0,80 до 1,00	До 0,64	1,20
	Св. 0,64 до 0,80	1,40
	Св. 0,80 до 1,00	1,60
	Св. 1,00 до 1,20	1,80
	Св. 1,20 до 1,60	2,20
	Св. 1,60 до 2,00	2,80
Св. 1,00 до 1,20	До 0,64	1,40
	Св. 0,64 до 0,80	1,60
	Св. 0,80 до 1,00	1,80
	Св. 1,00 до 1,20	2,00
	Св. 1,20 до 1,60	2,40
	Св. 1,60 до 2,00	2,80
	Св. 2,00 до 2,40	3,20
Св. 1,20 до 1,60	До 0,80	1,80
	Св. 0,80 до 1,00	2,00
	Св. 1,00 до 1,20	2,20

Окончание таблицы А.4

1	2	3
	Св. 1,20 до 1,60 Св. 1,60 до 2,00 Св. 2,00 до 2,40 Св. 2,40 до 3,20	2,40 2,80 3,60 4,40
Св. 1,6 до 2,00	До 0,80 Св. 0,80 до 1,20 Св. 1,20 до 1,60 Св. 1,60 до 2,00 Св. 2,00 до 2,40 Св. 2,40 до 3,20 Св. 3,20 до 4,00	2,20 2,40 2,80 3,20 3,60 4,40 5,60
Св. 2,00 до 2,40	До 0,64 Св. 0,64 до 1,20 Св. 1,20 до 1,60 Св. 1,60 до 2,00 Св. 2,00 до 2,40 Св. 2,40 до 3,20 Св. 3,20 до 4,00 Св. 4,00 до 4,80	2,40 2,80 3,20 3,60 4,00 4,40 5,60 6,40

Таблица А.5 – Припуски на механическую обработку

Допуск размеров отливок, мм	Основной припуск для рядов, мм, не более					
	1	2	3	4	5	6
Св. 1,80 до 1,0	1,1	1,4	2,0	2,6	3,6	4,6
	1,6	2,0	2,8	3,2	4,0	5,6
Св. 1,0 до 1,2	1,2	1,6	2,2	2,8	3,8	4,8
	2,0	2,4	3,0	3,4	4,2	6,0
Св. 1,2 до 1,6	1,6	2,0	2,4	3,0	4,0	5,0
	2,4	2,8	3,2	3,8	4,6	6,5
Св. 1,6 до 2,0	2,0	2,4	2,8	3,4	4,2	5,5
	1,8	3,2	3,6	4,2	5,0	7,0
Св. 2,0 до 2,4	2,4	2,8	3,2	3,8	4,6	6,0
	3,2	3,6	4,0	4,6	5,5	7,5
Св. 2,4 до 3,0	2,8	3,2	3,6	4,2	5,0	6,5
	3,6	4,0	4,5	5,0	6,5	8,0
Св. 3,0 до 4,0	3,4	3,8	4,2	5,0	5,5	7,0
	4,5	5,0	5,5	6,5	7,0	9,0
Св. 4,0 до 5,0	4,0	4,4	5,0	5,5	6,0	8,0
	5,5	6,0	6,5	7,5	8,0	10,0
Св. 5,0 до 6,0	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	9,0
	7,0	7,5	8,0	8,5	9,5	11,0
Св. 6,0 до 8,0	–	6,5	7,0	7,5	8,5	10,0
	–	9,5	10,0	11,0	12,0	13,0

## Приложение Б (справочное)

Таблица Б.1 – Величина формовочных уклонов

Высота основной формообразующей поверхности $H$ , мм	Формовочный уклон третьего модельного комплекта	
	металлического, пластмассового	деревянного
< 10	2°17'	2 54
> 10...18	1°36'	1 54
> 18...30	1°09'	1 31
> 30...50	0°48'	1 02
> 50...80	0°34'	0 43
> 80...120	0°26'	0 32
> 120...180	0°19'	0 23
> 180...250	0°19'	0 22
> 250...315	0°19'	0 22
> 315...400	0°18'	0 21
> 400...500	0°17'	0 21

## Приложение В (справочное)

Таблица В.1 – Длина горизонтальных стержневых знаков

$\frac{a-b}{2}$ , или $d$ , мм	Длина знаков при длине стержня, мм, не более							
	до 50	50...150	150...300	300...500	500...750	750...1000	1000...1500	1500...2000
До 25	15	25	40	–	–	–	–	–
25...50	20	30	45	60	–	–	–	–
50...100	25	35	50	70	90	110	–	–
100...200	30	40	55	80	100	120	140	160
200...300	–	50	60	90	110	130	150	180
300...400	–	–	80	100	120	140	160	200
400...500	–	–	100	120	130	150	180	200

