

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный  
аграрный университет имени И. Т. Трубилина»

Кафедра ремонта машин и материаловедения

## **Технология конструкционных материалов**

### **Методические указания**

к практическим занятиям  
для обучающихся по направлению подготовки  
08.03.01 «Строительство»

Краснодар  
КубГАУ  
2020

*Составители:* М.И. Чеботарев, Б.Ф. Тарасенко, В. Д. Карпенко, С. А. Горовой

**Методические указания по лабораторным и практическим занятиям** / сост. М.И.Чеботарев, Б.Ф.Тарасенко, В. Д. Карпенко, С. А. Горовой. – Краснодар : КубГАУ, 2020. – 122 с.

Изложены теоретические сведения, а также указания по выполнению практических работ. Приводятся методики проведения экспериментов по измерению параметров исследуемых величин (твердости, температуры кристаллизации, расходов электродов и др.), исследования оборудования, используемого при сварке.

Предназначены для студентов, очного и заочного обучения дисциплине «Технология конструкционных материалов» по направлению подготовки: 08.03.01 «Строительство» по ФГОС 3++.

Рассмотрено и одобрено методической комиссией архитектурно-строительного факультета Кубанского госагроуниверситета, протокол № от

Председатель  
Методической комиссии

А. М. Блягоз

© Чеботарев М.И., Тарасенко Б.Ф.,  
Карпенко В.Д., Горовой С. А.,  
составление, 2020  
© ФГБОУ ВПО «Кубанский  
государственный аграрный  
университет имени  
И.Т. Трубилина», 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЁРДОСТИ МАТЕРИАЛОВ	5
2 ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ Sn-Pb С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА	12
3 ДИАГРАММЫ ДВОЙНЫХ СПЛАВОВ И ИХ АНАЛИЗ	17
4 ДИАГРАММА Fe-Fe <sub>3</sub> C. СТРУКТУРНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ	26
5 СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВА СЕРЫХ, КОВКИХ И ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЧУГУНОВ	40
6 ЗАКАЛКА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ЗАКАЛКИ	46
7 МИКРОСТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ	50
8 ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ МЕТАЛЛОВ	57
9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ МЕТАЛЛОВ	70
10 ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОВОЙ СВАРКИ И КИСЛОРОДНОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ	76
11 КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ШВОВ	89
12 ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТЛИВОК	94
13 ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РУЧНОЙ КОВКИ МЕТАЛЛОВ	100
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	
14 МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ	104

## **ВВЕДЕНИЕ**

Методические указания предназначены для оказания помощи обучающимся при изучении одной из важнейших общепрофессиональных дисциплин таких, как «Технология конструкционных материалов». Они позволят закрепить теоретические знания и приобрести практические навыки исследования основных свойств конструкционных материалов и их структуры, а также по термической и химико-термической обработке различных сплавов.

В результате выполнения лабораторных и практических работ студенты приобретают методологический опыт определения основных свойств конструкционных материалов и их переработке, умение и навыки обработки результатов эксперимента и устанавливать связь между теоретическими основами и их практическим применением.

# 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЁРДОСТИ МАТЕРИАЛОВ

## 1.1 Цель работы

1.1.1 Ознакомиться с устройством и работой твердомеров, научиться переводить значения твердости из одних единиц в другие.

1.1.2 Установить влияние содержания углерода на твердость стали.

## 1.2 Задание.

1.2.1 Изучить справочные данные. Ознакомиться с устройством и работой приборов, используемых в работе.

1.2.2 Провести эксперимент и занести полученные данные в таблицы (таблица 1.2, 1.3).

1.2.3 Написать отчёт.

## 1.3 Оборудование и материалы на рабочем месте.

1.3.1 Приборы Бринелля, Роквелла, плакаты с их изображением.

1.3.2 Микроскопы измерительные.

1.3.3 Образцы отожженной и закаленной стали, чугуна, бронзы.

1.3.4 Таблица перевода твердости из одних единиц в другие.

## 1.4 План выполнения работы.

1.4.1 Изобразить схему прибора Бринелля, указать его основные узлы.

1.4.2 Описать методику работы на приборе Бринелля.

1.4.3 Изобразить схему прибора Роквелла, указать его основные детали.

1.4.4 Описать методику работы на приборе Роквелла.

1.4.5 Указать в таблице 1.2 режимы испытания на приборе Роквелла.

1.4.6 Выбрать режимы испытания для образцов по заданию преподавателя и определить их твёрдость. Результаты занести в таблицу 1.3.

1.4.7 Построить график зависимости твёрдости отожжённой стали от содержания углерода.

## 1.5 Справочные материалы.

Твёрдость – это свойство материала сопротивляться проникновению в него другого более твердого тела, не получающего при этом остаточной деформации. Твердость металлов определяют следующими методами: царапания, отскокивания шарика от поверхности тела (метод Шора), вдавливания. По методу вдавливания работают твердомеры Бринелля (ГОСТ 9012-59), Роквелла (ГОСТ 9013-59) и Виккерса.

Таблица 1.1 – Режимы испытания твердости по методу Бринелля

Толщина образца, мм	Диаметр шарика D, мм	Нагрузка P, Н (кгс)		
		30D <sup>2</sup> для стали, чугуна	10D <sup>2</sup> для медных сплавов	2,5D <sup>2</sup> для мягких сплавов
Меньше 3	2,5	1839 (187,5)	613 (62,5)	153 (15,6)
От 3 до 6	5	7355 (750)	2452 (250)	613 (62,5)
Более 6	10	29420 (3000)	9810 (1000)	2451 (250)

Таблица 1.2 – Протокол испытаний твердости по методу Роквелла

Материал	Применяемая шкала	Нагрузка, Н(кгс)	Обозначение твердости
Отожженная сталь			
Закаленная сталь			
Твердый слой			

Таблица 1.3 – Измерение твердости на приборах Бринелля и Роквелла

Материал образца	Прибор Бринелля							Прибор Роквелла			Твердость, НВ
	Толщина, мм	Диаметр шарика D, мм	Нагрузка, Н (кгс)	Содержание углерода, %	Время выдержки,	Диаметр d отпечатка, мм	Твердость, НВ	Нагрузка P, Н (кгс)	Обозначение твердости	Твердость	
Сталь 10											
Сталь 45											
У13											
Серый чугун											
Бронза											
Закаленная сталь 45											

### Метод Бринелля

По методу Бринелля о твердости металла судят по диаметру отпечатка d, полученного при вдавливании в испытываемую поверхность стального закаленного шарика определенного диаметра D под нагрузкой P в течение заданного времени (рисунок 1.1).

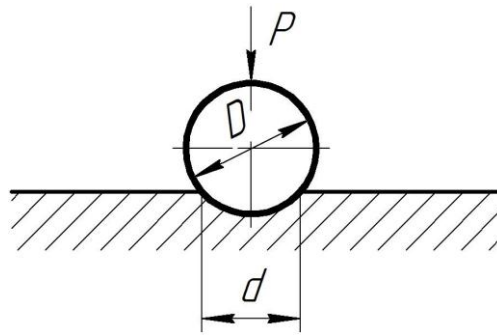


Рисунок 1.1 – Схема измерения твердости на твердомере Бринелля

К прибору прилагается комплект из трех шариков диаметром 10; 5 и 2,5 мм. Диаметр шарика, необходимая нагрузка и время испытания выбирается в зависимости от толщины испытываемой пластины (так, чтобы не продавить её) и предполагаемой твердости материала. В таблице 1.1 приведены рекомендуемые режимы испытания твердости.

Время выдержки под нагрузкой необходимо для того, чтобы исключить пластическую деформацию отпечатка после удаления шарика из образца, и составляет:

для черных металлов - 10 с.;

для металлов средней твердости (медные сплавы) - 30 с.;

для мягких сплавов (подшипниковые сплавы, сплавы алюминия, пластмассы) – 60 с.

Твердость по Бринеллю обозначается буквами HB и определяется по формуле:

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (1.1)$$

где P – нагрузка, действующая на шарик, Н (кгс);

F – площадь полученного отпечатка, м<sup>2</sup>;

D – диаметр шарика, м (мм);

D – диаметр полученного отпечатка, м.

Порядок определения твердости на приборе Бринелля:

– зачистить опорную и испытываемую поверхности, удалить ржавчину, окалину напильником, наждачной бумагой или на заточном станке;

– установить деталь на плоский или призматический столик 6 в зависимости от конфигурации образца так, чтобы центр отпечатка располагался от края образца на расстоянии не менее 2,5 D, а от центра соседнего отпечатка - на расстоянии 4 D (рисунок 1.2);

– установить на прибор шарик 3 требуемого диаметра и создать нагрузку с помощью грузов 5;

– вращая маховик 2, подвести образец вплотную к шарик. При этом создается предварительная нагрузка на шарик 980,7 Н (100 кгс) и выбираются люфты;

– с помощью подвижного диска 7 установить время выдержки, предварительно освободив винт 8;

– включить кнопкой 1 электродвигателя механизм нагружения. При достижении полной нагрузки загорается лампочка 4 на приборе. В этот момент зажимают винтом 8 диск 7 датчика времени. После выдержки нагрузка снимается, и электродвигатель автоматически отключается;

– вращением маховика 2 отпустить стол, снять образец;

– с помощью микроскопа МПБ-2 со шкалой измерения, прилагаемого к твердомеру, измерить диаметр отпечатка в двух взаимно-перпендикулярных направлениях и подсчитать среднеарифметическое значение. Диаметр отпечатка должен находиться в пределах:  $0,2D < d < 0,6D$ . В противном случае испытание повторяют, используя шарик другого диаметра;

– по средней величине диаметра отпечатка вычислить площадь полученного отпечатка и твердость образца по формуле 1.1;

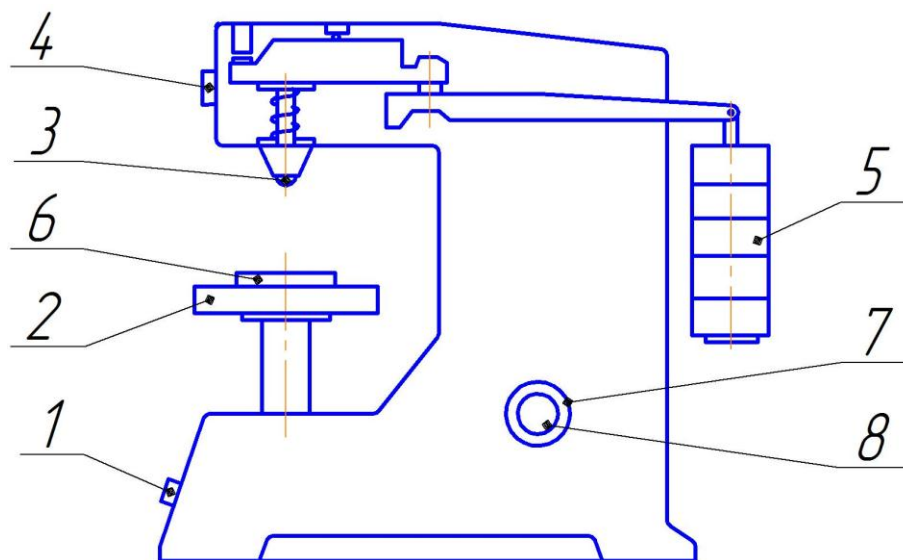


Рисунок 1.2 – Схема твердомера Бринелля (ТШ):

1 - кнопка включения; 2 - маховик; 3 - шарик; 4 - лампочка сигнальная;  
5 - сменные грузы; 6 - столик; 7 - подвижный диск; 8 – винт

Обычно на практике значение твердости после испытания определяют по таблице 1.5.

Недостатки прибора: на приборе Бринелля можно испытывать материал твердостью до 450 НВ, то есть незакаленные детали; нельзя измерять образцы толщиной менее 2 мм.; на поверхности детали после замера остаются крупные отпечатки.

### Метод Роквелла

На твердомере Роквелла определяют твердость как мягких, так и твердых материалов (рисунок 1.3). По этому методу в исследуемый образец вдавливают шарик диаметром 1,588 мм с усилием 980,7 Н (100 кгс), алмазный конус с углом при вершине  $120^\circ$  с усилием 1471 Н (150 кгс) или алмазный конус под нагрузкой 589 Н (60 кгс). Соответственно этим нагрузкам на индикаторе прибора имеются шкалы: красная В и черные С и А. (рисунок 1.3).



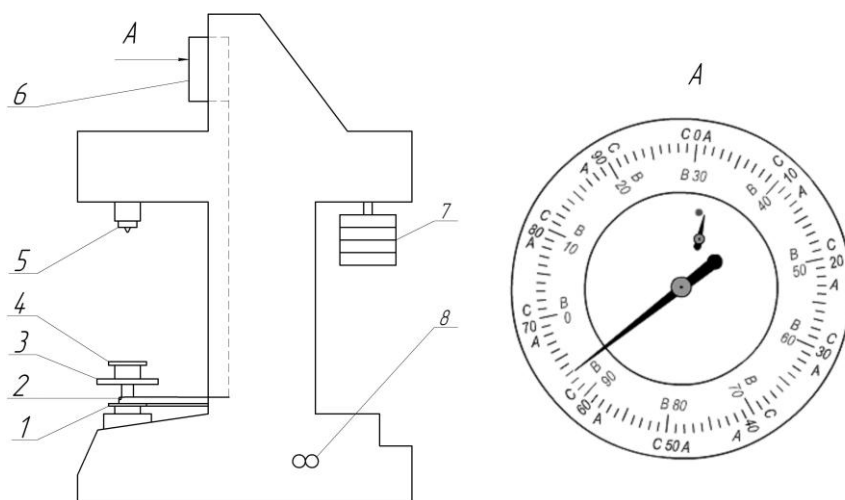


Рисунок 1.3 – Схема твердомера Роквелла (ТК):

1- клавиша; 2 - установочный сектор; 3 - маховик; 4 - столик;  
5 - наконечник; 6 - шкала индикатора; 7 - грузы; 8 – переключатель

Шкалу В применяют для замера твердости мягких металлов: отожжённой стали, цветных металлов и сплавов. Твердость при замере по этой шкале обозначают HRB.

Шкалу С используют для замера твердости закаленной стали. Твердость обозначают – HRC.

По шкале А измеряют твердость изделий с очень твердым поверхностным слоем, полученным после химико-термической обработки (цементация, азотирование и др.), а также твердых сплавов с твердостью по HRA 85.

Твердомер Роквелла – прибор индикаторного типа. Стрелка индикатора связана с наконечником и показывает величину его внедрения в исследуемый материал. Схема измерения твердости по Роквеллу показана на рисунке 1.4.

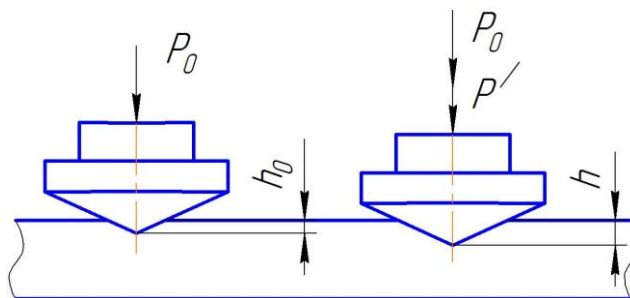


Рисунок 1.4 – Схема измерения твердости на приборе Роквелла (ТК)

Правильность показаний твердомера проверяют по эталонным пластинам, при необходимости проводят регулировку прибора, изменяя длину тяг.

Порядок определения твердости на приборе Роквелла:

установить на приборе (рисунок 1.3) плоский или призматический столик 4 в зависимости от формы исследуемого образца;

положить на столик предварительно подготовленную деталь;

установить на приборе наконечник 5 и необходимые грузы 7;

вращением маховика 3 подвести деталь к наконечнику 5 и зажимать его до тех пор, пока маленькая стрелка индикатора не совпадет с красной точкой на циферблате 6. При этом выби-

рается люфт под действием предварительной нагрузки 10 кгс и исключается смещение образца (рисунок 1.3);

вращением шкалы индикатора 6 установить цифру «0» черной шкалы против большой стрелки независимо от того, по какой шкале берем данные и каким наконечником проводим замеры. Вращение осуществляется сектором 2;

переключателем 8 включить электродвигатель и, нажав на клавишу 1, создать нагрузку;

после снятия нагрузки (автоматически или вручную в зависимости от марки прибора) большая стрелка поворачивается и показывает твердость по выбранной шкале;

снять показания со шкалы;

вращением маховика опускают столик, снимают образец. Чтобы получить более достоверные данные, нужно сделать три замера и определить среднее значение.

Метод Роквелла отличается простотой, высокой производительностью, позволяет испытывать твердость как мягких, так и твердых материалов, не искажая поверхность.

Этот метод нельзя применять для сплавов, имеющих крупно-зернистую и неоднородную структуру (серые, ковкие чугуны).

Из одних единиц твердости можно перейти в другие с помощью переводной таблицы (таблице 1.5).

Таблица 1.5 – Соотношение чисел твердости по Бринеллю и Роквеллу

Твёрдость			Твердость				Твердость		
по Роквеллу	по Бринеллю		по Роквеллу		по Бринеллю		по Роквеллу	по Бринеллю	
шкала	D=10мм P=29420Н (3000 кгс)		шкала		D=10мм P=29420 Н (3000 кгс)		шкала	D=10мм P=29420 Н (3000 кгс)	
С			С	В			В		
HRC	диаметр отпечатка, мм	HB	HRC	HRB	диаметр отпечатка, мм	HB	HRB	диаметр отпечатка, мм	HB
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
72	2,20	780	33	–	3,40	321	86	4,60	170
70	2,25	745	32	–	3,45	311	85	4,65	167
68	2,30	712	31	–	3,50	302	84	4,70	163
66	2,35	682	30	–	3,55	293	83	4,75	159
64	2,40	653	29	–	3,80	285	82	4,80	156
62	2,45	627	28	–	3,65	277	81	4,85	152
60	2,50	601	27	–	3,70	269	80	4,90	149
58	2,55	578	26	–	3,75	262	78	4,95	146
56	2,60	555	25	–	3,80	255	77	5,00	143
55	2,65	534	24	–	3,85	248	76	5 05	140
52	2,70	514	23	102	3,90	241	75	5,10	137
50	2,75	495	21	101	3,95	235	73	5,15	134
49	2,80	477	20	100	4,00	229	72	5,20	131

Продолжение таблицы 1.5

Твёрдость			Твердость				Твердость		
по Роквеллу	по Бринеллю		по Роквеллу		по Бринеллю		по Роквеллу	по Бринеллю	
шкала	D=10мм P=29420Н (3000 кгс)		шкала		D=10мм P=29420 Н (3000 кгс)		шкала	D=10мм P=29420 Н (3000 кгс)	
С			С	В			В		
HRC	диаметр отпечатка, мм	HB	HRC	HRB	диаметр отпечатка, мм	HB	HRB	диаметр отпечатка, мм	HB
48	2,85	461	19	99	4,05	223	71	5,25	128
46	2,90	444	17	98	4,10	217	70	5,30	126
45	2,95	429	15	97	4,15	212	69	5,35	123
43	3,00	415	14	95	4,20	207	68	5,40	121
42	3,05	401	13	94	4,25	201	67	5,45	118
41	3,10	368	12	93	4,30	197	65	5,50	116
40	3,15	375	11	92	4,35	192	64	5,55	114
39	3,20	363	9	91	4,40	187	63	5,60	111
38	3,25	352	8	90	4,45	183	61	5,65	109
36	3,30	341	7	88	4,50	179	59	5,70	107
35	3,35	331	6	87	4,55	174	58	5,75	105

## 1.6 Содержание отчёта

В отчёт включаются: цель работы, определение твёрдости, результаты испытаний, график изменения твёрдости в зависимости от содержания углерода в стали, выводы.

## 1.7 Вопросы для контроля

- 1.1 Что такое твердость?
- 1.2 Как обозначается твердость, её размерность?
- 1.3 Методика измерения твердости по Бринеллю.
- 1.4 От чего зависят режимы испытания на твердоме Бринелля?
- 1.5 Объяснить принципиальную схему твердомера Роквелла и методику определения твердости с его помощью.
- 1.6 В зависимости от чего выбирают режим испытания на твердомере Роквелла?
- 1.7 Указать преимущества и недостатки твердомеров Бринелля и Роквелла.
- 1.8 Как сравнить твердость закаленной и отожженной стали?
- 1.9 Как влияет содержание углерода в стали на величину твердости?

## 2 ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ Sn–Pb С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

### 2.1 Цель работы

Освоить методику эксперимента, научиться обрабатывать данные графически, найти на кривых охлаждения критические точки и построить диаграммы состояния сплавов.

### 2.2 Задание

2.2.1 Изучить справочные данные. Ознакомиться с устройством и работой приборов, используемых в работе.

2.2.2 Провести эксперимент и занести полученные данные в таблицы 2.1 и 2.2.

2.2.3 Написать отчёт.

### 2.3 Оборудование и материалы на рабочем месте.

2.3.1 Установка для термоанализа.

2.3.2 Секундомер.

2.3.3 Сплавы различной концентрации.

2.3.4 Древесный уголь.

### 2.4 План выполнения работы

2.4.1 Зарисовать установку для термоанализа.

2.4.2 Описать сущность и методику термоанализа.

2.4.3 Подготовить таблицу для результатов эксперимента (таблица 2.1).

2.4.4 Поочередно нагреть каждый сплав до температуры, превышающей на 50°C температуру плавления.

Таблица 2.1 – Протокол изменения температуры

№ пп	Время охлаждения, τ, с	Концентрация сплавов Sn – Pb%		
		80–20	62–38	35–65
		Температура сплава T°,C		
(Начертить таблицу на 20 замеров)				

2.4.5 Извлечь тигель из печи, установить термопару.

2.4.6 После понижения температуры на 15–20°C измерять температуру с помощью гальванометра через каждые 30 с (без остановки секундомера) до температуры на 30°C ниже температуры полного затвердевания. Полученные данные занести в таблицу 2.1.

2.4.7 По результатам замеров построить кривые охлаждения металлов и их сплавов на миллиметровой бумаге размером 220×450 мм.

2.4.8 На кривых охлаждения выявить критические точки, определить их температуры, данные занести в таблицу 2.2.

2.4.9 На миллиметровой бумаге построить диаграмму состояния сплавов, перенести критические точки исследуемых сплавов с кривых охлаждения (цена деления: 10мм – 10%).

Таблица 2.2 – Критические температуры сплавов системы «олово–свинец»

%–е содержание в сплаве		Критические температуры T, °C	
Sn	Pb	начало кристаллизации	конец кристаллизации
100	0		
80	20		
62	38		
35	65		
0	100		

## 2.5 Справочные данные

Исследованиями русских ученых П.П. Аносова, Д.К. Чернова, П.С. Курнакова и других было установлено, что свойства металлов и сплавов изменяются в зависимости от их химического состава и температуры нагрева. Существует много методов исследования сплавов (термический, микроструктурный, рентгеноструктурный, dilatометрический).

Для изучения превращений в металлах и сплавах при нагревании и охлаждении применяется метод термического анализа, который относится к физическим методам исследования. Он основан на том, что любые превращения, происходящие в металле или сплаве (плавление при нагревании, кристаллизация при охлаждении, изменение кристаллического строения в твердом состоянии), сопровождаются тепловым эффектом – выделением тепла при охлаждении или поглощением его при нагреве.

Выделение или поглощение тепла объясняется работой, связанной с созданием или разрушением кристаллической решетки. Обнаружить процесс кристаллизации или плавления можно по изменению скорости охлаждения или нагревания сплава на установке (рисунок 4.1).

Исследуемый сплав нагревают в тигле до жидкого состояния, выключают нагрев и проводят замеры температуры через равные промежутки времени с помощью термопары и гальванометра. Значения температуры заносятся в таблицу 2.1. Изменение скорости нагрева или охлаждения можно обнаружить, если полученные данные обработать графически в координатах, где по вертикали откладывают изменение температуры сплава через равные промежутке времени, а по горизонтали – время,  $\tau$ , с.

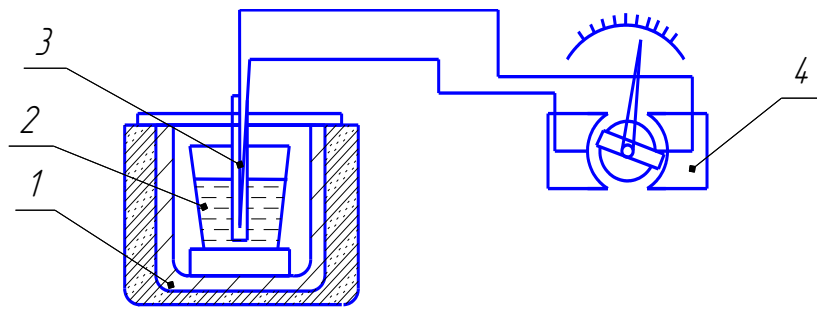


Рисунок 2.1 – Схема установки для определения критических точек методом термоанализа: 1 – нагревательное устройство; 2 – тигель со сплавом; 3 – термопара; 4 – гальванометр.

Полученные точки соединяют линией, которая называется кривой охлаждения. На кривой охлаждения есть точки, в которых скорость охлаждения сплава изменяется, следовательно, при этой температуре в нем происходят какие-то изменения. Температурные точки на кривой охлаждения (или нагрева), в которых происходят изменения в состоянии сплава (плавление, кристаллизация, перекристаллизация), называются критическими точками.

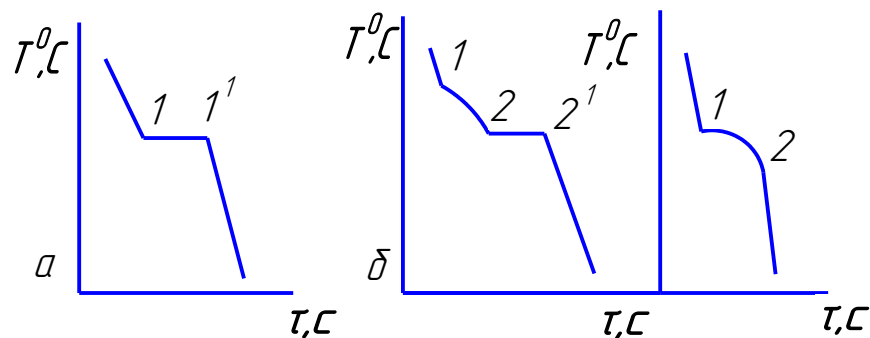


Рисунок 2.2 – Кривые охлаждения: а – чистого металла; б – сплавов.

На кривой охлаждения чистого металла (рисунок 2.2 а) на участке 1 – 1' температура какое-то время не изменяется. Это указывает на то, что выделяющееся в процессе кристаллизации тепло компенсирует потери его в окружающую среду.

У чистого металла кристаллизация начинается более активно, у сплавов этот процесс связан с образованием меньшего числа кристаллов и, следовательно, с выделением незначительного количества энергии, скорость охлаждения на участке 1–2 (рисунок 2.2 б) только замедлилась. Кривые охлаждения сплавов показывают, что процесс кристаллизации (плавления) идет в определенном интервале температур.

Термический анализ позволяет выявить критические точки сплавов с различной концентрацией. При исследовании сплавов олова и свинца с помощью этого метода был получен результат (рисунок 2.3 а). Критические точки чистого олова появились при температуре 232<sup>0</sup>С. Температура кристаллизации свинца согласно кривой охлаждения 327<sup>0</sup>С.

На кривой охлаждения сплава концентрации 62% Sn и 38% Pb температуры начала и конца кристаллизации совпали. Это позволяет сделать вывод, что оба компонента начинают образовывать кристаллические решётки одновременно в т.1. Исходное соотношение сохраняется в жидкой фазе до конца кристаллизации (т. 1<sup>1</sup>), микроструктура сплава представляет собой

хорошо образованную механическую смесь олова и свинца – эвтектику. Сплав равновесной концентрации называется эвтектическим. Он кристаллизуется при температуре 182°C.

Сплавы с большим содержанием олова называют доэвтектическими, с меньшим – заэвтектическими. Процесс кристаллизации в этих сплавах проходит в интервале температур и начинается с образования кристаллов компонента, избыточного в сравнении с эвтектическим составом. В доэвтектических сплавах таким компонентом является олово, в заэвтектических – свинец.

По мере снижения температуры количество жидкой фазы уменьшается, а её концентрация вследствие кристаллизации одного из компонентов приближается к равновесной – эвтектической. В т. 2 жидкая фаза любого сплава имеет состав: 62% Sn и 38% Pb. В т. 2 начинается кристаллизация обоих компонентов одновременно, т.е. образуется эвтектика. Заканчивается кристаллизация в т. 2<sup>1</sup>.

По полученным критическим точкам строят диаграмму состояния сплавов в координатах температура – концентрация. Построение ведется следующим образом (рисунок 2.3). Горизонтальный участок оси делят на 10 частей, каждая точка оси характеризует сплав, соотношение компонентов которого указывают деления на оси. Слева направо увеличивается до 100% содержание того компонента, который в названии диаграммы указан справа.

Зная концентрацию исследуемых сплавов, находят их на оси абсцисс, и через полученные точки проводят вертикали, на которые переносят критические точки с соответствующих кривых охлаждения. Соединив критические точки, указывающие начало кристаллизации различных сплавов, получают линию АСВ «ликвидус», т.е. жидкий. Критические точки, ниже которых сплавы находятся в твердом состоянии, образуют линию «солидус» т.е. твердый (линия ДСФ).

Анализируя диаграмму, можно сказать, что доэвтектические сплавы в интервале температур между ликвидусом и солидусом состоят из жидкой фазы и кристаллов олова. Заэвтектические – из жидкой фазы и кристаллов свинца.

Ниже линии солидус сплавы находятся в твердом состоянии в виде крупных кристаллов избыточного компонента на фоне механической смеси мелких кристаллов олова и свинца (эвтектики).

Диаграммы состояния описывают превращения в различных сплавах при изменении температуры. Они помогают определить начало плавления, конец кристаллизации, выявить структурные составляющие, что позволяет предположить их механические, технологические и физико-химические свойства. Диаграммы сплавов используют при назначении режимов термической обработки, при выборе температурного интервала обработки металлов давлением и т.д.

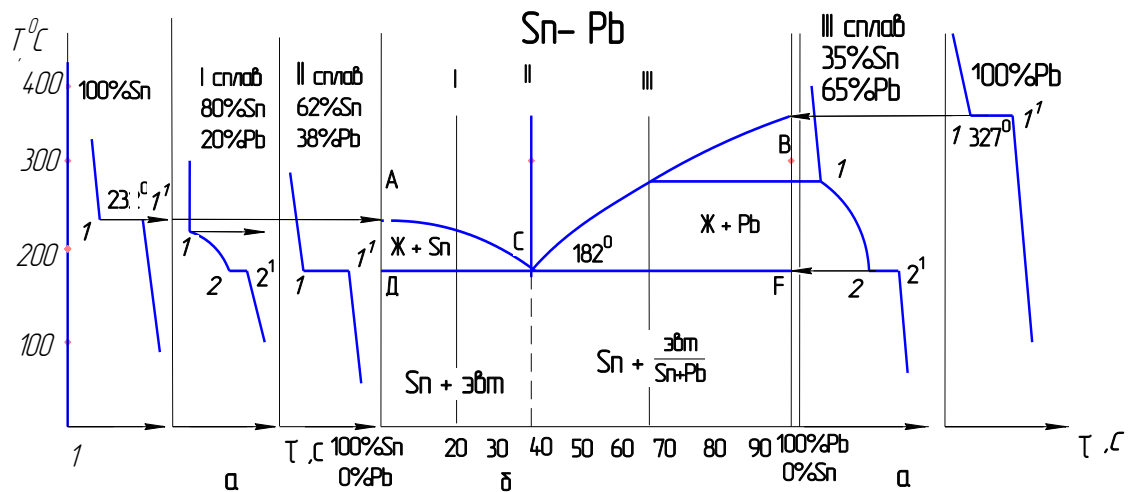


Рисунок 2.3 – Схема построения диаграммы состояния сплавов:  
а – кривые охлаждения; б – диаграмма

## 2.6 Содержание отчёта

В отчёт следует записать: цель работы, зарисовать установку для термоанализа, описать сущность и методику термоанализа, протокол измерения температуры, на миллиметровке фаз, построить кривые охлаждения и диаграмму Sn – Pb, дать оценку эксперименту (сделать выводы).

## 2.7 Вопросы для контроля

- 1 Указать назначение термического анализа.
- 2 Объяснить методику термического анализа.
- 3 Какие точки называются критическими?
- 4 В каких координатах строятся кривые охлаждения?
- 5 Какое практическое значение имеет диаграмма?
- 6 В каких координатах строится диаграмма состояния сплавов?
- 7 В какой последовательности идет процесс кристаллизации эвтектического, доэвтектического и заэвтектического сплавов?



## 3 ДИАГРАММЫ ДВОЙНЫХ СПЛАВОВ И ИХ АНАЛИЗ

### 3.1 Цель работы

Ознакомиться с методикой построения диаграмм состояния сплавов, научиться определять фазовый и структурный состав сплава, строить кривые охлаждения с помощью правила фаз Гиббса, определять концентрацию сплава при различных температурах.

### 3.2 Задание

3.2.1 Изучить справочные данные.

3.2.2 Выполнить работу.

3.2.3 Написать отчёт.

### 3.3 Оборудование и материалы на рабочем месте

3.3.1 Линейка, карандаш.

3.3.2 Альбомы микроструктур.

3.3.3 Справочные данные.

### 3.4 План выполнения работы

3.4.1 Дать характеристику основным видам сплавов: механическая смесь, твердый раствор, химическое соединение.

3.4.2 Зависать правило фаз Гиббса, указать его назначение.

3.4.3 Зарисовать диаграммы состояния сплавов, дать им определение. Заполнить все зоны диаграмм.

3.4.4 Построить с помощью правила фаз кривые охлаждения сплавов по заданию преподавателя, выявить критические точки, обозначить их.

3.4.5 Описать процесс кристаллизации.

3.4.6 Зарисовать структуры сплавов.

3.4.7 Определить концентрацию сплавов в заданных точках и, применив правило отрезков, рассчитать количественное соотношение фаз, концентрацию структурных составляющих.

3.4.8 Описать графически связь между типом диаграммы и изменением свойств сплавов по Курнакову.

### 3.5 Справочные данные

При всем многообразии сплавов различных элементов в процессе кристаллизации и образования структуры выявляется закономерность. Два компонента – исходные элементы сплава, могут образовывать следующие виды соединений:

- механическую смесь;
- твердый раствор;

– химическое соединение.

В случае, когда два компонента образуют механическую смесь, отсутствует способность растворяться в твердом состоянии или образовывать химическое соединение. Структура сплава представляет собой смесь кристаллов, построенных из атомов одного или другого компонента. Кроме этого возможны варианты, когда в структуре наблюдается смесь твердых растворов.

Твердые растворы – это сплавы, в которых атомы растворимого компонента располагаются в кристаллической решетке компонента – растворителя. Различают твердые растворы: замещения и внедрения.

В твёрдом растворе замещения (рисунок 5.1 а) атомы растворителя частично замещены в узлах кристаллической решётки атомами второго компонента.

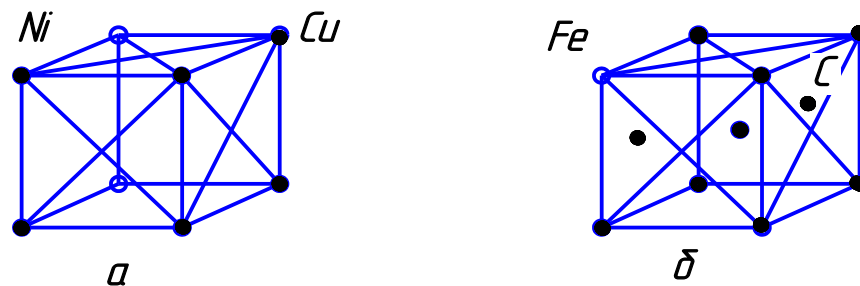


Рисунок 3.1 – Схема кристаллической решётки твёрдых растворов:  
а – замещения, б – внедрения

Твёрдые растворы замещения образуют компоненты, имеющие одинаковый тип кристаллической решётки. Если отличие размеров атомных диаметров не превышает 8%, то образуется твердый раствор с неограниченной растворимостью. При отличии параметров на 8–15% растворимость компонентов ограничена.

В твердом растворе внедрения атомы растворенного элемента размещаются между узлами кристаллической решетки растворителя (рисунок 3.1 б). Растворы подобного типа образуют металлы и металлоиды, например, углерод, растворяясь в железе Fe $\alpha$ , образует общую кристаллическую решетку – твердый раствор феррит. Растворы обозначают буквами греческого алфавита  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ , и т.д.

Химическое соединение образуется при определенном соотношении компонентов сплава. В этом случае строится новая кристаллическая решетка, отличная от решеток исходных компонентов. Химическое соединение отличается высокой твердостью и хрупкостью. Обозначается в общем виде химическое соединение формулой AmBn.

Характер взаимоотношений компонентов в сплаве можно определить по диаграммам состояния сплавов.

### Анализ диаграмм состояния сплавов

**Диаграмма первого рода** или случай, когда два компонента:

- а) растворимы в жидком состоянии;
- б) не образуют химического соединения;
- в) в твердом состоянии образуют механическую смесь.

Такой вид соединения имеют сплавы Pb–Sb, Sn–Zn, Pb–Ag и др. Рассмотрим систему свинец–сурьма (Pb–Sb) и построим кривые охлаждения их сплавов (рисунок 3.2).

По диаграмме видно, что температура кристаллизации свинца – 327°C, сурьмы – 631°C. Кристаллизация сплавов начинается по линии АСВ (ликвидус), заканчивается – по ЕСF (солидус).

Кристаллизация сплава 13% Sb, 87% Pb начинается и заканчивается в точке С при температуре 245°C. В этом случае каждый компонент образует свою кристаллическую решетку. При большом увеличении в микроструктуре можно различить смесь мелких кристаллов свинца и сурьмы – эвтектику.

В сплавах с содержанием свинца более 87% кристаллизация начинается с появления кристаллов избыточного свинца. Эти сплавы называются доэвтектическими. Сплавы с содержанием сурьмы более 13% называются заэвтектическими. В них избыточной по сравнению с равновесным составом является сурьма, с неё начинается кристаллизация в сплаве и проходит в интервале температур между линиями СВ и СF.

После кристаллизации избыточного компонента оставшаяся жидкость образует механическую смесь. В твердом состоянии микроструктура доэвтектического и заэвтектического сплавов состоит из кристаллов избыточного компонента и эвтектики.

Правильность построения кривых охлаждения по диаграмме состояния проверяется с помощью правила фаз Гиббса.

Правило фаз Гиббса, устанавливает зависимость между числом степеней свободы С равновесной системы, числом фаз Ф, компонентов К и внешних факторов, которая выражается следующей формулой:

$$C = K + I - \Phi, \quad (3.1)$$

где К – число компонентов.

**Компонент** – независимая часть системы (химический элемент, химическое соединение);

**Система** – совокупность фаз в сплаве;

**Ф** – число фаз.

**Фаза** – однородная часть сплава, отделенная, от других частей поверхностью раздела. Фазами могут быть сами компоненты, их растворы, химсоединения.

**С** – число степеней свободы (вариантность системы) – число возможных вариантов изменения температуры, концентрации фаз без изменения их числа.

Если  $C = 0$ , то система называется безвариантной, т.е. процесс идет при постоянной температуре и концентрации.

Используя правило фаз, построим кривую охлаждения сплава, содержащего 13%Sb, 87%Pb. Начнем с выявления критических точек. Вертикаль сплава пересекает только одну линию диаграммы, следовательно, у этого сплава одна критическая точка. До точки 1 в сплаве имеется одна фаза – жидкость. Число степеней свободы  $C = K + 1 - \Phi = 2 + 1 - 1 = 2$ . В точке 1 появились сразу ещё две фазы: кристаллы – свинца и сурьмы.  $C = 2 + 1 - 3 = 0$ . Система безвариантная, т.е. процесс идет без изменения температуры и концентрации. В точке 1' кристаллизация сплава закончилась.

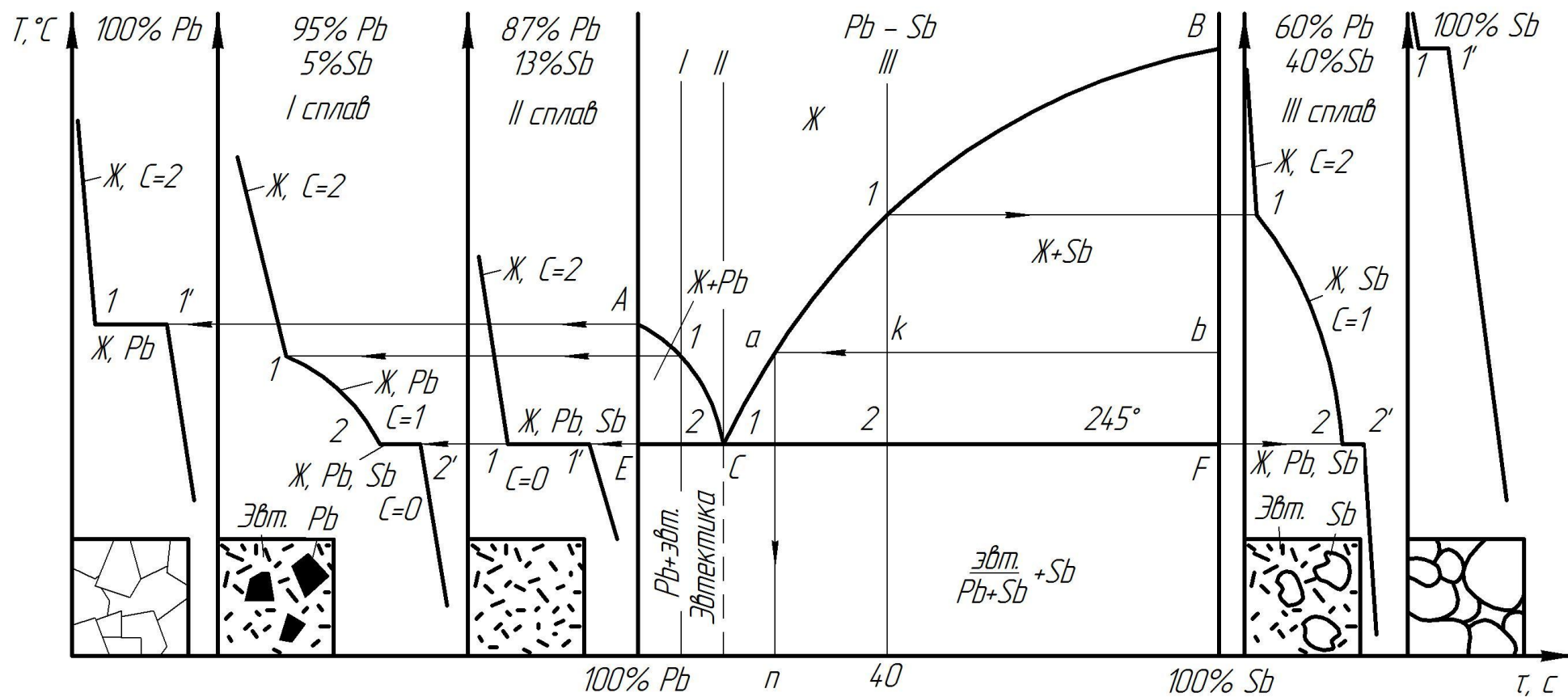


Рисунок 3.2 – Построение кривых охлаждения по диаграмме Pb–Sb

В заэвтектическом сплаве, например, 80% Sb, 20% Pb – две критические точки: 1 и 2.

До т. I в сплаве фаза – Ж, идет быстрое охлаждение, и фазовых превращений не происходит при изменении двух факторов: температуры и концентрации ( $C = 2 + 1 - 1 = 2$  – две степени свободы), на участке 1–2 появляется вторая фаза – кристаллы сурьмы.  $C = 2 + 1 - 2 = 1$  (одна степень свободы). Процесс кристаллизации сопровождается выделением тепла, скорость охлаждения сплава уменьшится. С понижением температуры количество кристаллов сурьмы увеличивается, концентрация Ж стремится к эвтектической. Концентрацию жидкости в заданной т. «К» можно определить, проведя через нее горизонтальную линию (к аноду) до пересечения с ликвидусом (рис. 3.2.). Концентрацию жидкости т. "К" покажет т. "п".

В т. 2 в жидкой фазе установится равновесное соотношение и начнется образование механической смеси.  $C = 2 + 1 - 3 = 0$ , фазы: Pb, Sb Ж. На кривой охлаждения на участке 2–2' будет температурная остановка.

В т. 2<sup>1</sup> кристаллизация закончится, охлаждение сплава продолжится без фазовых превращений. В микроструктуре видны две составляющие: кристаллы сурьмы на фоне эвтектики.

**Правило отрезков:** Правило отрезков позволяет определить количество фаз, структурных составляющих в двухфазной зоне диаграммы. Например, в т «К» сплав состоит из фаз: Ж, Sb. Чтобы определить их количество, через точку проводят коноду до пересечения с ликвидусом (т. «а») и до 100% Sb. Отрезок "ав" покажет количество сплава  $Q_{cn}$ . Согласно правилу отрезков:

$$\frac{Q_{жс}}{Q_{cn}} = \frac{кв}{ав} \quad (3.2)$$

$$\frac{Q_{жс}}{Q_{Sb}} = \frac{кв}{ак} \quad (3.3)$$

где  $Q_{жс}$  – количество жидкой фазы;

$Q_{Sb}$  – количество твердой фазы (Sb).