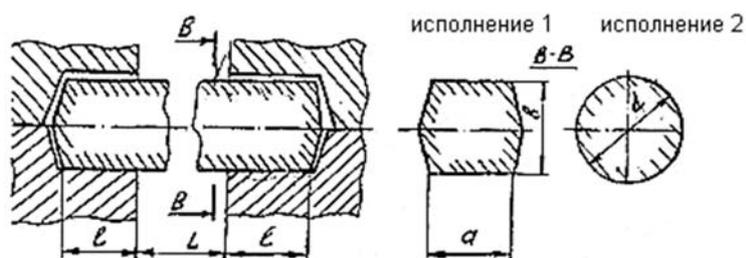


Рисунок В.1 – Длина горизонтальных стержневых знаков

Таблица В.2 – Высота нижних вертикальных стержневых знаков

$\frac{a-b}{2}$ , или $d$ , мм	Высота знака при длине стержня, мм, не более						
	до 50	50...150	150...300	300...500	500...750	750...1000	1000...1500
До 25	20	25	–	–	–	–	–
25...50	20	40	60	70	–	–	–
50...100	25	35	50	70	100	120	–
100...200	30	30	40	60	90	110	160
200...300	35	35	40	50	80	100	150
300...400	40	40	40	50	70	90	140
400...500	40	40	40	50	60	80	130
500...750	50	50	50	50	60	70	120
750...1000	50	50	50	50	50	60	110

Таблица В.3 – Высота верхних вертикальных стержневых знаков

Высота знака, мм	
нижнего $h$	верхнего $h_1$
20	15
25	15
30	20
35	20
40	25
50	30
60	35
70	40
80	50
90	56
100	60

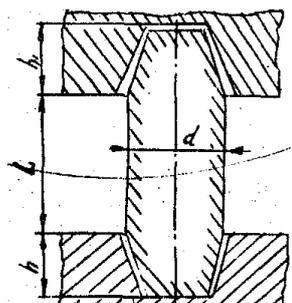
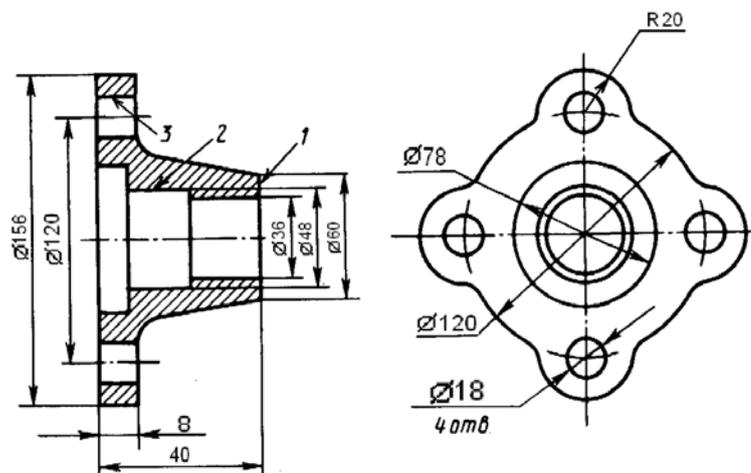


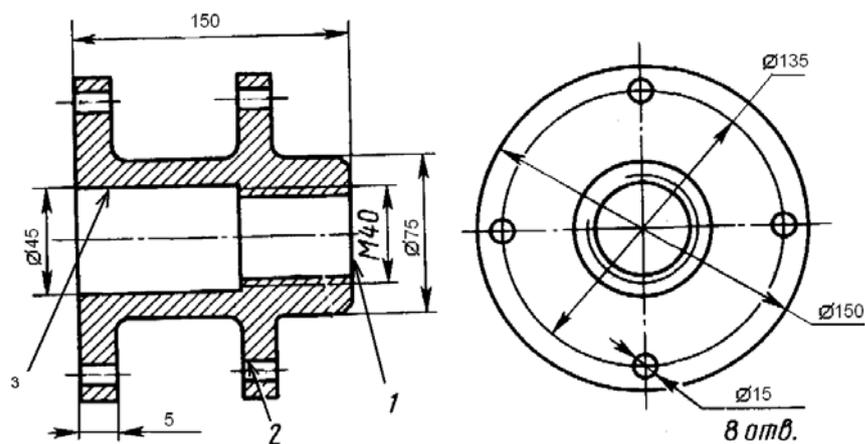
Рисунок В.2 – Высота вертикальных знаков

## Приложение Г (справочное)

а)



б)



в)