**Диаграмма второго рода** или случай, когда два компонента:

- а) неограниченно растворимы друг в друге, как в жидком, так и в твердом состоянии;
- б) химических соединений не образуют.

К этому типу диаграмм относятся сплавы Cu–Ni, Co–Ni, Fe–Ni.

Рассмотрим диаграмму на примере Cu–Ni (рисунок 3.3):

Линия АСД – ликвидус, показывает начало кристаллизации сплава. В рассматриваемом сплаве – это т.1. 1 Выше т. 1 (рисунок 3.3 а) сплав находится в виде жидкости,



а)

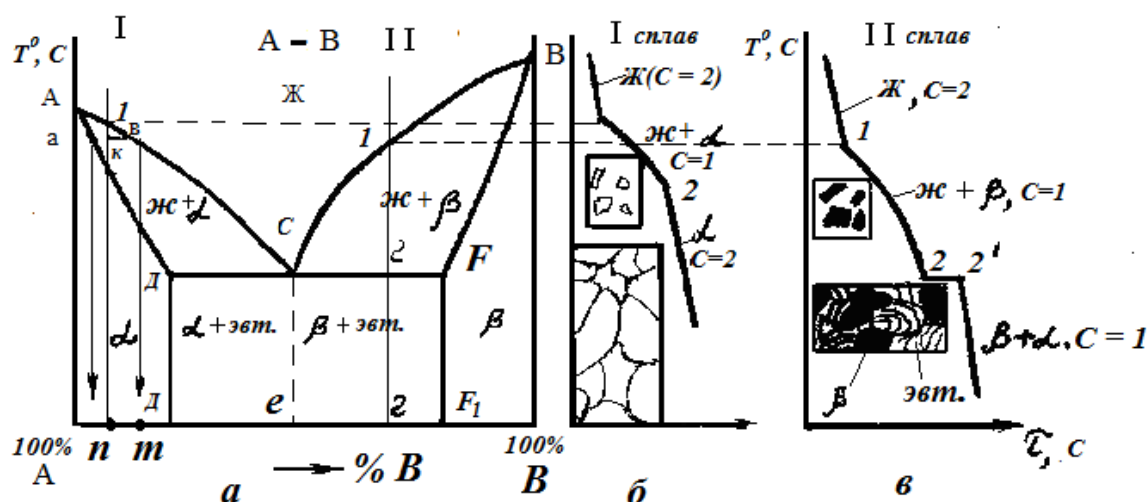


Рисунок 3.4 – Диаграмма третьего рода:

б, в – кривые охлаждения и схемы структур сплавов

Кристаллизация сплава начинается ниже ликвидуса – линии АСВ. В небольших количествах компонент "В" растворяется в "А", образуя  $\alpha$  – раствор. Точка Д<sup>1</sup> показывает максимальную растворимость «В» в «А». Сплав на основе компонента "В" образует раствор  $\beta$ . Максимальное количество компонента "А", которое может раствориться в "В" указывает точка F. Ниже линия FB и АД сплавы представляют соответственно твердые растворы  $\beta$  и  $\alpha$ . В сплаве концентрации т. С кристаллизуются одновременно  $\alpha$  и  $\beta$  – растворы, т.е. образуется эвтектика – смесь  $\alpha + \beta$ . Кристаллизация в доэвтектическом (участок АС) и заэвтектическом (участок СВ) сплавах начинается с образования  $\alpha$  или  $\beta$  –растворов соответственно. В процессе кристаллизации концентрация жидкости приближается к эвтектической, и при температуре линии DF идёт одновременная кристаллизация  $\alpha$  и  $\beta$ . Солидус диаграммы – линия АДСFB.

Преобразования в первом сплаве (рисунок 3.4 б). В т. 1 началась кристаллизация  $\alpha$  – раствора. На участке 1 – 2 скорость охлаждения замедлилась. В сплаве две фазы: Ж,  $\alpha$ ,  $C = 1$ . В т. 2 кристаллизация и фазовые превращения закончились.

В т. "К" концентрацию кристаллов укажет т. "n", жидкости – т. "m". Количество фаз в т. К определяют по правилу отрезков (смотри формулы 5.2, 5.3):

$$\frac{Q_{жс}}{Q_{\alpha}} = \frac{ак}{кв}, \quad \frac{Q_{\alpha}}{Q_{сн}} = \frac{кв}{ав}$$

Преобразования во втором сплаве (рисунок 3.4 в). Кристаллизация  $\beta$  раствора начинается в т. 1. На участке 1 – 2 в сплаве фазы – Ж,  $\beta$ , число степеней свободы  $C = 1$ . Скорость охлаждения уменьшается, при этом концентрация жидкости стремится к эвтектическому составу. Образование смеси наблюдается на участке 2–2<sup>1</sup>. В сплаве присутствуют три фазы: Ж,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $C = 0$  следовательно, процесс идёт при постоянной темпе-

ратуре. В т. 2<sup>1</sup> фазовые превращения заканчиваются, по правилу отрезков определим количество структурных составляющих в т."2":

$$\frac{Q_{\beta}}{Q_{\text{эвт}}} = \frac{ze}{zeF_1}, \quad \frac{Q_{\beta}}{Q_{\text{сн}}} = \frac{ze}{eF_1}$$

**Диаграмма четвёртого рода** или случай, когда два компонента в твёрдом состоянии образуют химическое соединение по формуле  $A_mB_n$ .

Если в системе А – В (рисунок 3.5) при концентрации т. m образуется устойчивое химсоединение, то его можно рассматривать как самостоятельный компонент, образующий с компонентами А и В две диаграммы, тип которых зависит от свойств образующих их элементов. В данном случае химическое соединение  $A_mB_n$  с компонентом А образует механическую смесь (диаграмма первого рода), а с компонентом В – раствор  $\beta$  (диаграмма второго рода).

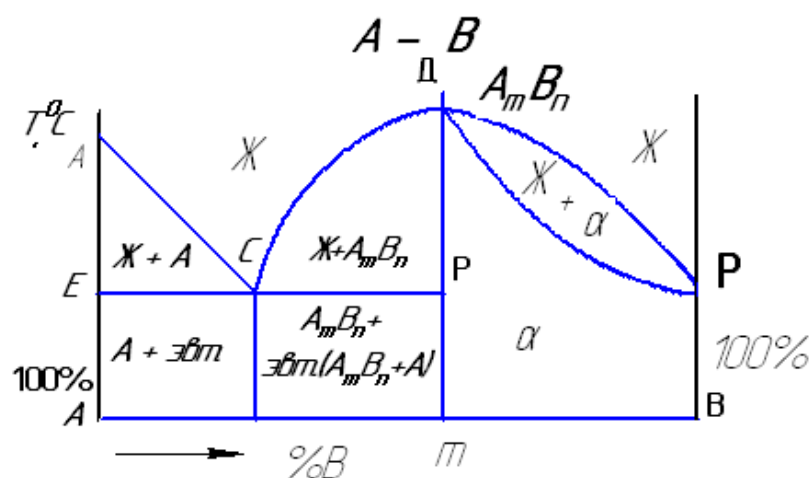


Рисунок 3.5 – Диаграмма четвёртого рода

### Связь между типом диаграмм и свойствами сплавов по Н.С. Курнакову

По результатам исследований академик Н. С. Курнаков установил, что механические и физические свойства сплавов зависят от рода диаграммы. Твердость НВ, ударная вязкость  $a_k$ , электросопротивление  $\rho$ , относительное удлинение  $\delta$  при образовании механической смеси изменяется прямолинейно, при образовании твердых растворов свойства изменяются по плавным кривым, при образовании химсоединения – меняются резко, скачком (рисунок 3.6).



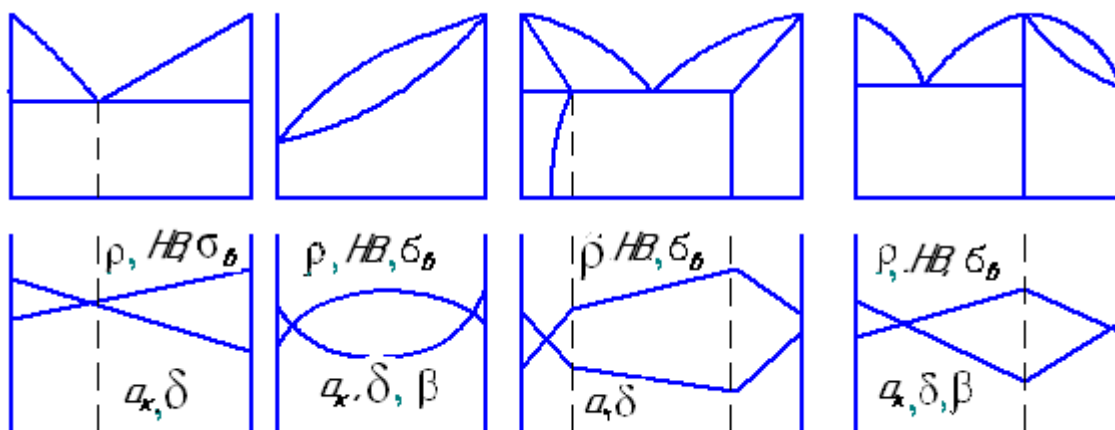


Рисунок 3.6 – Связь между родом диаграммы и свойствами сплавов

### 3.6 Содержание отчёта

В отчёт должны быть включены: цель работы, анализ диаграмм состояния сплавов (определение диаграмм I, II, III и IV родов и их изображения), правило фаз Гиббса и правило отрезков, выводы.

### 3.7 Вопросы для контроля

- 3.7.1 Какие виды соединений могут образовывать два компонента?
- 3.7.2 Назначение диаграммы состояния сплавов?
- 3.7.3 Что такое фаза, число степеней свободы, эвтектика?
- 3.7.4 Какие виды ликвации вы знаете, как её устранить?
- 3.7.5 Дать определение диаграмм I, II, III и IV родов. Назвать ликвидус и солидус, описать превращения в сплавах с использованием правила фаз.

#### **4 ДИАГРАММА Fe–Fe<sub>3</sub>C. СТРУКТУРНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ И БЕЛОГО ЧУГУНА**

##### 4.1 Цель работы

Изучить диаграмму Fe–Fe<sub>3</sub>C, проанализировать превращения, происходящие в сплавах с изменением температуры, рассмотреть их микроструктуры.

##### 4.2 Задание

4.2.1 Изучить справочные данные. Ознакомиться с устройством и работой приборов, используемых в работе.

4.2.2 Провести эксперимент и занести полученные данные в таблицу 6.1.

4.2.3 Написать отчёт.

##### 4.3 Оборудование и материалы на рабочем месте

4.3.1 Металлографический микроскоп МИМ–7.

4.3.2 Комплект микрошлифов стали и чугуна.

4.3.3 Альбомы микроструктур.

#### 4.4 План выполнения работы:

4.4.1 Построить кривую охлаждения чистого железа, зарисовать типы кристаллических решеток при разных температурах.

4.4.2 Дать определение структурным составляющим диаграммы состояния Fe–Fe<sub>3</sub>C(Ц), краткую характеристику (аустенит, перлит, феррит, цементит, ледебурит).

4.4.3 Дать определение линиям диаграммы Fe–Ц: АСД, АЕCF, ECF, PSK, CS .

4.4.4 На формате А4 изобразить диаграмму Fe – Ц, оставив слева место для построения трех кривых охлаждения стали, а внизу сделать три квадрата 30×40 для изображения их микроструктур.

4.4.5. Построить по критическим точкам с помощью правила фаз Гиббса кривые охлаждения стали, указать фазы на каждом участке и число степеней свободы. Описать превращения в сплавах при охлаждении (по заданию преподавателя).

4.4.6. Определить содержание углерода в стали, зная площадь, занимаемую структурными составляющими:

Задача 1. На шлифе 30%П + 70Ф.

Задача 2. На шлифе 95%П + 5%Ц

4.4.7 Рассмотреть под микроскопом микроструктуры сплавов и зарисовать их схемы, определить содержание углерода и марку стали. Полученные данные занести в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Протокол наблюдений

№ п/п	Сплав	Схема микроструктуры	Площадь структуры, состав	Расчет %С	Марка стали, химический состав
1	Технически чистое железо				
2	Доэвтектоидная сталь				
3	Эвтектоидная сталь				
4	Заэвтектоидная сталь				

4.4.8 Построить три кривые охлаждения белых чугунов.

4.4.9 Описать превращения, происходящие в чугунах при охлаждении и зарисовать их структуру.

#### 4.5 Справочные данные

Сталь и чугун – сплавы железа с углеродом. Они являются основным материалом, используемым в машиностроении, в строительстве, в быту. Поведение железоуглеродистых сплавов, их фазовые, структурные превращения с изменением температуры, концентрации углерода описывает диаграмма Fe–Fe<sub>3</sub>C (метастабильная диаграмма равновесия). Эта диаграмма изображается сплошными линиями, которые отражают состояние равновесия в присутствии углерода в сплавах в виде цементита (карбид железа Fe<sub>3</sub>C) (рисунок 4.2). Диаграмма дана в упрощенном виде, является фрагментом диаграммы Fe–C с содержанием углерода до 6,67% и описывает сплавы, которые представляют практический интерес.

На основе диаграммы Fe–Ц решаются вопросы термообработки, химико–термической обработки стали, назначаются режимы обработки металлов давлением, решаются вопросы литейного производства.

Различают железоуглеродистые сплавы: сталь (содержание углерода до 2,14%С) и чугун (сплав с большим количеством углерода).

#### **Кривая охлаждения железа**

Анализируя диаграмму Fe–Ц, необходимо учитывать тот факт, что железо аллотропно (полиморфно). Полиморфизм железа заключается в том, что оно при изменении температуры имеет различное кристаллическое строение (рисунок 4.1).

Кристаллизация железа происходит при температуре 1539°С. Кристаллы имеют форму объемно–центрированного куба (ОЦК) и называются Fe δ. Координационное число – К=8.

Следующая модификация железа появляется при температуре 1392°С. Она имеет форму гранецентрированного куба (ГЦК), немагнитна и называется Fe γ. Координационное число – К12.

При температуре 910°С решетка железа снова приобретает форму ОЦК с меньшей величиной грани, с координационным числом К8. Эта модификация называется Fe β. Она также немагнитна.

Долгое время считали, что железо имеет три аллотропные формы, но обратили внимание на тот факт, что при температуре 768°С (точка Кюри) железо приобретает магнитные свойства. Исследования с помощью электронного микроскопа выявили уменьшение величины грани решетки, хотя тип её не изменился. Эту модификацию железа назвали Feα.

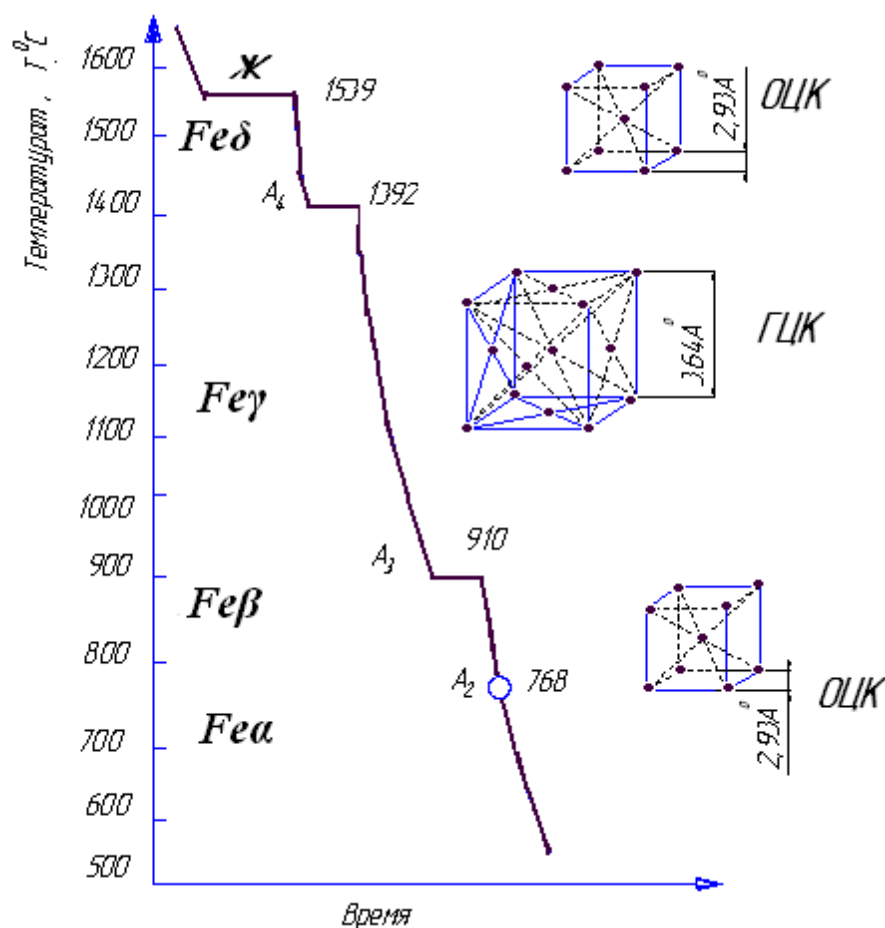


Рисунок 4.1 – Кривая охлаждения чистого железа

Железо и углерод в зависимости от концентрации и температуры нагрева могут образовывать различные фазы и структуры. Для того, чтобы прочесть диаграмму, познакомимся с названиями структурных составляющих железоуглеродистых сплавов.

### Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов

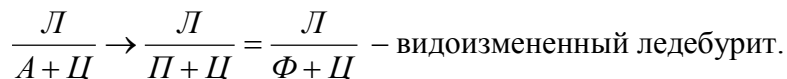
**Феррит** – твердый раствор углерода в железе Fe α. В феррите максимально растворяется при температуре 727°C 0,02%С. С понижением температуры до комнатной растворимость углерода уменьшается до 0,006%. Феррит – мягкая, пластичная фаза, его твердость НВ<100, он магнитен.

**Аустенит** – твердый раствор углерода в Fe γ. При температуре 1147°C растворяет до 2,14%С, при температуре 727°C – 0,8%С. Микроструктура аустенита – светлые зерна с двойниками. Аустенит немагнитен, вязок, поэтому при обработке стали давлением её нагревают до аустенитного состояния. Твердость аустенита НВ 200.

**Цементит** – химическое соединение Fe<sub>3</sub>С, образуется при содержании углерода 6,67%, он имеет высокую твердость (НВ 800), отличается хрупкостью, присутствует в микроструктуре стали в виде светлой сетки по границам зерна, в чугунах – в виде светлых игл.

Перлит – механическая смесь феррита и цементита. Перлит – эвтектоид, т.к. эта смесь образуется в твердом состоянии при распаде аустенита, содержащего 0,8%С при температуре 727°С. Твердость перлита зависит от величины пластинок цементита (НВ 180...240)

Ледебурит – механическая смесь аустенита и цементита (эвтектика). Образуется смесь при кристаллизации из жидкого расплава, имеющего концентрацию 4,3%С при температуре 1147°С. При температуре 727°С ледебурит видоизменяется. Это связано с распадом аустенита на смесь Ф + Ц, следовательно, произойдет превращение:



Ледебурит хрупок, имеет твёрдость НВ700.

### Анализ диаграммы Fe – Ц

АСД – линия ликвидус. Линия АС соответствует температуре начала кристаллизации аустенита. В сплавах с содержанием С < 2,14% кристаллизация аустенита заканчивается на линии АЕ. Концентрацию аустенита в интервале температур определяют по линии АЕ.

По мере кристаллизации аустенита содержание углерода в жидкости увеличивается, оно приближается к 4,3% и определяется по линии АС. (рисунок 4.2).

Участок СД соответствует температуре начала кристаллизации первичного цементита из жидкого сплава. По мере кристаллизации цементита концентрация жидкости изменяется по линии СД и стремится к 4,3%С.

АЕСF – линия солидус. При этих температурах кристаллизация заканчивается. Сплавы с содержанием углерода до 2,14% (стали) ниже линии АЕ находятся в виде аустенита.

ЕСF – линия ледебуритного превращения. При этой температуре оставшийся жидкий сплав эвтектического состава (4,3%С) кристаллизуется в виде смеси А + Ц (ледебурит).

В структуре сплавов Fe – Ц превращения происходят и в твердом состоянии. Это связано:

- а) с переходом Fe  $\gamma \rightarrow$  Fe  $\alpha$ ;
- б) с уменьшением растворимости углерода в решетке с понижением температуры.

GS – линия, которая определяет температуру начала выделения из аустенита феррита. Её температура меняется от 910° для железа до 727°С для сплава, содержащего 0,8%С. Феррит, выделившийся из аустенита, содержит не более 0,02%С. Его появление ведет к обогащению углеродом оставшегося аустенита до 0,8% (растворимость определяется по линии GS). В точке S аустенит, содержащий 0,8%С, распадается на смесь Ф + Ц, которая называется – перлит (эвтектоид).

Линия PSK – линия перлитного превращения. При этой температуре заканчиваются фазовые превращения в сплавах. В результате превращения сталь, содержащая до 0,8%С, имеет в структуре Ф + П. Эта сталь называется – доэвтектоидная.

В заэвтектоидной стали ( $C > 0,8\%$ ) с понижением температуры ниже линии SE растворимость углерода уменьшается от 2,14% до 0,8%. Углерод выходит из аустенита в виде цементита вторичного, который тонкой сеткой окружает зерно аустенита. Так как цементит отличается высоким содержанием углерода (6,67%), то его выделение ведет к уменьшению количества углерода в аустените до 0,8%. Аустенит на линии SK превращается в перлит. Структура заэвтектоидной стали –  $\text{П} + \text{Ц}^{\text{II}}$ .

Аналогичные изменения наблюдаются с понижением температуры в чугунах. В зависимости от состава сплав, содержащий 4,3%С, будет иметь в структуре ледебурит (эвтектический чугун), от 2,14 до 4,3%С – структуру  $\text{П} + \text{Л} + \text{Ц}^{\text{II}}$  (доэвтектический чугун), более 4,3%С – структуру  $\text{Л} + \text{Ц}^{\text{I}}$  (заэвтектический чугун). Таким образом, чем больше в чугуне углерода, тем больше места в его структуре занимает цементит.

Все описанные при охлаждении изменения структуры обратимы. Например, при нагреве сплавов до линии PSK перлит снова объединяется в аустенит, при дальнейшем нагреве феррит превращается в аустенит, цементит растворяется в аустените и т.д.

Рассмотрим превращения в некоторых железоуглеродистых сплавах на кривых охлаждения, построенных с помощью правила фаз по диаграмме Fe–Ц (рисунок 4.2 а, в).

### Углеродистые стали

Сплав 1 (доэвтектоидная сталь). В критической точке 1 началась кристаллизация аустенита. На участке 1–2 в сплаве присутствуют две фазы: Ж, А. Согласно правилу фаз  $C = K + 1 - \Phi = 2 + 1 - 2 = 1$ . Скорость охлаждения сплава замедлится, т.к. процесс кристаллизации сопровождается выделением внутренней энергии. В т. 2 кристаллизация закончилась, и на участке 2–3 аустенит охлаждается без превращений ( $C = 2 + 1 - 1 = 2$ , две степени свободы).

В т. 3 из аустенита начал выделяться феррит, который содержит не более 0,02%С. В процессе перестройки на участке 3–4  $C = 2 + 1 - 2 (А, \Phi) = 1$ . Содержание углерода в оставшемся аустените увеличивается до 0,8%С.

В т. 4 происходит распад  $A \rightarrow \Phi + \text{Ц}$ . Число степеней свободы  $C = 2 + 1 - 3 (А, \Phi, \text{Ц}) = 0$ . В этом случае система безвариантна, процесс идет при постоянной концентрации и температуре. В т. 4' распад аустенита заканчивается, фазовые превращения прекращаются, доэвтектоидная сталь после охлаждения имеет структуру:  $\text{П} + \Phi$  (рисунок 4.2 б; 4.3).

По микроструктуре доэвтектоидной стали с достаточной степенью точности можно определить содержание углерода. Приняв во внимание, что содержание углерода в феррите ничтожно мало, можно допустить, что имеющийся в стали углерод сосредотачивается в зернах перлита. Это позволяет составить пропорцию:

$$100\% \text{П} \text{ — } 0.8\% \text{С}$$

$$F_n \text{ — } X \quad \text{т.е. } x = \frac{F_n \cdot 0,8}{100}, \quad (4.1)$$

где  $F_n$  – площадь, занятая перлитом, %;

$X$  – содержание углерода, %.

Чем больше в стали углерода, тем больше перлита в его структуре.

Сплав II (эвтектоидная сталь, 0,8%С). До т. 3 кристаллизация в сплаве проходит аналогично доэвтектоидному сплаву. В точке 3 аустенит распадается на эвтектоид перлит, смесь Ф + Ц. Число степеней свободы  $C = 2 + 1 - 3 (A, Ф, Ц) = 0$ , т.е. процесс идёт при постоянной концентрации, ни температуре. В структуре стали наблюдаем зерна перлита.

Сплав III (заэвтектоидная сталь,  $C > 0,8\%$ ). До т. 3 процесс кристаллизации у любой стали начинается одинаково. По мере охлаждения заэвтектоидной стали ниже т. 3 растворимость углерода в аустените изменяется по линии SE. Из аустенита выделяется вторичный цементит, скорость охлаждения при этом уменьшается,  $C = 2 + 1 - 2(A, Ц) = 1$ . При понижении температуры до линии PSK в аустените остается 0,8%С, и на участке 4–4' он распадается на перлит,  $C = 2 + 1 - 3 = 0$ . В структуре заэвтектоидной стали имеем  $\Pi + Ц''$ , количество цементита возрастает с увеличением содержания углерода.

Зная площади, занимаемые различными структурными составляющими, можно определить содержание углерода в заэвтектоидной стали. Например, если 95% площади шлифа занимает перлит, а вторичный цементит – 5%, то содержание углерода в стали –  $x$ , %:

1) на участках перлита содержится углерода  $X_1$ , %:

$$X_1 = \frac{95 \times 0,81}{100} = 0,77\% C$$

2) в цементитной сетке –  $X_2$ :  $100\%Ц - 6,67\%C$

$$5\%Ц - X_2$$

$$\text{т.е. } X_2 = \frac{5 \cdot 6,67}{100} = 0,34\%$$

в) общее содержание углерода в стали:

$$x = x_1 + x_2 = 1,11\% C$$

Зная содержание углерода в стали, можно определить количество площадей различных структур, применяя правило отрезков. Например. Если в сплаве содержится 1%С, то

$$\frac{F_n}{F_{\text{ш}}} = \frac{kb}{ab}, \quad (4.2)$$

где  $kb$  – отрезок, определяющий площадь, занимаемую перлитом;

$ab$  – отрезок, определяющий площадь всего шлифа;

$F_n$  – площадь перлита, %;



$F_u$  – площадь шлифа, %.

$$F_n = F_u \frac{6,67 - 1}{6,67 - 0,81} = 0,96 F_u ; 96\% F_u$$

Площадь перлита занимает 96% площади шлифа.

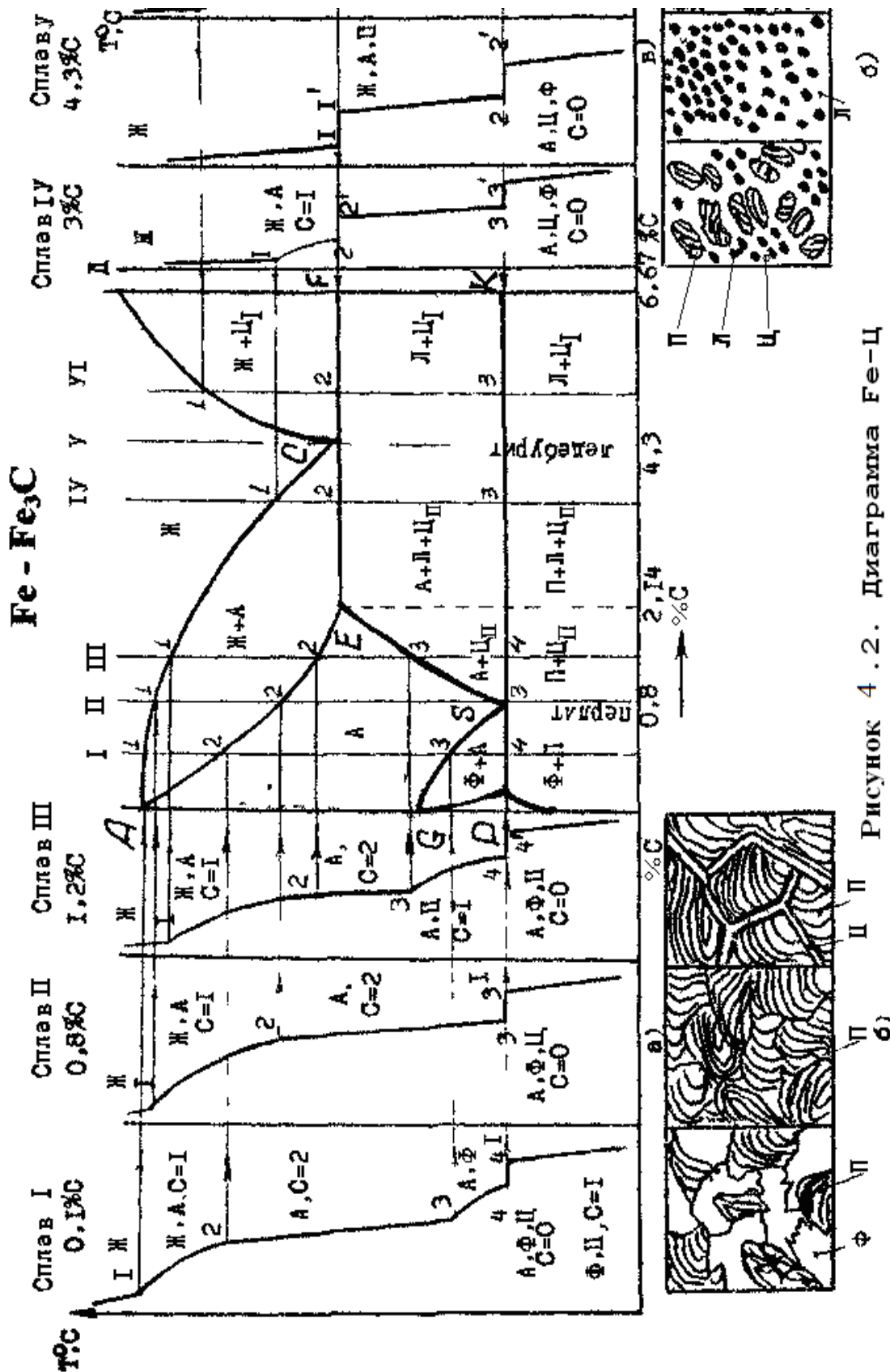


Рисунок 4.2. Диаграмма Fe-Ц

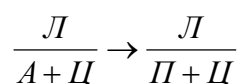
а - кривые охлаждения; б - структуры сплавов;  
 в - кривые охлаждения чугуна

### Белые чугуны

Сплавы с содержанием углерода более 2,14% называются чугунами. Чугуны, в которых углерод находится в виде цементита, называются белыми. Кривые охлаждения чугунов показаны на рисунок 6.2 в.

Сплав У (С =4,3%, эвтектический чугун). У эвтектического сплава кристаллизация начинается в т. 1 с образования смеси аустенита и цементита (ледебурита). Число степеней свободы  $C = 2 + 1 - 3 (Ж, А, Ц) = 0$ , т.е. этот процесс проходит при постоянной температуре 1147°C на участке 1–1' и концентрации 4,3%С.

На линии PSK (т. 2) ледебурит видоизменяется:



Число степеней свободы  $C=2+1-3(А, Ц, Ф) = 0$ , следовательно, процесс идет на участке 2–2' также при постоянной температуре.

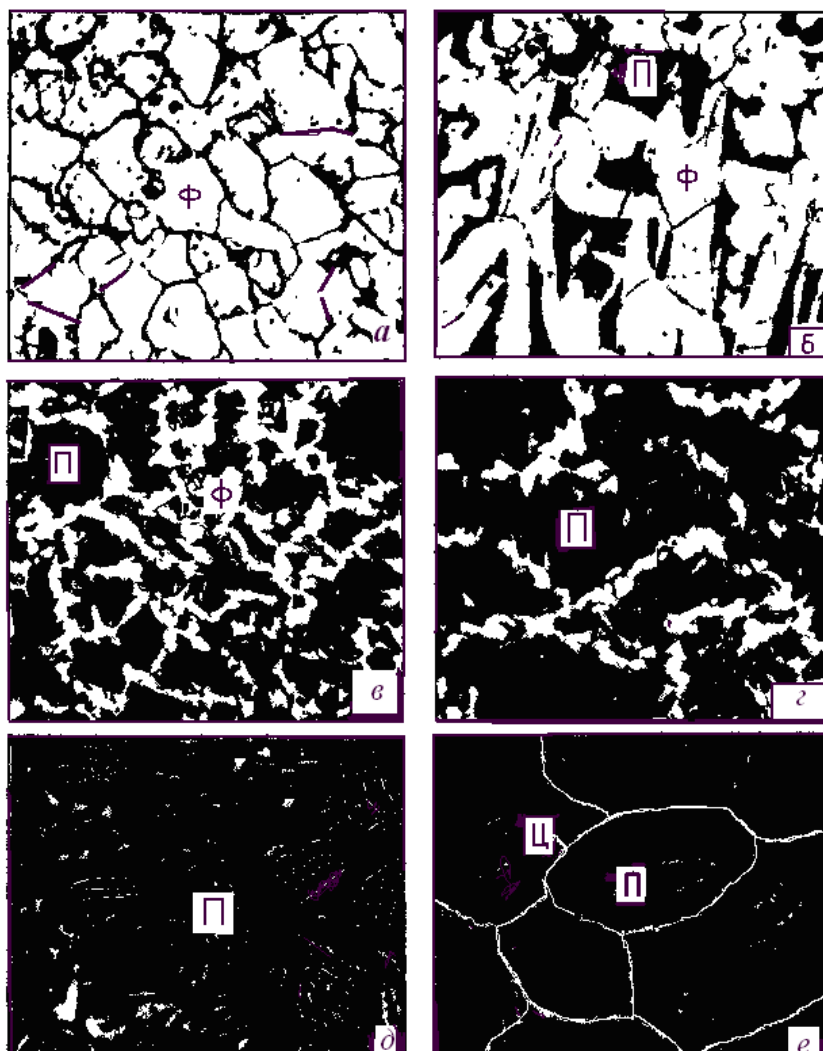


Рисунок 4.3 – Микроструктура стали после отжига (x300): а – армко–железо, структура – феррит; б – Сталь 10, структура – феррит и перлит; в – сталь 45, структура – перлит и феррит; г – Сталь 60, структура – перлит и феррит; д – сталь У8, структура – перлит; е – сталь У13, структура – перлит и цементит

Сплав IV (дозвтектический чугун). В чугунах с содержанием углерода менее чем 4,3% в т. 1 начинает кристаллизоваться аустенит. При этом концентрация углерода в оставшейся жидкости определяется по линии АС и стремится к 4,3%С. Число степеней свободы на участке 1–2  $C = 2 + 1 - 2 \{Ж, А\} = 1$ . Скорость охлаждения уменьшилась.

В т. 2 оставшаяся жидкость приобрела эвтектическую концентрацию, началась одновременная кристаллизация А + Ц, образуется смесь – ледебурит. Число степеней свободы  $C = 2 + 1 - 2 \{Ж, А, Ц\} = 1$ , т.е. процесс идет при постоянной температуре на участке 2–2'. В т. 2' кристаллизация закончилась. При дальнейшем охлаждении из-за уменьшения растворимости углерода из аустенита выделяется цементит вторичный. Значительного уменьшения скорости охлаждения при этом не происходит.

В точке 3 аустенит, избавившись от лишнего углерода, распадается на механическую смесь перлит (Ф + Ц), ледебурит видоизменяется, число степеней свободы  $C = 2 + 1 - 3 (А, Ф, Ц) = 0$ , т.е. процесс на участке 3–3<sup>1</sup> идет также при постоянной температуре. При дальнейшем охлаждении превращений в сплаве не будет. Структура доэвтектического чугуна состоит: П+Л+Ц<sup>II</sup>.

Сплав VI (заэвтектический чугун). У заэвтектического чугуна кривая охлаждения отличается от предыдущей кривой верхней частью, т.к. кристаллизация начинается в т. I с выделения из жидкости цементита первичного, процесс связан с уменьшением скорости охлаждения. На участке 1–2  $C = 2 + 1 - 2 (Ж, Ц) = 1$ . В т. 2 в оставшейся жидкости установилась равновесная концентрация, началась одновременная кристаллизация аустенита и цементита (ледебурита),  $C = 2 + 1 - 3 (Ж, А, Ц) = 0$ . Процесс проходит на участке 2–2<sup>1</sup> при постоянной температуре. При температуре линии PSK аустенит превращается в перлит, в структуре чугуна можно увидеть видоизмененный ледебурит и первичный цементит.

#### 4.6 Содержание отчёта

В отчёт включается: цель работы, определение структурных составляющих (аустенит, феррит, цементит, перлит, ледебурит) и их краткая характеристика, определение стали, чугуна и их разновидности в зависимости от содержания углерода, результаты испытаний (табл. 6.1.), а также расчёт содержания углерода в стали (пункт 6.4.6.)

#### 4.7 Вопросы для контроля

4.7.1 В чем заключается полиморфизм железа?

4.7.2 Дать определение перлита, феррита, аустенита, ледебурита, цементита.

4.7.3 Что такое сталь, чугун? Указать их разновидности в зависимости от содержания углерода по структуре.

4.7.4 Указать структурные и фазовые составляющие железоуглеродистых сплавов.

4.7.5 Объяснить методику определения содержания углерода по микрошлифу.

4.7.6 Построить кривые охлаждения сплавов с различным содержанием углерода и их структуру.

4.7.7 Привести примеры маркировки сталей и их классификацию по назначению (таблица 4.2; 4.3).

Таблица 4.2 – Маркировка, химический состав, механические свойства и применение углеродистой стали

Марка стали	Химический состав, %	Механические свойства	Применение
-------------	----------------------	-----------------------	------------

1	C	Mn	Si	S	P	НВ, МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	10
	2	3	4	5	6		8	9	
Конструкционные стали обыкновенного качества ГОСТ 380–88									
Ст. 0	До 0,23	–	–	0,060	0,070	200	350	22	Колпаки, шайбы.
Ст. 1	0,07– 0,12	0,3 – 0,50	–	0,055	0,050	220	350	33	Метизы, гайки, болты.
Ст. 2	0,09– 0,15	0,35– 0,50	–	0,055	0,050	250	350	31	Для штамповки.
Ст. 3	0,14– 0,22	0,40– 0,65	0,12– 0,30	0,055	0,050	320	420	24	Сварные конструкции.
Ст. 4	0,18– 0,27	0,40– 0,70	0,10– 0,30	0,055	0,050	350	400	24	Ненагруженные валы, оси, втулки.
Ст. 5	0,28– 0,37	0,50– 0,80	0,17– 0,35	0,055	0,050	380	570	20	Фланцы, пальцы, звездочки.
Ст. 6	0,38– 0,50	0,50– 0,80	0,17– 0,35	0,055	0,050	400	650	14	Оси, пружины.
Ст. 7	0,50– 0,63	0,55– 0,85	0,17– 0,50	0,055	0,050	500	700	10	Рессоры, пружины.
Качественные конструкционные стали после нормализации ГОСТ 1050–88									
05 кп	0,06	0,40	0,03	0,040	0,035	121	230	28	Детали, изготавливаемые холодной штамповкой.
08 кп	0,05– 0,11	0,25– 0,60	0,03	0,040	0,040	131	300	35	Детали с высокой пластичностью трубки, шайбы, вилки и др.
25	0,22– 0,30	0,50– 0,80	0,17– 0,37	0,040	0,040	170	460	23	Оси, валы, муфты, болты, винты, шайбы, фланцы и др.
30	0,27– 0,35	0,50– 0,80	0,17– 0,37	0,040	0,040	179	500	21	Детали, не испытывающие больших напряжений: тяги, серьги, оси, траверсы, звездочки, диски, обода, шпиндели, шайбы, цилиндры прессов, гайки.
40	0,37– 0,45	0,50– 0,80	0,17– 0,37	0,040	0,040	217	580	19	Шатуны, шестерни, оси, валы, штоки, подвески, фланцы, диски
50	0,47– 0,55	0,50– 0,80	0,17– 0,37	0,040	0,040	241	640	14	Шестерни, штоки, бандажи, венцы, прокатные валки.
65	0,62– 0,70	0,50– 0,80	0,17– 0,37	0,040	0,040	255	710	10	Пружины, рессоры.
70	0,67– 0,75	0,50– 0,80	0,17– 0,37	0,040	0,040	269	730	9	Пружины, рессоры.
80	0,77– 0,85	0,50– 0,80	0,17– 0,37	0,040	0,040	295	950	6	Шпиндели и центры токарных станков.

Таблица 4.3 Маркировка, химический состав, механические свойства стали инстру-

## ментальных качественных сталей ГОСТ 1435–90

Марка стали	Химический состав, %					Твёрдость, НВ (зернистый перлит)	Применение
	С	Mn	Si	S	P		
У7	0,65–0,74	0,20–0,40	0,15–0,25	0,030	0,035	187	Инструмент, подвергающийся ударам: зубила, штампы, молотки, стамески и др.
У8	0,75–0,84	0,20–0,40	0,15–0,35	0,030	0,035	187	Инструмент, подвергающийся ударам: штампы, матрицы, пуансоны, пробойники, слесарный инструмент, пилы, зубила.
У9	0,85–0,94	0,15–0,35	0,15–0,35	0,030	0,035	192	Инструмент, требующий твердости и вязкости: штемпели, кернеры, столярный инструмент.
У10	0,95–1,04	0,15–0,35	0,15–0,35	0,030	0,035	197	Режущий измерительный инструмент: резцы, сверла, фрезы, метчики, калибры, плитки.
У11	1,05–1,14	0,15–0,35	0,15–0,35	0,030	0,035	207	Режущий измерительный инструмент.
У12	1,15–1,24	0,15–0,35	0,15–0,35	0,030	0,035	207	Режущий, мерительный и хирургический инструменты.
У13	1,25–1,35	0,15–0,35	0,15–0,35	0,030	0,035	217	Резцы по металлу, бритвы, гранёный инструмент.

## 5 СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВА СЕРЫХ, КОВКИХ И ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЧУГУНОВ

**Чугун** – это сплав железа с углеродом, содержащий более 2,14 % С. Наибольшее применение в машиностроении получили отливки из серого чугуна. Серый чугун отличается от белого тем, что в нем весь углерод или большая его часть находится в виде графита. Графит виден под микроскопом в форме пластин даже на нетравленном шлифе. Он придает излому серый цвет (это определило его название).

Процесс образования графита в чугуне начинается с появления центров графитизации, вокруг которых растут графитные включения. На процесс графитизации влияют скорость охлаждения и химический состав чугуна. В толстых сечениях отливок, где охлаждение идет медленнее, графита образуется больше. В тонких сечениях охлаждение проходит быстрее и графитизация затруднена.

Процесс графитизации дополнительно регулируют, изменяя химический состав. Например, известно, что кремний способствует процессу графитизации, поэтому в тонкостенных отливках его содержание доводится до 4,5 %, а крупные детали отливают из чугуна с меньшим содержанием углерода и кремния.

**Марганец** способствует образованию цементита  $Fe_3C$  (отбеливает чугун). Его вводят в чугун до 1,3 % для увеличения твердости.

**Фосфор** в чугуне увеличивает жидкотекучесть, что очень ценно для тонкостенных отливок, художественного литья.

Графитизация чугуна из жидкого состояния проходит согласно диаграмме Fe-C (рисунок 5.1) Сплошные линии – метастабильная диаграмма Fe- $Fe_3C$ . Пунктирные линии – стабильная диаграмма Fe-Г. Ниже линии С'Д' образуется первичный графит, по эвтектической линии E'С'F'–эвтектический графит, по линии S'E' – вторичный графит. Если при кристаллизации графит не успевает выделиться и образуется цементит, то графитизация может произойти в твердом состоянии в момент распада аустенита, когда из него выделяется цементит. Для этого делает выдержку при 740 °С.

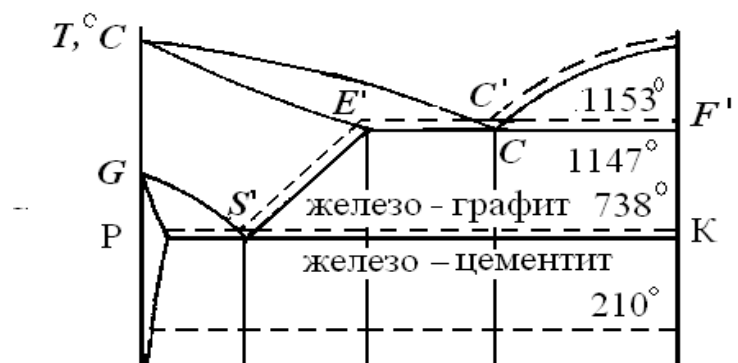


Рисунок 5.1 – Стабильная диаграмма Fe-Ц

В зависимости от формы графитных включений чугун делится на:

- серый (линейная форма графита);
- ковкий (хлопьевидная форма графита);
- высокопрочный (шаровидная форма графита рисунок 5.2 в).