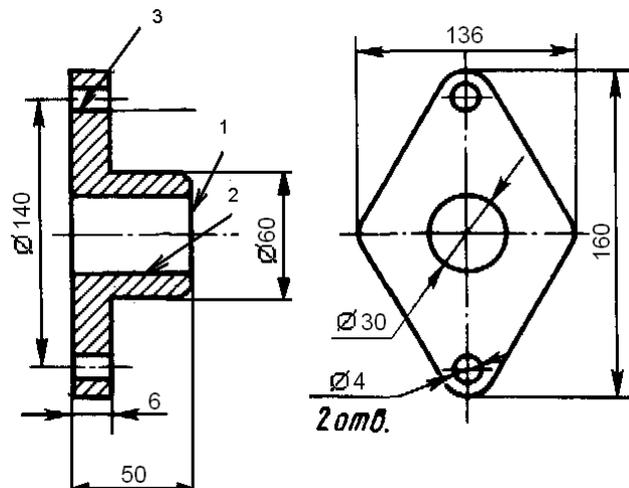
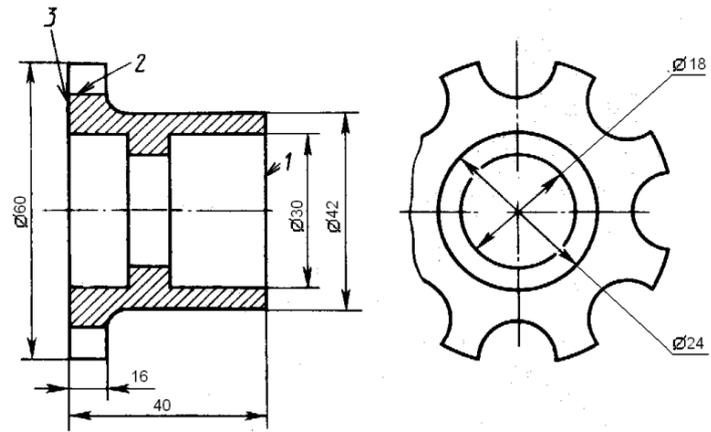
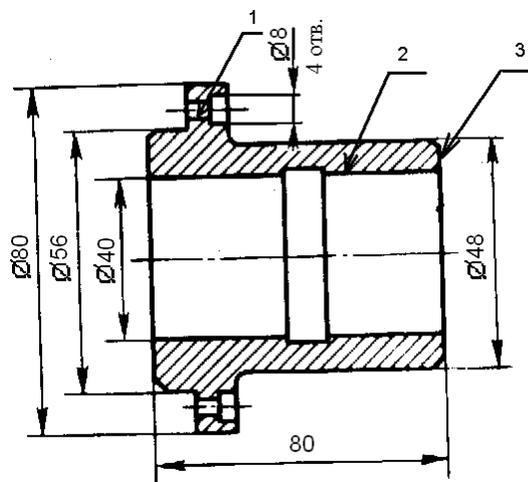


Рисунок Г.1 – Варианты заданий

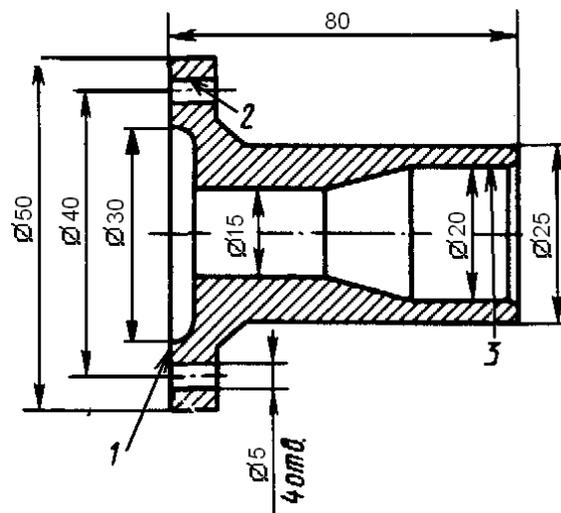
2)



d)

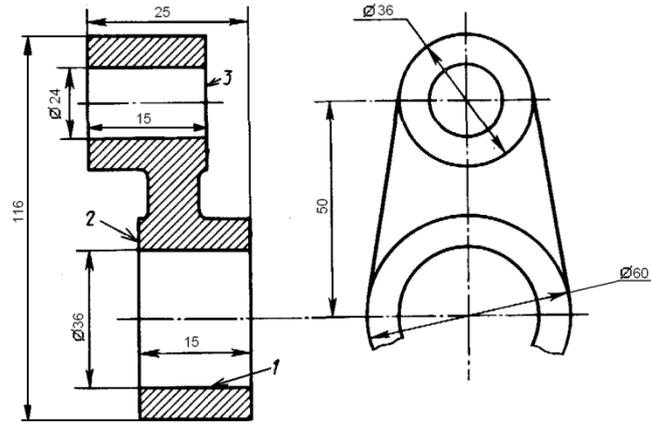


e)

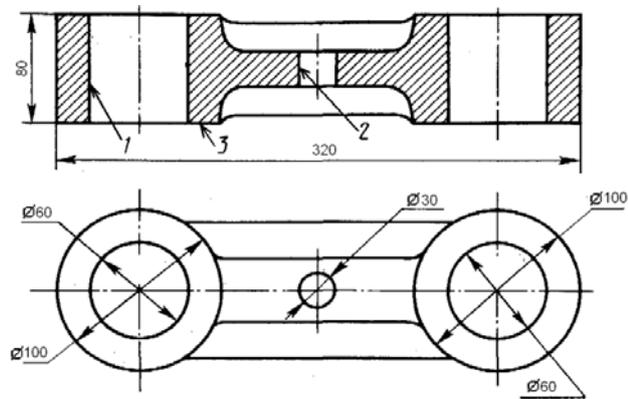


Продолжение рисунка Г.1

ж)



з)



Окончание рисунка Г.1