Включения графита можно увидеть на нетравленном шлифе.



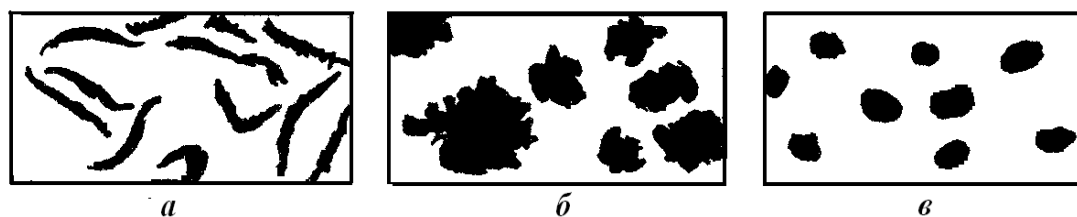
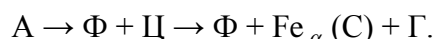


Рисунок 5.2 – Разновидности чугуна по форме графита на нетравленном шлифе:  
а – серый, б – ковкий, в – высокопрочный

### Серый чугун

Серый чугун, как и белый, получается непосредственно при заливке чугуна в формы, но охлаждение отливок ведется медленно. При этом цементит, выделившийся из жидкого раствора, распадается с образованием графита:  $Fe_3C \rightarrow Fe(\gamma) C + \Gamma$ . При температуре линии P'S'K' распад цементита проходит по схеме:



В структуре серого чугуна различают металлическую основу и графитные включения в виде пластин, которые действуют как надрезы в металлической основе.

Металлическая основа чугуна может быть ферритной, феррито-перлитной, перлитной. Ферритный чугун получают при очень медленном охлаждении, когда графит образуется из жидкости, а заканчивается образование графита при распаде цементита, выделившегося из аустенита на линии P'S'K' (рисунок 5.3 а).

Если скорость охлаждения увеличить, то часть цементита не успеет превратиться в графит, чугун будет иметь феррито-перлитную структуру (рисунок 5.3).

При более быстром охлаждении получается перлитный чугун (рисунок 5.3 в). Образованию перлитной основы способствует марганец. С увеличением количества перлита твердость и прочность на разрыв у чугуна увеличивается, а пластичность уменьшается.

Предел прочности на растяжение, на изгиб во многом зависят от количества, размеров и формы графитных включений. Чем они крупнее, тем хуже механические свойства чугуна.

Величину и форму графитных включений можно регулировать модифицированием. Для этого в жидкий металл вводят модификаторы (ферросилиций, силикокальций) которые являются искусственными центрами графитизации. Поскольку их много, то графитные включения получаются мелкие, тонкие, завихренные, равномерно распределенные по сечению детали (рисунок 7.3 г).

Маркируется серый чугун по ГОСТ 1412-85 следующим образом: СЧ 30 (СЧ – серый чугун, 30 –  $\sigma_s = 300$  МПа – временное сопротивление разрыву). Механические показатели и область применения серого чугуна приведены в таблице 5.1.

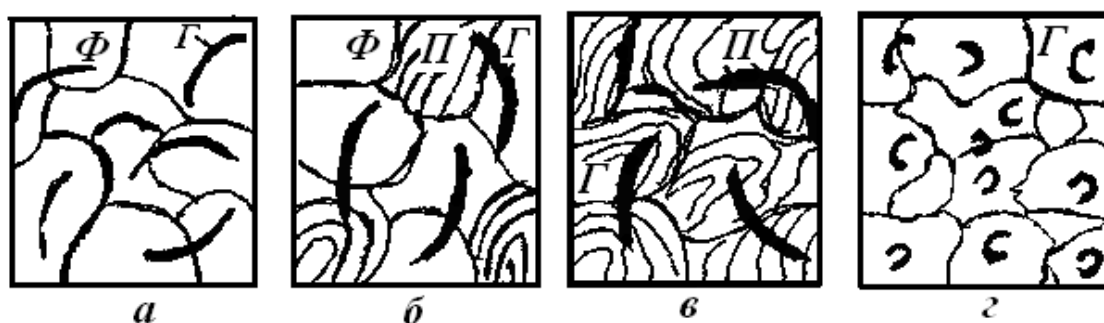


Рисунок 5.3 – Микроструктура серого чугуна:  
 а – ферритный; б – феррито-перлитный; в – перлитный;  
 г – модифицированный

### Ковкий чугун

Многие детали тракторов, автомобилей, сельхозмашин имеют сложную конфигурацию, в работе подвергаются ударным нагрузкам. Наиболее экономически выгодно изготавливать такие детали литьем. Сталь имеет плохие литейные свойства, деталь получается дорогой. Серый чугун имеет хорошие литейные качества, но линейная форма графита не позволяет материалу работать с ударной нагрузкой. Необходимую вязкость, хорошую сопротивляемость ударной нагрузке имеет ковкий чугун, у которого в ферритной или перлитной основе расположены хлопьевидные включения графита.

Ковкий чугун получают следующим образом. Детали отливают из белого чугуна, затем их укладывают в ящики, засыпают песком и подвергают длительному отжигу. График отжига на ковкий чугун представлен на рисунок 5.4.

Готовые отливки нагревают до температуры 400 °С и выдерживают, чтобы из чугуна удалился водород, который препятствует процессу графитизации. Затем температуру повышают до 1000 °С и выдерживают при этой температуре 6–8 ч. Во время остановки цементит, входящий в состав ледебурита, распадается на аустенит и графит хлопьевидной формы. При последующем медленном охлаждении чугуна аустенит превращается в механическую смесь – перлит. Этот чугун называют белосердечным (рисунок 5.4, а). Для повышения вязкости перлитный ковкий чугун иногда подвергают сфероидизации, делают II стадию отжига, выдержку при 760 °С. При этой температуре происходит распад аустенита на перлит и графитизация выделившегося из него цементита.

В результате получится ферритная металлическая структура с хлопьевидными включениями графита. Из-за большого количества графита излом детали приобретает темный цвет, и чугун называется черносердечным.

Маркируется ковкий чугун по ГОСТ 1215-79 так: КЧ 30-6 (первая цифра обозначает временное сопротивление разрыву  $\sigma_{\text{в}}$ , МПа, вторая – относительное удлинение  $\delta$  %). Ковкий чугун имеет более высокие механические свойства, чем серый. Механические показатели и область применения ковкого чугуна даны в таблице 5.2.

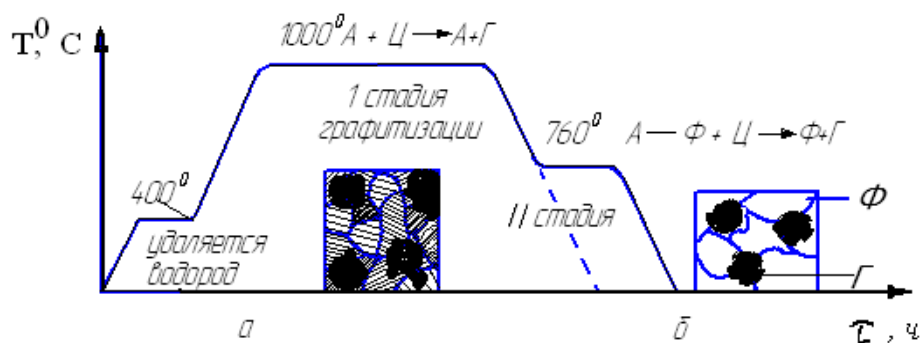


Рисунок 5.4 – Схема ступенчатого отжига на ковкий чугун:  
а – перлитный, б – ферритный

### Высокопрочный чугун

В высокопрочном чугуне графит равномерно, небольшими плотными шариками распределяется в металлической основе. Достигается это следующим образом. В жидкий сплав вводят лигатуру (порцию) модификатора (магний, церий). Остатки сгоревшего магния служат центрами графитизации, так как центров много, то и распределение графита по всему объему детали получается более равномерным, малыми порциями (шариками).

В зависимости от скорости охлаждения высокопрочный чугун имеет ферритную или феррито-перлитную металлическую основу (рисунок 5.5).

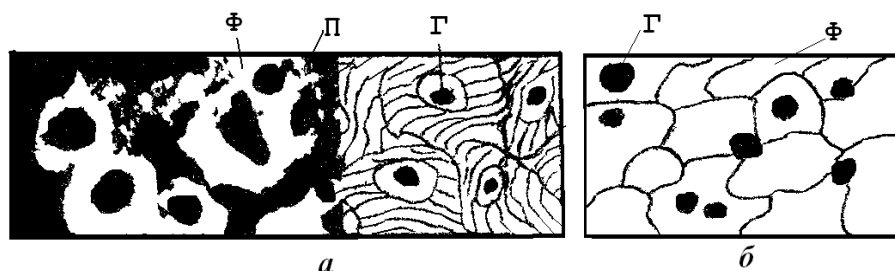


Рисунок 5.5 – Микроструктура высокопрочного чугуна:  
а – феррито-перлитного, б – ферритного

Высокопрочный чугун применяют для изготовления деталей машин, подвергаемых ударам, действию переменных нагрузок. Маркируется высокопрочный чугун по ГОСТ7293-85: ВЧ50. Цифра обозначает временное сопротивление разрыву  $\sigma_s$ , МПа. Некоторые механические показатели и примеры применения этих чугунов представлены в таблице 5.2.

### Контрольные вопросы

1. В чем отличие серого чугуна от белого?
2. Какие факторы влияют на процесс образования графита?
3. Как делятся серые, ковкие высокопрочные чугуны по структуре металлической основы?
4. Как получают серые, ковкие, высокопрочные чугуны?

Таблица 5.1 – Серый чугун ГОСТ 1412-85

Марка чугуна		Примерный химический состав, %	Прочность, МПа		Твердость, НВ, МПа	Применение		
			$\sigma_B$	$\sigma_{сж}$				
1	2	3	4	5	6	7		
Ферритный	СЧ-00 СЧ-10	Испытания не проводятся				Малоответственное литье: пробки, крышки, фланцы, кожухи, плиты, стойки, патрубki.		
		Феррито-перлитный	СЧ-12	3,2–3,8 – С	120	500	143–229	Детали, испытывающие низкие динамические нагрузки, а также работающие в условиях сухого трения: блок цилиндров двигателя, головка блока, седла клапанов, картеры, корпуса, ступицы, маховики, крышки, крон-штейны, шкивы, стойки, плиты, станины, диски сцепления, колодки, тормозные барабаны
			СЧ-15	1,2–3,0 – Mn	150	650	163–229	
СЧ-18	0,4–1,1 – Si 0,12 – S 0,3 – P		180	700	170–229			
Перлитный	СЧ-21	2,7-3,5 – С	210	750	170–241	Детали, испытывающие средние динамические нагрузки: блок цилиндров, головки и гильзы цилиндров, корпуса, картеры, крышки, барабаны сцепления, балансиры, станины, стойки станков, салазки, столы, гидроцилиндры, корпуса гидроцилиндров и золотников и др. ответственное литье		
	СЧ-24	1,5-2,4 – Mn 0,6-1,2 – Si 0,12 – S 0,3 – P	240	850	170–241			

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4	5	6	7
Модифицированный	СЧ-28	2,4-3,3 – С	280	1000	170–241	Детали, испытывающие высокие динамические нагрузки или тяжелые условия износа: шестерни, храповики, звездочки, шпиндели, тормозные барабаны, поршневые кольца, специальные втулки и др.
	СЧ-32	1,0-2,3 – Mn	320	1100	187–255	
	СЧ-35	0,6-1,2 – Si 0,12 – S	350	1200	197–269	
	СЧ-38	0,3 – P	380	1300	207–269	

Таблица 5.2 – Ковкий чугун (ГОСТ 1215–79) и высокопрочный чугун (ГОСТ 293–85)

	Марка чугуна	Механические свойства			Применение
		$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	Твердость, НВ, МПа	
1	2	3	4	5	6
Шаровидный	ВЧ 45	450	—	187...255	Коленчатые валы автотракторных двигателей, картеры, крышки цилиндров, шестерни и звездочки, кронштейны, тормозные диски, прокатные валки, детали паровых турбин и др.
	ВЧ 50	500	1,5	187...255	
	ВЧ 60	600	2,0	197...269	
	ВЧ 70	700	2,0	270...207	
	ВЧ 80	800	3,0	256...300	
Ферритный	КЧ 30-6	300	6	163	Детали, работающие при низких статических и динамических нагрузках: хомутики, головки, гайки, глушители, клапаны, фланцы, муфты, тройники и т. д. Детали, работающие при средних динамических и статических нагрузках: башмаки, подкладки, вилки, подшипники, хомутики, кронштейны, коробки, скобы, коромысла и т. д. Детали, работающие при высоких статических и динамических нагрузках (повышенная прочность и пластичность): картера редукторов, задний мост, пальцы, ступицы, хомутики, крючки, скобы и т. д.
	КЧ 33-8	330	8	163	
	КЧ 35-10	350	10	163	
	КЧ 37-12	370	12	163	
Перлитный	КЧ 45-6	450	6	241	Детали, работающие при особо высоких нагрузках или в тяжелых условиях износа: муфты, звездочки, звенья цепей, буксы, тормозные колодки, рычаги, кронштейны, коленвалы, храповики, вилки карданных валов, втулки, лопасти дробемеров.
	КЧ 50-4	500	4	241	
	КЧ 56-4	560	4	269	
	КЧ60-3	600	3	269	
	КЧ63-2	630	2	269	

## 6 ЗАКАЛКА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ЗАКАЛКИ

Термическая обработка позволяет улучшить свойства сплавов за счет изменения структуры материала. Любая термообработка состоит из операций: нагрева до определенной температуры, выдержка при этой температуре и охлаждение. Одним из видов термообработки является закалка. Она предназначена для повышения твердости, прочности и износостойкости стали за счет изменения ее структуры.

### Выбор температуры нагрева стали при закалке

Температура нагрева стали при закалке выбирается по диаграмме Fe-Ц в зависимости от содержания углерода и температуры критических точек:  $A_{c3}$  (лежат на линии GS),  $A_{c1}$  (образуют линию PSK),  $A_{cm}$  (показывают начало выделения цементита, лежат на линии SE) (рисунок 6.1).

Дозэвтектоидную сталь (сплав 1) для закалки необходимо греть по режиму полной закалки, до аустенитного состояния:

$$T_{ДО^3} = A_{c3} + (30 - 50^\circ C) \quad (6.1)$$

При нагреве до такой температуры имеющийся в стали углерод полностью растворится в кристаллической решетке  $Fe\gamma$ . После выдержки, обеспечивающей превращение по всей толщине, деталь охлаждают со скоростью выше критической так, чтобы кристаллическая решетка перестроилась  $Fe\gamma \rightarrow Fe\alpha$ , а углерод не успел выйти из нее. Полученный пересыщенный раствор углерода в железе  $Fe\alpha$  называется – мартенсит (М). В результате значительного перенасыщения решетки углеродом (при медленном охлаждении в  $\alpha$ -железе растворяется до 0,02 % С) твердость ее намного увеличится, следовательно, повысится, твердость стали. Например, твердость стали 45 до закалки HRC  $\approx$  12, а после закалки – HRC 56.

Кристаллическая решетка мартенсита искажается, становится тетрагональной, твердость и степень тетрагональности зависят от степени перенасыщения ее углеродом.

Одним из видов брака при закалке доэвтектоидной стали является пятнистая, недостаточно высокая твердость. Это связано с недогревом детали. Так, если доэвтектоидную сталь нагреть по режиму неполной закалки, т.е. выше точки  $A_{c1}$ , то в структуре этой стали будут  $A + \Phi$ , которые при быстром охлаждении превращаются в  $M + \Phi$ . Присутствие зерен мягкого феррита приведет к снижению твердости, структура будет неоднородной.

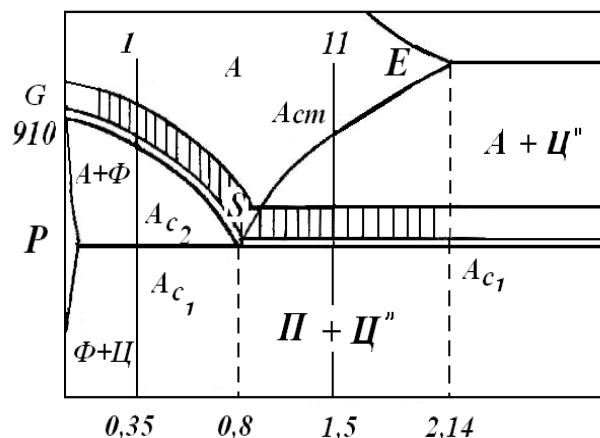


Рисунок 6.1 – Нижняя часть диаграммы (участок стали) с указанием интервала температур нагрева для закалки

Для заэвтектоидных сталей ( $C > 0,8 \%$ ) лучше результаты поручают при нагреве по режиму неполной закалки, т. е.:

$$T_{за}^3 = A_{c1} + (30 - 50 \text{ } ^\circ\text{C}). \quad (6.2)$$

Нагретая до такой температуры сталь, претерпевает в результате закалки структурные изменения:  $A + \text{Ц} \rightarrow M + \text{Ц}$ . Химическое соединение цементит имеет высокую твердость, увеличивает твердость стали. Греть заэвтектоидные стали по режиму полной закалки до аустенитного состояния нецелесообразно, так как:

- 1 – в структуре будет только мартенсит (цементит теряем);
- 2 – расходуется больше энергии;
- 3 – нагрев выше точки  $A_{cm}$  вызывает рост зерна аустенита и, как результат, повышение хрупкости стали, структурные и термические напряжения, вероятность появления макро и микротрещин. Структурные изменения в доэвтектоидной и заэвтектоидной стали, показаны на рисунке 6.2.

### Выбор времени нагрева и выдержки

Время нагрева детали до требуемой температуры зависит от типа печи, теплопроводности металла, формы, размеров сечения, от порядка укладки их в печи. Время нагрева и выдержки для деталей из углеродистой стали можно определить по графику (рисунок 6.3).

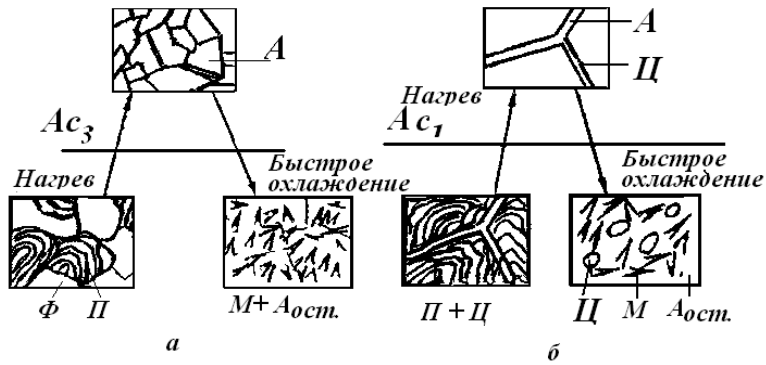


Рисунок 6.2 – Схема структурных превращений при закалке:  
а – доэвтектоидная сталь; б – заэвтектоидная сталь

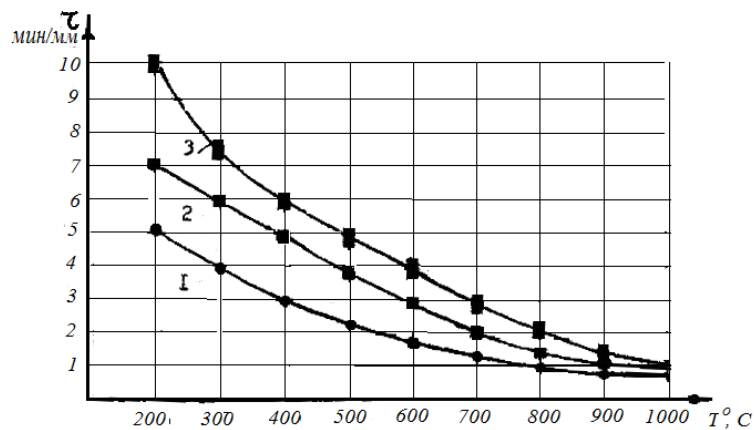


Рисунок 6.3 – Нормы времени нагрева и выдержки углеродистой стали (мин/1мм толщины) для образцов формы:  
1 – цилиндрической, 2 – квадратной, 3 – плоской

### Определение скорости охлаждения

Скорость охлаждения оказывает большое влияние на превращения в стали, на получаемую

структуру и свойства. Влияние скорости охлаждения на процесс перестройки можно проследить по диаграмме изотермического распада аустенита (рисунок 6.4).

Если охлаждать углеродистую сталь в интервале температур 400–600 °С со скоростью менее 100 °С/с, то углерод будет выходить из кристаллической решетки в виде пластин цементита, которые успевают вырасти, пластины цементита чередуются с пластинами феррита (малоуглеродистый раствор углерода в Feα). Полученная структура называется сорбит закалки – это смесь Ф + Ц (HRC ≈ 30). При увеличении скорости охлаждения до 200 °С/с пластины феррита и цементита не успевают вырасти, полученная смесь называется троостит закалки, ее твердость HRC 45.

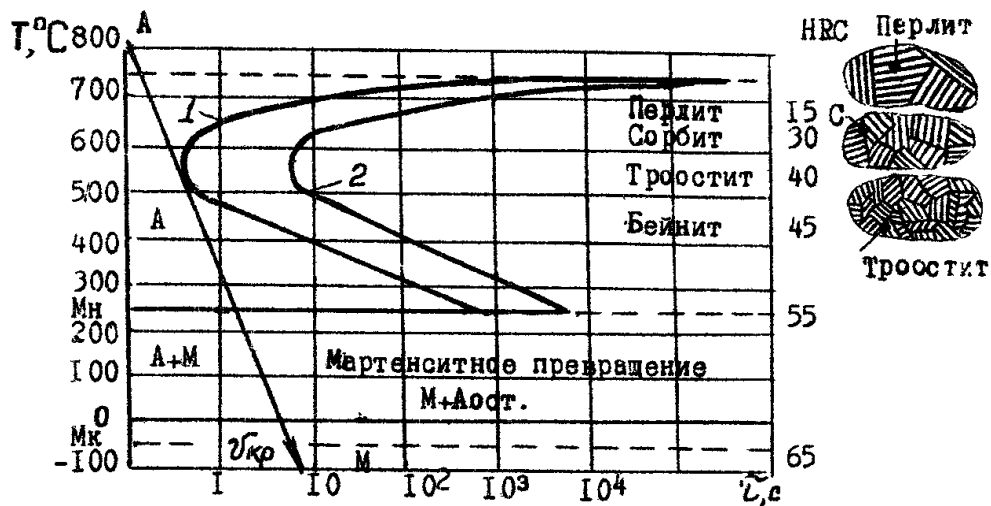


Рисунок 6.4 – Диаграмма изотермического распада аустенита:

1 – линия начала распада аустенита, 2 – линия конца распада аустенита;  $M_H$  – начало образования мартенсита,  $M_K$  – конец образования мартенсита,  $v_{кр}$  – вектор критической скорости охлаждения

Увеличение скорости до значений более 250 °С/с дает бездиффузионный процесс перестройки аустенита в мартенсит. Наименьшая скорость охлаждения при закалке, при которой в структуре стали образуется мартенсит, называется критической скоростью охлаждения  $v_{кр}$ .

Таблица 6.2 – Охлаждающая способность закалочных сред

Охлаждающая среда	Скорость охлаждения в интервале температур $v_{кр}, ^\circ\text{C}/\text{c}$	
	650–550 °С	300–200 °С
Вода 18 °С	600	270
28 °С	500	270
50 °С	100	270
10 % NaCl в воде	1200	300
минеральное масло	150	30
спокойный воздух	18	5
мыльная вода	30	200

Критическую скорость охлаждения определяют для каждой марки стали по диаграмме изотермического распада аустенита. Рассчитав,  $v_{кр}$  подбирают охлаждающую среду. Охлаждающая способность закалочных сред представлена в таблице 6.3.



Таблица 6.3 – Типовые режимы термической обработки конструкционной стали

Марка стали	Предварительная термо-обработка заготовок	Окончательная термообработка заготовок
30 и 35	1. Н, 850–870 °С, НВ 187; 2. Н, 900–950 °С, НВ137–197; 3. З, 840–850, в.; О, 600–630 °С, НВ 241–207; О, 540–580 °С; НВ 269–228	З, 840–850 °С в.; О, 540–580°С; НВ 269–228
45	1. Н, 850–870 °С; НВ 217 3, 820–840 °С, в.; О, 540–580 °С; НВ 269–228	З, 810–830 °С ; в. или 840 °С, м.; О, 510–550 °С; НВ 286–241; О, 560–600 °С; НВ 235
85	1. О <sub>Гж.</sub> 800–820 °С; 2. Н, 700–780 °С ; О, 650–680 °С; НВ 228; 3. З, 780–790 °С ; в. или м.; О, 480–520 °С	З, 790 °С м. или в.; О, 340–380 °С ; HRC 54; О, 480–520°; HRC 48–38; О, 560–600°, HRC 33–26

### Контрольные вопросы

1. Дать определение термообработки.
2. Технология и назначение закалки.
3. От чего зависит температура нагрева стали при закалке и как ее определить?
4. Как определить время нагрева и выдержки при закалке? От чего они зависят?
5. Какая скорость охлаждения называется критической?
6. Что такое мартенсит?
7. Какие охлаждающие среды применяются при закалке?
8. Назначение неполной и полной закалки, их отличие.

## 7 МИКРОСТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Легированными называются стали, в которые добавляются различные элементы (легирующие). Они видоизменяют строение, улучшают свойства стали.

Наибольший эффект в изменении свойств стали оказывают хром, никель, вольфрам, ванадий, молибден, титан и др. Кремний и марганец, если их количество превышает 1 %, также относятся к числу легирующих добавок. Легированную сталью называют сплав, в котором железа более 45 %.

Легирующие элементы делятся по характеру воздействия на структуру стали на следующие: карбидообразующие (Cr, Mn, W, Mo, V, Ti), не образующие карбидов (Ni, Co, Cu, Al).

При определенном содержании легирующих элементов сталь приобретает устойчивость против коррозии, жаропрочность, жаростойкость, повышается долговечность детали.

Легирующие элементы изменяют положение критических точек стали и вид диаграммы состояния Fe-Fe<sub>3</sub>C. Ni, Co, Mn, Cu, Na расширяют область существования легированного аустенита (твердый раствор углерода и легирующего элемента в Fe  $\gamma$ ) и увеличивают устойчивость Fe  $\gamma$ , что дает возможность получать аустенитную структуру при комнатной температуре (рисунок 7.1 а).

Аустенитные стали немагнитны, имеют низкую теплопроводность, высокую вязкость, упрочняются при пластической деформации. Эти элементы позволяют уменьшать скорость охлаждения при закалке, увеличивают прокаливаемость стали.

Кремний, хром, алюминий, молибден, вольфрам, ванадий, титан, фосфор, бор увеличивают устойчивость  $\alpha$ -железа (рисунок 7.1 б) и образуют стали ферритного класса. Они магнитны, имеют высокую теплопроводность, после отжига приобретают крупнозернистую структуру.

Согласно существующим стандартам легированные стали классифицируют по химическому составу, по микроструктуре и по назначению.

Классификация легированной стали по структуре. В зависимости от структуры, полученной после нормализации (нагрев до 900 °С и охлаждение на воздухе), легированные стали делят на классы: перлитный, мартенситный, ферритный, аустенитный и карбидный (ледебуритный).

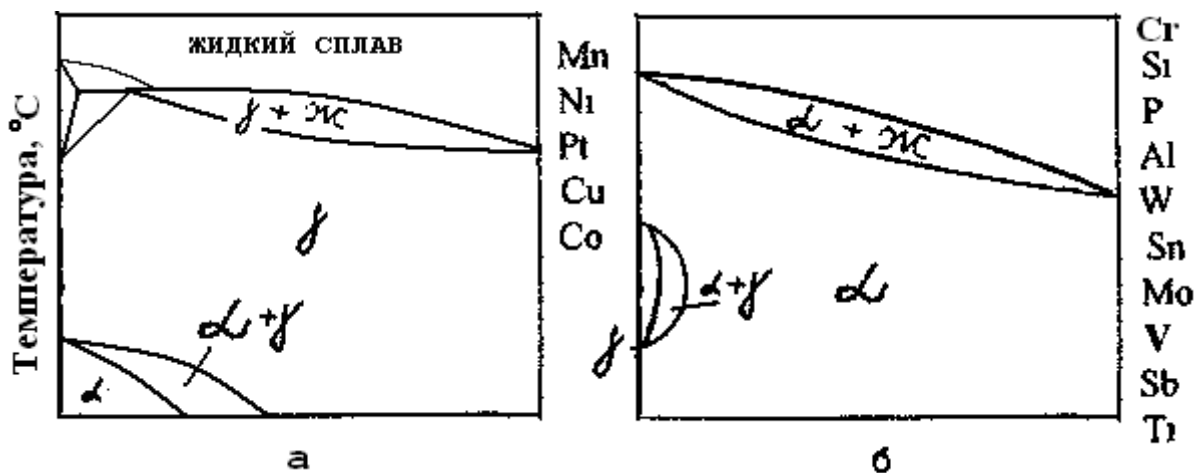


Рисунок 7.1 – Типы диаграмм сплавов железо-легирующий элемент

Стали перлитного класса содержат сравнительно небольшое количество легирующих элементов (5–6 %), мартенситные – больше, а ферритные, аустенитные и карбидные – это высоколегированные стали.

По структуре после отжига стали делятся на доэвтектоидные, эвтектоидные, заэвтектоидные (имеют вторичные карбиды) и ледебуритные (имеют первичные карбиды). Доэвтектоидные, эвтектоидные заэвтектоидные стали обычно объединяют в один класс – перлитные стали.

Ледебуритные (карбидные) стали имеют в структуре в литом состоянии эвтектику типа ледебурита, в которой находятся крупные частицы карбидов. Ледебуритные стали по структуре напоминают чугуны, но в них мало углерода, их относят к сталям.

Классификация легированной стали по назначению. Легированные стали по назначению делятся на конструкционные, инструментальные и стали с особыми физическими свойствами.

### **Конструкционные легированные стали**

Маркировка легированных конструкционных сталей. Легированные конструкционные стали маркируются цифрами и буквами. Двухзначные цифры, приводимые в начале марки, указывают содержание углерода в сотых долях процента. Буквы обозначают легирующие элементы, а цифры после них – примерное количество в процентах. Отсутствие цифры говорит о том, что содержание легирующего элемента не превышает 1,5 %.

Буквенное обозначение легирующих элементов: А – азот, Б – ниобий, В – вольфрам, Г – марганец, Д – медь, Е – селен, К – кобальт, Н – никель, М – молибден, П – фосфор, Р – бор, С – кремний, Т – титан, Ф – ванадий, Х – хром, Ц – цирконий, Ч – редкоземельный, Ю – алюминий. Например: сталь 12Х2Н4А содержит (в среднем) 0,12 % С, 2 % Cr, 4 % Ni. «А» в конце марки говорит о том, что эта сталь высококачественная, в ее составе меньше серы и фосфора.

### **Микроструктура конструкционных сталей**

Конструкционные легированные стали в зависимости от химического состава делятся на: цементуемые (низкоуглеродистые), улучшаемые (среднеуглеродистые), рессорно-пружинные (высокоуглеродистые), шарикоподшипниковые, износостойкие.

Цементуемые стали содержат углерода до 0,25 % С. В зависимости от входящего в их состав легирующего элемента они делятся на хромистые (15Х, 20Х), хромомарганцовые (18ХГТ), хромованадиевые (20ХФ). В равновесном состоянии эти стали имеют в структуре П + Ф.

Улучшаемые стали: хромистые (30Х, 40Х), хромомарганцовые (40ХГ), хромоникелевые (40ХН) – перлитного класса, содержат углерода от 0,25 % до 0,6 %С. После отжига структура стали состоит из феррита и перлита (рисунок 11.2 а). Из этих сталей изготавливают детали машин (коленвалы, оси, шатуны, ответственные детали турбин и т. д.). Их подвергают закалке и высокому отпуску (улучшению). После такой обработки структура стали – сорбит, деталь имеет высокий предел текучести, предел выносливости, хорошо обрабатывается резанием (рисунок 11.2 б).

Рессорно-пружинные стали перлитного класса с содержанием углерода 0,5–0,7 % идут на изготовление автомобильных рессор (50ХГА, 60С2А), пружин клапанов (50ХФА).

Пружинные стали легируются, в основном, Mn (0,6–1,2 %), Si (1,5–2,8 %), Cr (до 1,2 %), Ni (до 1,7 %), W (1,2 %), V (0,25 %). Эти элементы улучшают прокаливаемость стали, повышают релаксационную стойкость и предел упругости. Для улучшения механических свойств пружины подвергают термической обработке (закалка и средний отпуск). Срок службы рессор можно повысить дробеструйной обработкой, после которой предел выносливости увеличивается в 2 раза.

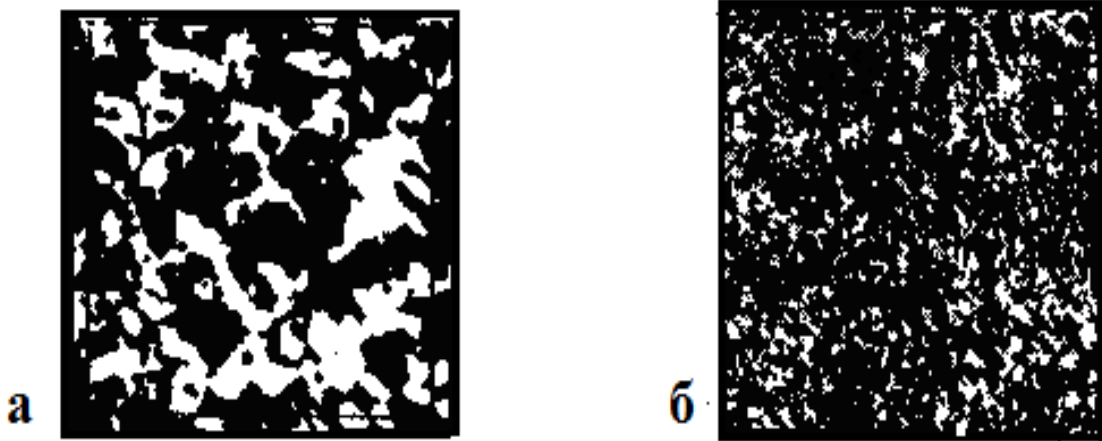


Рисунок 7.2 – Микроструктура стали 30ХГСА:  
а – после отжига – Ф + П; б – после закалки и высокого отпуска – сорбит x 250

Шарикоподшипниковые стали ШХ15 (1 % С; 1,5 % Cr), ШХ15СГ (1,5 % Cr; 1,5 % Si; 1,5% Mn) обладают высокой твердостью, износостойкостью, их применяют для изготовления деталей подшипников качения. Кольца, шарики, ролики закалывают в масле от 850 °С для получения структуры мартенсит с избыточными карбидами и твердостью HRC 65. После закалки делают низкий отпуск. Иногда для стабилизации размеров применяют обработку холодом.

Коррозионно-стойкие стали – это стали, устойчивые к электрохимической, химической и другим видам коррозии.

Коррозией называют разрушение металла под действием окружающей среды. Коррозионную стойкость имеет сталь, легированная хромом и никелем.

Хромистые стали содержат хрома не менее 12 % и углерода до 0,4 %. Стали марок 40X13, 30X13 после охлаждения на воздухе имеют мартенситную структуру, сталь 20X13 – мартенситно-ферритную, а стали 12X13, 15X25Т откосятся к сталям ферритного класса.

Коррозионная стойкость в воде, в атмосфере, в среде кислот, солей и щелочей повышается термической обработкой – закалкой при 1050 °С и высоким отпуском. Микроструктура стали 2X13 показана на рисунок 7.3.

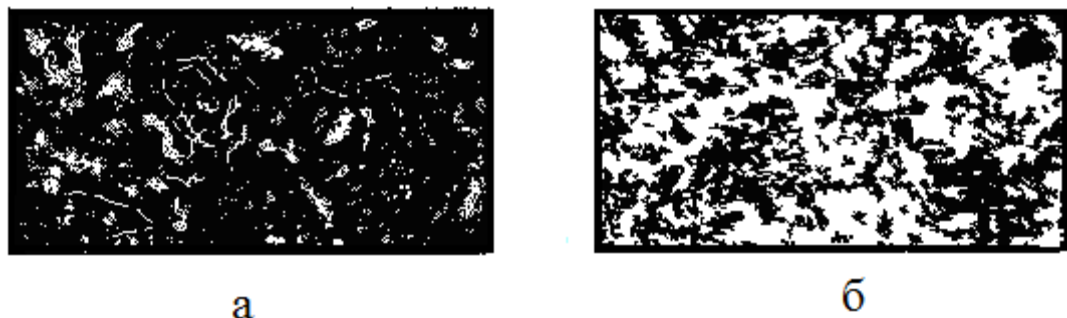


Рисунок 7.3 – Микроструктура 2X13:  
а – после закалки от 1050 °С – мартенсит;  
б – после закалки и отпуска при 700 °С – сорбит (x 250)

Хромоникелевые нержавеющие стали относятся к аустенитному классу, т. е. после охлаждения на воздухе имеют аустенитную структуру. Представителями коррозионно-стойких сталей аустенитного класса являются, стали 12X18Н9 (0,12 % С; 18 % Cr; 9 % Ni), 17X18Н9. Их применяют для работы в окислительных средах, они парамагнитны. В равновесном состоянии структура такой стали состоит из аустенита и карбидов хрома, железа.

Для получения наибольшей устойчивости против коррозии сталь нагревают до температуры 1000 °С (для растворения карбидов в аустените) и закаливает в воде с получением структуры, аустенит (рисунок 7.4).

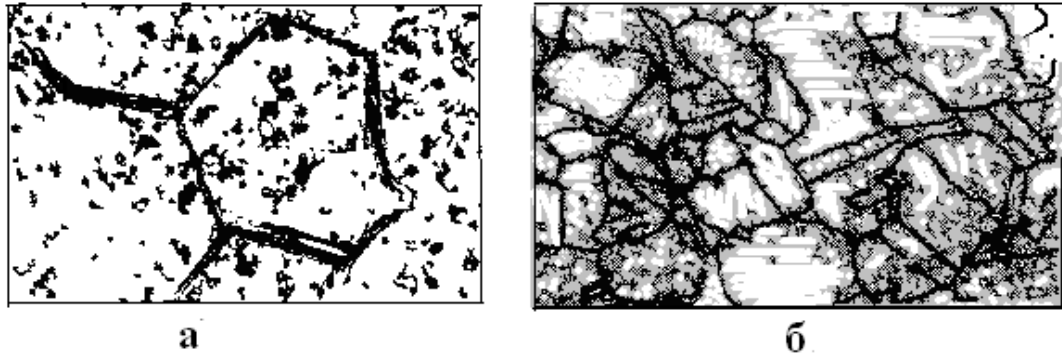


Рисунок 7.4 – Микроструктуры стали 12X18H9:  
а – в равновесном состоянии – аустенит и карбиды;  
б – после закалки от 1100 °С – аустенит

Жаростойкие стали. Повышение окалиностойкости (стойкость против газовой коррозии при температуре выше 550 °С) достигается легированием хромом, алюминием, кремнием. Окалиностойкость зависит от состава стали, а не от ее структуры, т. е. окалиностойкость (жаростойкость) ферритных и аустенитных сталей при равном количестве хрома практически одинакова. В машиностроении для изготовления различного рода высокотемпературных установок применяют жаростойкие ферритные (15X25Т, 12X17) и аустенитные (20X23Н13 и др.) стали.

Износостойкие стали применяют для изготовления деталей, работающих на износ в условиях абразивного трения и ударов (щеки дробилок, черпаки землечерпальных машин, крестовины трамвайных путей).

Сталь 110Г13Л содержит 1,1 % С; 13 % Мп. После закалки от 1100 °С с охлаждением в воде она приобретает аустенитную структуру. Сталь 110Г13Л с аустенитной структурой упрочняется и становится износостойкой под действием ударных нагрузок, когда происходит деформационное упрочнение аустенита и образование  $\epsilon$  – мартенсита. При небольших ударных нагрузках или при чисто абразивном изнашивании мартенситное превращение не протекает и износостойкость стали невысокая.

### Инструментальные стали

Инструментальные стали делятся на три группы: не обладающие теплостойкостью (содержание легирующих элементов до 4%); полутеплостойкие, работающие до 500 °С (содержат С > 0,6% и до 18 % Cr); в) теплостойкие до 650 °С (содержат Cr, W, V, Mo, Co), получившие название – быстрорежущие.

Маркировка инструментальных сталей. Легированные инструментальные стали, X, 9X, 9XC, 6XВГ маркируют цифрой, которая указывает содержание углерода в десятых долях процента. Если цифры нет, то содержание углерода около 1 %. Буква указывает легирующие добавки в стали, а цифры – их количество.

Быстрорежущие стали маркируют буквой «Р» и цифра указывает содержание вольфрама в процентах. Среднее содержание хрома в большинстве быстрорежущих сталей – 4 %.

Не обладающее теплостойкостью легированные инструментальные стали перлитного класса, например: 5ХНМ, 5ХГМ, с содержанием углерода до 0,65 % нашли применение для изготовления инструмента для горячей обработки давлением (штампы, матрицы, пуансоны и др.).

Штампы закалывают в масле и делают отпуск при 500 °С. В результате, получается структура – троостит.

Высокоуглеродистые стали перлитного класса (9XC, XВГ) используются для изготовления режущего и мерительного инструмента. Эти стали пригодны для резания материалов невы-

сокой прочности (до  $\sigma_s = 600$  МПа) со скоростью резания до 14 м/мин.

В теплостойких быстрорежущих сталях при охлаждении на воздухе получается структура мартенсит, поэтому их называют «самозакаливающимися».

Быстрорежущая сталь обладает красностойкостью, т. е. способностью сохранять высокую твердость, прочность и износостойкость при нагреве. Это дает возможность повысить скорость резания в 4 раза и стойкость инструмента в 20 раз.

Быстрорежущая сталь относится к карбидному (ледебуритному) классу. В структуре литой быстрорежущей стали присутствует сложная эвтектика, напоминающая ледебурит, располагающийся по границам зерен (рисунок 7.6 а). В результате горячей механической обработки сетка эвтектики дробится. Для снижения твердости, улучшения обрабатываемости резанием, подготовки структуры к закалке детали послековки подвергают отжигу.

Для придания стали теплостойкости инструмент подвергают закалке и многократному отпуску по режиму (рисунок 7.5).

Нагрев до  $850^\circ\text{C}$  надо вести очень медленно, чтобы избежать возникновения термических напряжений, трещин. Дальнейший нагрев должен быть очень быстрым, чтобы предотвратить обезуглероживание поверхности инструмента. Высокая температура нагрева обеспечивает более полную растворимость вторичных карбидов в аустените. После выдержки инструмент охлаждают в масле или на воздухе.

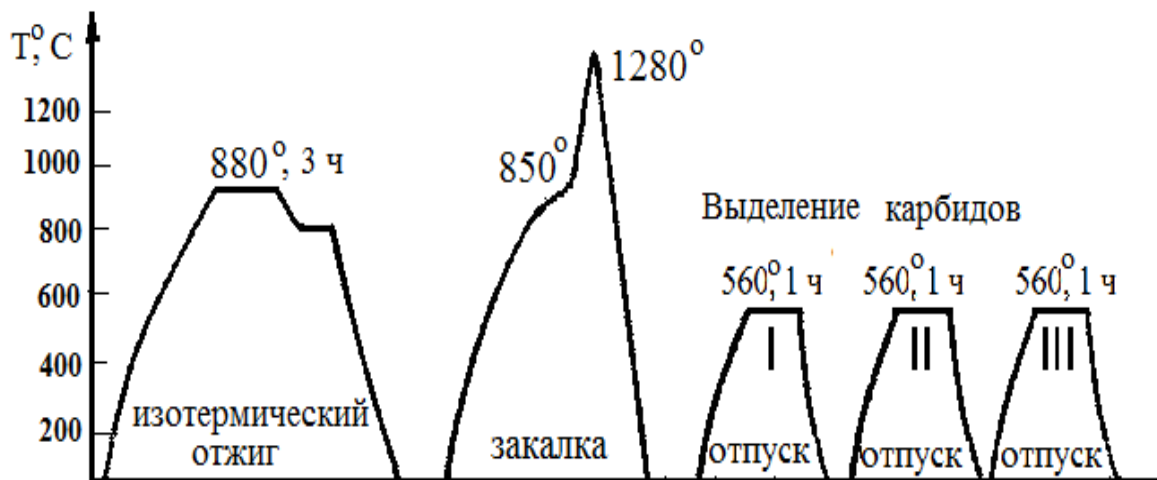


Рисунок 7.5 – График термической обработки стали P18

Структура быстрорежущей стали после закалки представляет собой высоколегированный мартенсит, содержащий 0,4 % C, нерастворимые избыточные карбиды и остаточный аустенит (до 30%), который понижает режущие свойства стали. На микрошлифе видны границы зерна аустенита, карбиды и очень плохо просматривается основная структурная составляющая – мартенсит (рисунок 7.6 б).

Во время трехкратного отпуска при  $560^\circ\text{C}$  остаточный аустенит превращается в мартенсит. Это сопровождается увеличением твердости. Микроструктура быстрорежущей стали после отпуска состоит из мартенсита и карбидов (рисунок 7.6 в). Схема зарисовки микроструктуры показана на рисунок 7.6 г.

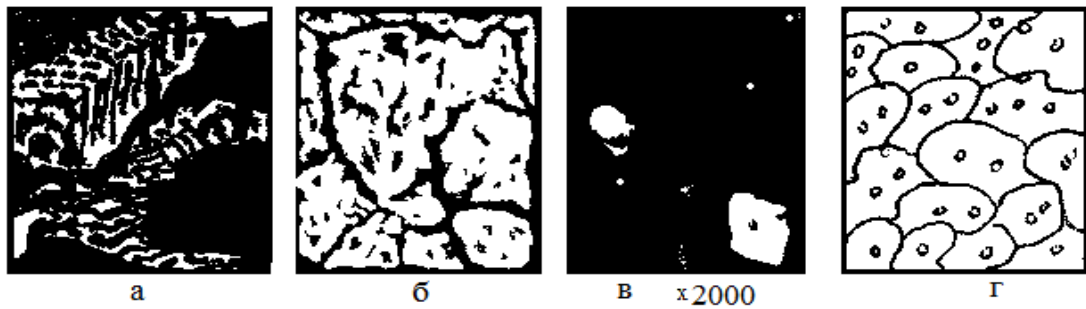


Рисунок 7.6 – Микроструктура быстрорежущей стали Р18, х 300:  
 а – ледебурит в литой стали; б – закаленная сталь;  
 в – отпущенная сталь; г – схема зарисовки микроструктуры

Таблица 7.1 – Химический состав и назначение конструкционной стали ГОСТ4543-71, ГОСТ 1459

Марка стали	Химический состав, %					Назначение
	C	Si	Ni	Cr	Mn	
20X 40	0,17–0,23 0,36–0,44	0,17–0,37 0,17–0,37	0,5–0,8 0,5–0,8	0,7–1,6 0,8–1,1	– –	Коленчатые валы, оси, шестерни, штоки, диски, втулки
30XГС 30XГТ	0,28–0,35 0,24–0,32	0,9– 1,2 0,17–0,37	0,8–0,11 0,8–0,11	0,8–1,1 1,0–1,3	– 0,12 Mo	Валики, оси, шестерни, сварные конструкции
12ХНЗА 20ХНЗА 40ХНМА 38ХМЮА	0,1– 0,16 0,17–0,24 0,37–0,44 0,35–0,42	0,17–0,37 0,17–0,37 0,17–0,37 0,17–0,37	0,3– 0,6 0,3– 0,6 0,5– 0,8 0,3– 0,6	0,6– 0,9 0,6– 0,9 0,6– 0,9 1,4– 1,7	2,8– 3,2 2,8– 3,3 1,3– 1,6 –	Шестерни, валы, оси Шестерни, валы, оси ролики, пальцы поршневые Шестерни, валики, болты, втулки, шпильки Коленчатые валы, шатуны, валы, штоки
40ХР 37ХНВА	0,37–0,45 0,33–0,41	0,17–0,37 –	0,5–0,8 0,3–0,6	0,8–1,1 1,2–1,6	– 3,0–3,5	Гильзы цилиндров, шестерни, детали высокой износоустойчивости

50С2	0,47–0,55 0,52–					Различные рессоры и пружины
55С2	0,6 0,57–0,65	1,5–2,0	0,6–0,9	–		
60С2	0,46–0,56 0,56–0,64					
50ХГ		0,17–0,37	0,8–1,0	9–1,2		
50ХГА		1,3–1,8				
60СГА						

### Вопросы для контроля

1. Какие стали называются легированными?
2. Как изменяют легирующие элементы диаграмму Fe-Ц?
3. Как классифицируются легированные стали по структуре после нормализации и отжига?
4. Как классифицируются легированные стали по назначению?
5. Как маркируются конструкционные стали, их применение и ТО?
6. Как маркируются инструментальные легированные стали, их применение?
7. Термообработка быстрорежущей стали.



## 8 ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ МЕТАЛЛОВ

### 8.1 Цель работы:

Закрепить теоретические знания и приобрести практические навыки по ручной дуговой сварке металлов.

### 8.2 Задание:

8.2.1 Предварительно до выполнения лабораторной работы ознакомиться (используя учебники, лекционные материалы, лабораторный практикум, интернет) с физической сущностью и способами ручной дуговой сварки металлов, с устройством и принципом работы источников питания сварочной дуги.

8.2.2 Ознакомиться с правилами техники безопасности при выполнении данной работы.

8.2.3 Изучить устройство и принцип работы лабораторного оборудования (различные источники питания сварочной дуги, приспособления и приборы).

8.2.4 Изготовить сварное соединение из малоуглеродистой конструкционной стали под руководством учебного мастера. При этом научиться настраивать сварочное оборудование на оптимальный режим работы и приобрести практические навыки зажигания и поддержания дуги.

8.2.4 Провести эксперимент и построить вольтамперную характеристику сварочного трансформатора и дуги.

8.2.5 Оценить стабильность технологического процесса дуговой сварки.

8.2.6 Заполнить технологическую карту изготовления заданного сварочного соединения.

8.2.7 Составить отчет по работе.

### 8.3 Оборудование рабочего места

Сварочные трансформаторы: СТШ–250, СТН–450, ТС–300, преобразователь ПСО–300, ПСО–500; плакаты с электрическими схемами, действующие посты с трансформаторами ТС–500, оборудованные амперметрами, вольтметрами, электросчетчиками и приспособлениями для сварки, заготовки из малоуглеродистой конструкционной стали для изготовления сварного соединения, практикум.

### 8.4 Теоретические сведения

Сваркой называется – технологический процесс получения неразъемных соединений различных конструкционных материалов за счет сил взаимодействия атомов и образования в зоне их сближения неразрывной среды, в которой возникает действия металлической, ковалентной или химической связи. Для образования монолитного соединения необходимо сблизить поверхности соединяемых заготовок на расстояние в пределах которого начинают действовать межатомные силы сцепления. Сближению атомов и молекул способствует нагрев свариваемых поверхностей. В зависимости от источника энергии, используемой для нагрева свариваемых поверхностей заготовок конструкционных материалов, различают следующие виды сварки:

электрические (дуговая, контактная, электрошлаковая, индукционная, плазменная и др.); химические (газовая и термитная); механические (кузнечная, холодная давлением, трением, взрывом и ультразвуком); лучевые (электронно-лучевая, лазерным лучом, гелиосварка) и др.

Множественные виды сварки разделяют на две основные группы: сварка плавлением (сварка в жидкой фазе) и сварка давлением (сварка в твердой фазе). При сварке плавлением жидкий металл соединяемых частей заготовок самопроизвольно сливается в одно целое, образуя после охлаждения и затвердевания неразрывное сварное соединение. Сварка давлением производится без нагрева или с нагревом металла до пластического состояния с последующим сжатием соединяемых частей. Самое широкое применение в промышленности и в практике ремонта машин имеет сварка плавлением: электродуговая и газовая.

При электродуговой сварке для расплавления свариваемых заготовок используется тепло-электрической дуги. Электрическая дуга была открыта В. В. Петровым в 1802 году. Изобретатель Н.Н. Бенардос использовал эту дугу для сварки металла угольным электродом с присадочным металлом (металлический пруток). Затем Н. Г. Славянов предложил способ дуговой сварки плавящимся металлическим электродом. При этом не требуется присадочный металл поскольку его роль выполняет плавящийся металлический стержень электрода. Ручная дуговая сварка металла разделяется на три основных вида: по способу Н. Н. Бенардоса, по способу Н. Г. Славянова и сварка трехфазной дугой (рисунок 8.1). При сварке трехфазной дугой в сварочную цепь включены два изолированных друг от друга электрода и свариваемый металл (заготовки). Дуга возбуждается между каждым электродом и изделием и между электродами. Таким образом, одновременно возникает три дуги, сварка трехфазной дугой в два – три раза превышает по производительности дуговую сварку по способу Н. Г. Славянова и позволяет сваривать металл большой толщины. Кроме того она так же применяется при автоматической сварке металлов.

Ручная дуговая сварка металлическим электродом с покрытием (по способу Н. Г. Славянова) – это наиболее распространенный способ получения неразъемных соединений из различных конструкционных материалов. В процессе сварки дуга постоянного тока (при прямой или обратной полярности) или переменного тока горит между плавящимся металлическим электродом с покрытием и свариваемыми металлическими заготовками, которые включены в электрическую цепь. Принципиальная схема показана на рисунке 8.2.

Почти все пространство между электродом и заготовкой занимает столб дуги, в котором происходят процессы ионизации и перемещения заряженных частиц к катоду и аноду. Температура столба дуги достигает 6000 – 7000 °С. Он окружен ореолом, который представляет собой расплавленную смесь электродного и свариваемого металлов и продуктов реакции с окружающей газовой средой. Таким образом, электрическая дуга представляет собой устойчивый длительный электрический разряд в ионизированной газовой среде между электродом с покрытием и свариваемыми деталями (заготовками), который осуществляется при высокой плотности тока и сопровождается выделением большого количества света и тепловой энергии используемой, для расплавления электрода и свариваемого металла.

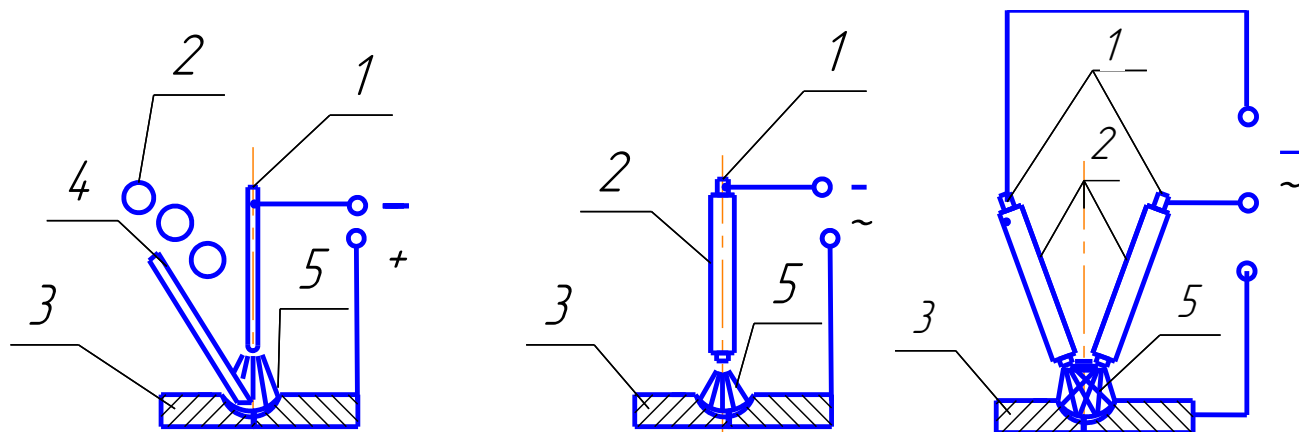


Рисунок 8.1 – Принципиальные схемы основных способов ручной дуговой сварки:  
 а) по способу Н. Н. Бенардоса; б) по способу Н. Г. Славянова; в) сварка трехфазной дугой;  
 1 – электрод, 2 – флюс, 3 – свариваемые заготовки, 4 – присадочный материал, 5 – дуга.

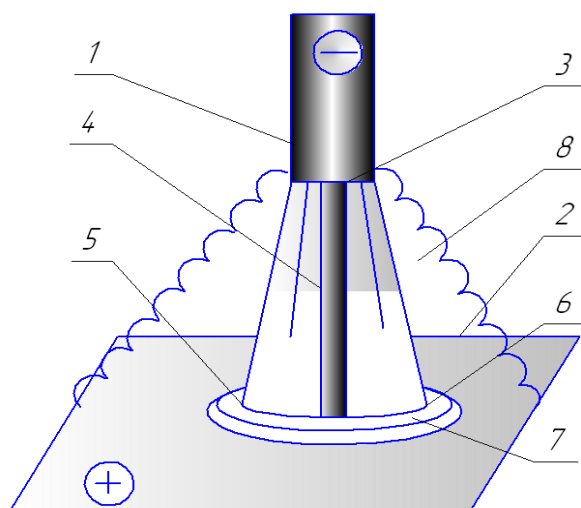


Рисунок 8.2 – Принципиальная схема сварочной дуги:  
 1 – электрод; 2 – свариваемый металл; 3 – катодная область; 4 – столб дуги;  
 5 – сварочная ванна; 6 – кратер; 7 – анодная область; 8 – газовое облако.

К основным параметрам, характеризующим свойства дуги, относятся напряжение, ток и длина дуги. Зависимость между напряжением и током при установившемся стационарном состоянии дуги выражается ее внешней статистической вольтамперной характеристикой (рисунок 8.3), которая может быть падающей – 1, жесткой (пологой) – 2 и возрастающей – 3.

Самое широкое применение имеет дуга с жесткой характеристикой, при которой ее напряжение не зависит от силы сварочного тока. Дугу с возрастающей характеристикой применяют при автоматической сварке под флюсом на повышенных плотностях тока и при сварке в защитных газах плавящимся электродом. Дуга с падающей характеристикой малоустойчива и имеет ограниченное применение. Напряжение дуги  $U_d$ , В с жесткой характеристикой определяется по эмпирической по формуле:

$$U_d = I_d(a + \beta), \quad (6.1)$$

где  $l_d$  – длина дуги, мм;  $a$  и  $\beta$  – коэффициенты, зависящие от рода материала электрода, состава газовой среды и т.д. (при сварке стальными электродами в атмосфере воздуха  $a = 10$  В,  $\beta = 2$  В/мм). Длина дуги это расстояние между торцом электрода и поверхностью сварочной ванны. Она бывает длинной и короткой. Короткая дуга составляет 2–4 мм, а длинная – 4–6 мм. Оптимальный режим сварки обеспечивается при короткой дуге.

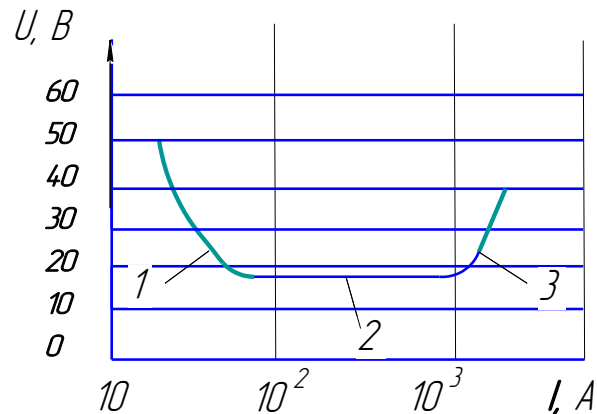


Рисунок 8.3 – Статистическая вольтамперная характеристика сварочной дуги: 1 – падающая, 2 – жесткая (пологая), 3 – возрастающая

Основными параметрами режима ручной дуговой сварки металла является диаметр электрода и сила сварочного тока. Скорость сварки и напряжение дуги при ручной сварке, не регламентируется. Их подбирает сварщик в зависимости от марки электрода и положения шва в пространстве.

Диаметр электрода  $d$ , мм зависит от толщины свариваемого металла и определяется по справочным материалам (таблица 6.1) или по эмпирической формуле:

$$d = \frac{s}{2} + 1, \quad (8.2)$$

где  $s$  – толщина свариваемого металла, мм.

Сила сварочного тока  $I_{св}$ , А в основном зависит от диаметра электрода и определяется по формуле:

$$I_{св} = kd, \quad (8.3)$$

где  $k$  – коэффициент плотности тока, А/мм ( $k = 40$ – $60$  А/мм для электродов со стержнем из низкоуглеродистой стали;  $k = 35$ – $40$  А/мм – для электродов со стержнем из высокоуглеродистой стали);

$d$  – диаметр металлического стержня электрода, мм.

При сварке по способу Славянова электрод включенный в сварочную цепь, интенсивно нагревается и быстро плавится, т. к. поверхность его торца непосредственно бомбардируют электрически заряженные частицы. Расплавляясь дугой, электрод одновременно расплавляет поверхности свариваемых деталей и является присадочным металлом, который постоянно пополняет сварочную ванну. В сварочной ванне электродный металл смешивается с расплавлен-

ным металлом свариваемых заготовок, а расплавленный шлак всплывает на поверхность. После удаления источника нагрева металл ванны охлаждается и затвердевает, образуя сварной шов, соединяющий свариваемые поверхности в одно целое, т.е. в неразъемное сварное соединение (рисунок 8.4).

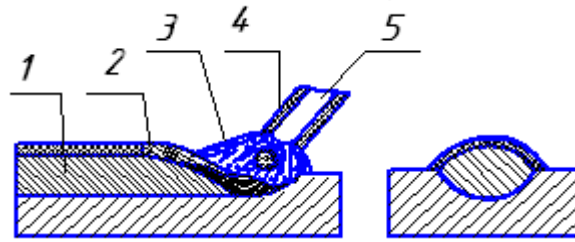


Рисунок 8.4 – Схема плавания электрода

1 – металл шва, 2 – шлаковая корка, 3 – капли электродного металла,  
4 – покрытие, 5 – электродный стержень

В процессе сварки в расплавленном металле образуются твердые растворы, механические смеси и химические соединения, а также протекают процессы кристаллизации металла шва при охлаждении. Свойства сварного шва и околошовной зоны в целом определяется характером теплового воздействия на них при проведении сварки.

Для дуговой сварки применяют как переменный, так и постоянный ток. Источники сварочного тока должны удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать легкое зажигание и поддерживать устойчивое горение дуги, т.е. создавать хорошие динамические свойства дуги, чтобы за 0,05 секунды восстановить ее напряжение до рабочего значения;
- ограничивать ток короткого замыкания и быть безопасным в работе;
- иметь небольшое напряжение холостого хода, но достаточное для легкого зажигания дуги;
- иметь крутопадающую внешнюю характеристику, когда напряжение уменьшается с увеличением сварочного тока (рисунок 8.5);
- обеспечивать регулировку сварочного тока в широком диапазоне (рисунок 8.5).
- способствовать благоприятному переносу электродного металла и формированию сварного шва;
- выдерживать длительные и частые короткие замыкания, также обеспечивать быстрое расплавление электрода при коротком замыкании.

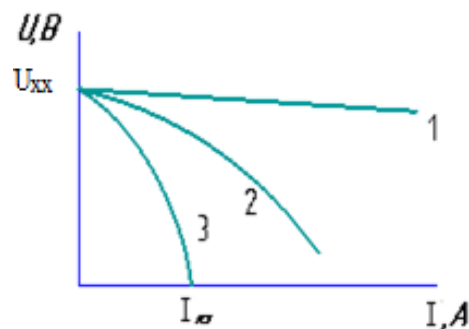


Рисунок 8.5 – Внешние вольтамперные характеристики различных источников тока:

1 – жесткая, 2 – пологая, 3 – крутопадающая

Каждый источник рассчитывают на определенную нагрузку, при которой он работает, не

перегреваясь выше допустимой нормы. Силу тока и напряжение источника при этом режиме называют номинальным. Номинальная сила тока отличается при различных режимах работы, например  $C$  и  $C_1$  (рисунок 8.6).

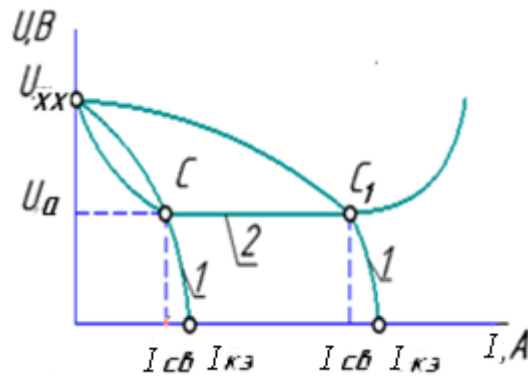


Рисунок 8.6 – Внешняя характеристика источника питания (1) и сварочной дуги (2):  
 $U_{хх}$  – напряжение холостого хода источника питания;  $U_{д}$  – напряжение горения дуги,  $I_{св}$  – ток сварочный,  $I_{кз}$  – ток короткого замыкания

Величина напряжения, необходимого для зажигания дуги, называемая напряжением холостого хода источника питания. Она должна быть не ниже 30–35 В для источников постоянного тока и не менее 50–55 В – источников переменного тока. Наиболее часто напряжение источников постоянного и переменного тока находятся в пределах 60–80 В. Для устойчивого горения открытой дуги в большинстве случаев достаточно напряжение 18–30 В. Важное значение для источников тока имеет также время восстановления напряжения от момента короткого замыкания, когда оно почти равно нулю, до значения 18–20 В, когда происходит зажигание дуги. Это время должно составлять 0,05 с.

Режим работы источников питания сварочной дуги оценивается продолжительностью включения ПВ % и продолжительностью нагрузки ПН % для всех значений, указанных в паспорте сварочного оборудования. Они определяются по формулам:

$$ПВ = \frac{N}{N+P} 100, \quad (8.4)$$

$$ПН = \frac{N}{N+T} 100, \quad (8.5)$$

где  $N$  – время работы сварочного оборудования под нагрузкой, мин;

$P$  – время паузы, мин.;

$T$  – время работы сварочного оборудования на холостом ходу, мин.

При оценке ПН во время холостого хода сварочного оборудования не отключается от питающей сети. Рекомендуемый цикл нагрузки сварочного оборудования рассчитывается на номинальную относительную продолжительность нагрузки ПН при заданном полном времени цикла сварки, например – 5 или 10 мин. При номинальной нагрузке указанной в паспорте, сварочное оборудование не должно перегреваться при указанном в паспорте ПН, например ПН 60 % и заданном полном времени и цикла 10 мин. сварочное оборудование должно находиться под нагрузкой 6 мин. В режиме холостого хода – 4 мин.

В настоящее время источниками переменного тока являются сварочные трансформаторы,

а источниками постоянного тока – сварочные генераторы, сварочные выпрямители и сварочные инверторы.

Сварочный трансформатор (рисунок 8.7) содержит пластинчатый стальной сердечник 1, первичную обмотку (изолированный провод малого сечения) 2, вторичную обмотку (изолированный провод большого сечения) 3, винтовой механизм перемещения 4, магнитный шунт 5, реактивную обмотку (аналогична вторичной, но намотана навстречу) 6.

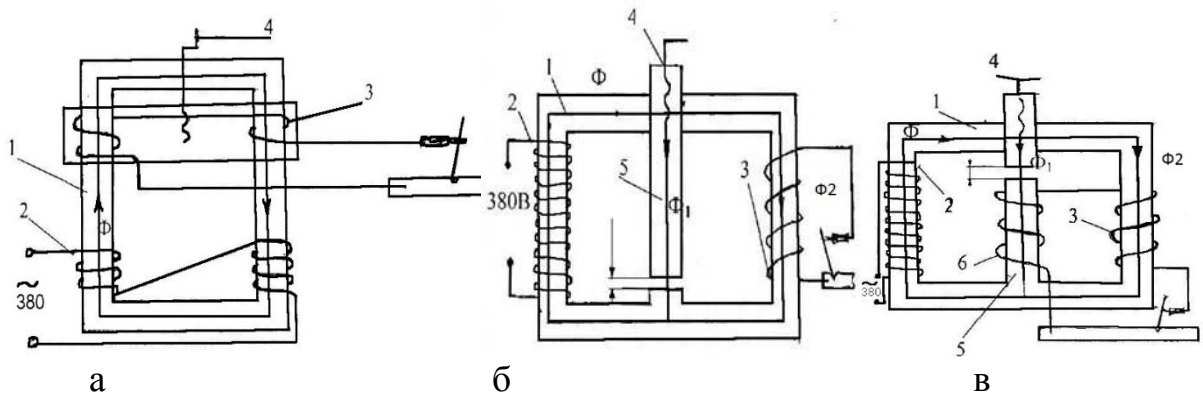


Рисунок 8.7 – Принципиальные схемы однофазовых сварочных трансформаторов:

- а – с подвижной вторичной обмоткой (марка ТС –300, 500) б – с магнитным шунтом (марка СТШ–250), в – со встроенной реактивной обмоткой (марка СТН –450), 1 – стальной сердечник, 2 – первичная обмотка, 3 – вторичная обмотка, 4 – винтовой механизм перемещения, 5 – магнитный шунт, 6 – реактивная обмотка.

В сварочных трансформаторах ТС-300, ТС-500 регулировка силы тока осуществляется винтовым механизмом за счет изменения расстояния между первичной и вторичной обмотками, а в сварочных трансформаторах СТШ-250, СТН-450 – путем шунтирования основного магнитного потока  $\Phi$ , который делится на  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ . Реактивная обмотка сварочного трансформатора СТН-250 увеличивает нелинейность регулировки сварочного тока в зависимости от перемещения шунта. Сварочные трансформаторы просты в изготовлении и в эксплуатации, а также обладают высоким к.п.д. и долговечностью, однако имеют высокую металлоемкость.

Сварочные генераторы и преобразователи (рисунок 8.8) представляют собой электрические машины, приводимые во вращение бензиновым (дизельным) или электрическим двигателем и собранных, как правило, на одном валу. Основными узлами генераторов являются – якорь 1, щетки 2, статор 3, полюсные башмаки 4. При работе генераторов (преобразователей) запитка независимой обмотки возбуждения (НО) осуществляется от аккумулятора. Между башмаками 4 создается магнитный поток, имеющий направление от N к S. При вращении рамок, образующих якорь 1, в них наводится электродвижущая сила, снимаемая щетками 2 и используемая для питания дуги. С увеличением тока сварки, на размагничивающей обмотке (РО) увеличивается размагничивающий поток  $\Phi_p$ , направленный навстречу потоку  $\Phi_n$ , благодаря чему генератор имеет крутопадающую характеристику. Достоинством генераторов и преобразователей является мобильность и надежность.

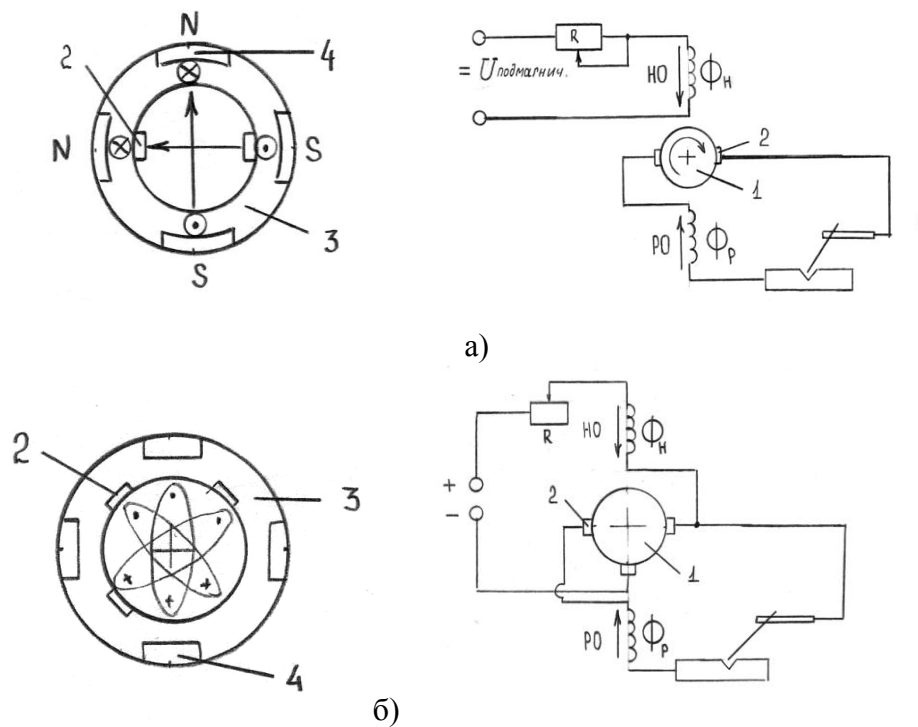


Рисунок 8.8 – Принципиальные схемы сварочных генераторов:

а – с независимой намагничивающей и последовательной размагничивающей обмотками возбуждения; б – с параллельной намагничивающей и последовательной размагничивающей обмотками возбуждения; (НО) – намагничивающая обмотка, РО – размагничивающая обмотка; N и S – северный и южный полюса; 1 – якорь, 2 – щетки, 3 – статор, 4 – полюсные башмаки

Сварочные выпрямители (рисунок 8.9) состоят из сварочного трансформатора 1 и селенового выпрямителя 2, который собирают из полупроводниковых элементов, проводящие ток только в одном направлении. Выпрямительные сварочные установки имеют высокие динамические свойства вследствие незначительной электромагнитной инерции. Ток и напряжение при переходных процессах изменяются практически мгновенно, что повышает стабильность сварочной дуги.

Сварочные инверторы – это самые современные аппараты, которые составляют конкуренцию классическим сварочным трансформаторам и выпрямителям. Структурная схема сварочного инвертора приведена на рисунке 8.10. При работе инвертора переменный ток от сети поступает на диодный выпрямитель (мост) 1, далее сглаживается фильтром 2 и поступает на высокочастотный генератор импульсов (инвертор) 3. С выхода инвертора снимается гребенка импульсов частотой 15–20 кГц, которая поступает на высокочастотный трансформатор 4 с выхода которого снимается квазипеременный сварочный ток – 100–200 А. Далее он поступает на диодный выпрямитель 5 и сглаживающий дроссель 6, после чего через блок управления 7 подается на выходные клеммы. Преимуществом инвертора является небольшая масса (в 10–12 раз меньше обычных сварочных трансформаторов), широкий диапазон регулировки сварочного тока, а также наличие системы «горячего старта», предупреждающего залипание электрода и защиты при коротком замыкании. Недостатком инвертора является высокая стоимость аппарата и его ремонта, а также недопустимость работы в условиях низких температур и повышенной запыленности.



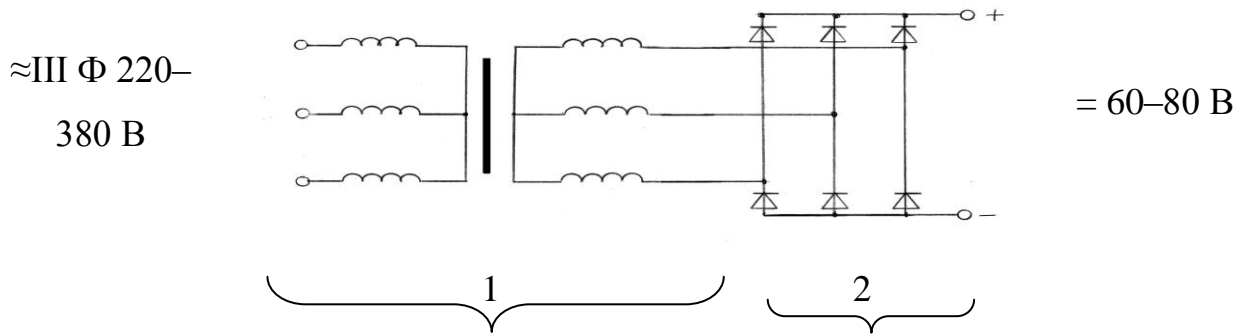


Рисунок 8.9 – Принципиальная схема сварочного выпрямителя ВСС – 300 – 3:  
 1 – понижающий трехфазный трансформатор, 2 – селеновые выпрямители

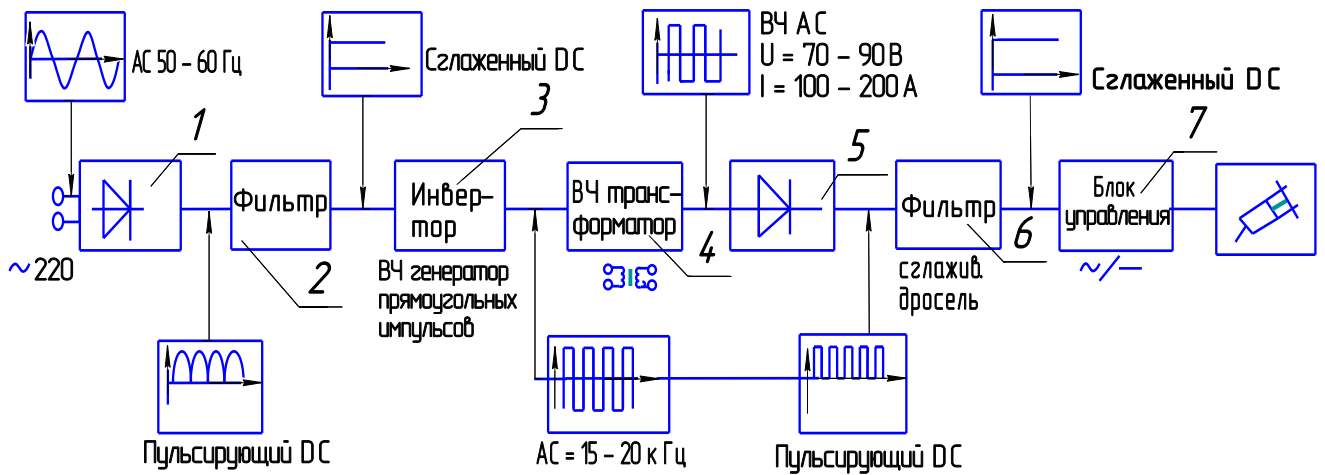


Рисунок 8.10 – Принципиальная схема сварочного инвертора:  
 1 – диодный выпрямитель, 2 – фильтр, 3 – инвертор, 4 – высокочастотный трансформатор,  
 5 – диодный выпрямитель, 6 – сглаживающий дроссель, 7 – блок управления

Технические характеристики различных источников питания сварочной дуги приведены в таблицах 6.1, 6.2, 6.3, 6.4.

Таблица 8.1 – Типы сварочных трансформаторов с увеличенным магнитным рассеиванием и их технические характеристики

Тип трансформатора	U сети, В	U вторичное, В	ПН, %	I(ток) номинальный, А	Пределы регулирования	КПД %	Масса, кг
СТШ–250	380	61	20	250	80–260	73	44
СТШ–2380	380	63	20	300	110–405	88	158
СТШ–500	380	60	60	500	145–650	90	220
СТШ–500–80	380	80	60	500	60–800	92	323
ТС–120	380	68	60	120	50–160	80	90
ТС–300	220	68	60	300	110–385	84	185
ТС–500	380	60	65	500	165–650	85	250
ТСК–300	38	63	65	300	110–385	84	215
ТСК–500	380	60	65	500	165–560	85	280
ТД–500	380	59; 73	60	500	100–560	87	210
ТД–300	220	61; 79	50	300	60–400	86	437
ТСП–2	220	62	50	300	90–300	76	63

Таблица 8.2 – Типы преобразователей и агрегатов с генераторами с самовозбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой и их технические характеристики

Тип преобразователя	Сварочный генератор			Двигатель			Агрегат или преобразователь Исполнение	Масса, кг
	Тип	U, В	I, А	Тип	N, кВт	n, об/мин		
ПСО–300	ГОО–300			АВ–62–4	14	1450	Однокорпусное на колёсах	400
АСБ–300–2	ГСО–300			ГАЗ–МК	21	1500		850
АСД–300	ГСО–300			5П4–4–8,5	14	1470		980
САМ–300	ГСО–300М			ПН–100	14,25	1520		800
САМ–400–1	СГП–3–У	30	75–320	ПН–290	42	1500	Двухмашинное на раме	1650
САМ–400–2	СГП–3–У			МАФ 72–4	32	1465		1300
ПС–500–2	ГС–500–2			А–72/4	28	1450	Одно корпусное на колёсах	940
АСД–3–1	СГП–3–УШ		120–600	ЯАЗМ–204Г	42	1500	Двухмашинное на раме	2500
АСДП–500	СГП–3–УШ	40		ЯАЗМ–204Г	42	1500	Двухмашинное на прицепе	5000

Таблица 8.3 – Типы сварочных выпрямителей с падающими внешними параметрами и их технические характеристики

Параметр	ВСС–120–4	ВСС–300–3	ВКС–120	ВКС–300	ВКС–500	ВД–101	ВД–306	ВД–502
Выпрямленное напряжение холостого хода, В	57–63	58–65	57–62	58–65	65–68	65–68	70	80
Номинальный сварочный ток при ПН=60 %, А	120	300	120	300	500	125	315	500
Номинальное напряжение при нагрузке, В	25	30	25	30	40	25	32,6	40
Предел регулирования сварочного тока, А	15–130	35–330	15–130	30–330	65–550	20–130	45–315	50–500
Потребляемая мощность, кВт	8,6	13,2	5,0	13,2	20	21	–	42
КПД, %	68	66	58	68	75	64	70	69
Коэффициент мощности	0,58	0,60	0,60	0,58	0,74	0,5	–	–
Масса, кг	140	240	175	250	410	168	170	37

Таблица 8.4 – Типы осцилляторов и их технические характеристики

Тип осцилляторов	U сети, В	U <sub>хх</sub> , В	W, кВт	Колебательный контур			Масса, кг
				W, кВт	Индукционная катушка, Гн	Емкость конденсатора, мкФ	
ГУ–2		3700	0,225				20
ГУ–77	65; 220	1500	1,00	0,097	0,097	0,5	25
ГУ–177		2500	0,40				20
ОСЦН							
М–2	220	2300	0,40	0,0045	0,005	0,5	35
М–3	40; 220	2600	0,14	0,0045	0,005	0,5	20
ОС–1	40; 65	2500	0,075	0,0025	0,160	1,2	15
ОСПЗ–2М	265	2500	0,130	0,0025	0,160	1,0	15

## 8.5 Порядок и методика изготовления сварного соединения

8.5.1 Получить у преподавателя или у учебного мастера опытные образцы заготовок из малоуглеродистой конструкционной стали для изготовления заданного сварного соединения и подготовить кромки заготовок согласно ГОСТ 5264–80.

8.5.2 Выбрать источник сварочного тока и определить оптимальные параметры режима процесса сварки: диаметр электрода и силу сварочного тока. Диаметр электрода определить по справочной таблице или по формуле 8.2, а силу сварочного тока  $I_{св}$ , А – по формуле 6.3.

Например:

Для стыковой сварки (по способу Н.Г.Славянова) двух пластин из малоуглеродистой стали толщиной  $s=8$  мм диаметр электрода  $d$ , мм равен:

$$d = \frac{s}{2} + 1 = \frac{8}{2} + 1 = 5,0 \text{ мм,}$$

а сила сварочного тока  $I_{св}$ , А (принимая коэффициент плотности тока  $k = 50$  А/мм) составит:

$$I_{св} = kd = 40 \cdot 5 = 200 \text{ А.}$$

При этом выбираем следующую марку электрода:

Э46А – УОНИ – 13/45 – 5,0 – УС2 ГОСТ 9466 - 75, ГОСТ 9467 - 75  
Е462 – (3) – Б10

8.5.3 Включить и настроить на оптимальный режим работы сварочный трансформатор.

8.5.4 Изготовить заданное сварное соединение под руководством учебного мастера.

8.5.5 Оценить визуально качество сварного шва.

8.5.6 Определить статистическую вольтамперную характеристику сварочной дуги (зависимость между напряжением дуги и сварочным током).

8.5.7 Сварить опытные образцы заготовок из малоуглеродистой конструкционной стали под руководством учебного мастера

8.5.8 Для этого заготовить сварные соединения из опытных заготовок используя электроды различного диаметра 3, 4, 5 мм. В процессе сварки определить по показаниям вольтметра и амперметра фактическое напряжение дуги  $U_d$ , В, силу сварочного тока  $I_{св}$ , А и тока короткого замыкания  $I_{кз}$ , А. Для определения тока короткого замыкания  $I_{кз}$  необходимо плотно замкнуть электродержатель на стол сварщика и по показанию амперметра записать его величину (ток короткого замыкания  $I_{кз}$  примерно равен  $1,2 I_{св}$ ).

8.5.9 Результаты полученных измерений занести в таблицу 8.5

**Таблица 8.5 – Протокол эксперимента**

Источники питания дуги	Марка источника	Диаметр, электрода $d$ , мм	Напряжение холостого хода $U_{xx}$ , В	Напряжение дуги $U_d$ , В	Сила сварочного тока $I_{св}$ , А	Сила тока короткого замыкания, $I_{кз}$ , А
Сварочный трансформатор	ТС–500	3				
		4				
		5				

8.5.10 На основании данных таблицы построить график и определить вольт амперную характеристику дуги и трансформатора. Дуга может быть падающей, горизонтальной (жесткая характеристика) и возрастающей (режим саморегулируемый). При ручной дуговой сварке дуга

должна иметь жесткую характеристику, при которой напряжение на дуге не зависит от силы сварочного тока, а сварочный ток имеет крутопадающую внешнюю характеристику. Напряжение на дуге не уменьшается с увеличением сварочного тока.)

8.5.11 Определить коэффициент добротности сварочного аппарата.

Коэффициент добротности сварочного аппарата  $D_{\text{св.ап}}$  определяется по формуле:

$$D_{\text{св.ап}} = \frac{I_{\text{кз}}}{I_{\text{св}}}, \quad (8.6)$$

Коэффициент готовности определяется в трех кратной готовности, затем определяется среднее его значение.

Для устойчивого горения сварочной дуги необходимо чтобы коэффициент добротности трансформатора находился в пределах  $1 < D_{\text{св.ап}} < 2$ .

На коэффициент добротности влияет система устройства источника тока и его динамическая характеристика, которая определяется временем возбуждения машины от короткого замыкания (напряжение дуги около нуля) до минимального напряжения (напряжение зажигания дуги). При низком коэффициенте добротности  $D_{\text{св.ап}}$ , т.е. когда источник тока обладает большой инертностью усиливается разбрызгивание металла и дуга горит неустойчиво.

8.5.12 Заполнить карту технологического процесса изготовления ручной дуговой сваркой заданного сварного соединения в соответствии с ГОСТ.

## 8.6 Содержание отчета

В отчете необходимо указать тему работы и ее цель, а также изложить физическую сущность ручной дуговой сварки. Описать устройство и принцип работы сварочного оборудования. Привести результаты оценки стабильности работы оборудования в процессе сварки. Представить карту технологического процесса изготовления ручной дуговой сваркой заданного сварочного соединения. Сделать выводы по работе.

## 8.7 Контрольные вопросы

8.7.1 Роль отечественных ученых в открытии и применения сварки металлов электрической дугой.

8.7.2 Физическая сущность процесса сварки электрической дугой.

8.7.3 Основные виды дуговой сварки.

8.7.4 Требования к источникам питания сварочной дуги.

8.7.5 Как выбрать оптимальные параметры режима дуговой сварки?

8.7.6 Объяснить по схеме сущность работы источников питания дуги (сварочного генератора постоянного тока, (сварочного выпрямителя и сварочного трансформатора).

8.7.7 Какие правила техники безопасности должны соблюдаться при включения в электрическую сеть сварочного оборудования?

## 9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ МЕТАЛЛОВ

### 9.1 Цель работы

Освоить методику и приобрести практические навыки по определению технологических характеристик электродов для ручной дуговой сварки металлов.

### 9.2 Задание

9.2.1 Предварительно до выполнения работы ознакомиться (используя учебники, лекционные материалы, практикум, интернет) с устройством электродов для ручной дуговой сварки металлов и методиками определения их технологических характеристик.

9.2.2 Ознакомится с правилами техники безопасности при выполнении данной работы.

9.2.3 Изучить устройство и принцип работы лабораторного оборудования, приборов и методами определения технологических характеристик электродов.

9.2.4 Провести эксперимент и определить технологические характеристики экспериментальных электродов для ручной дуговой сварки металлов под руководством учебного мастера.

9.2.5 Составить отчет.

### 9.3 Оборудование рабочего места

Трансформатор ТС–500, вольтметр, амперметр, электродержатель, маска, весы, секундомер, линейка, штангенциркуль, стальные заготовки, лабораторный практикум, плакаты.

### 9.4 Теоретические сведения.

Ручную дуговую сварку (по способу Н. Г. Славянова) различных конструкционных материалов (стали, чугуны и цветные металлы) выполняют электродами с металлическим стрежнем.

Современный сварочный электрод представляет собой металлический стержень определенной длины 200–400 мм и диаметром 2–8 мм и более с равномерно нанесенным на его поверхность покрытием. В зависимости от назначения электрода их стержни изготавливают из различных марок конструкционных сталей, а покрытие – из разнообразных материалов (сочетаний порошков, руд, минералов, металлов и сплавов, химикатов и т.д.). Покрытие наносят на металлический стержень методом опрессовки. Общий вид современного электрода с металлическим стержнем показан на рисунке 9.1. Металлические электроды именно такой конструкции выпускаются и применяются во всем мире. Электроды других конструкций и конфигураций не нашли промышленного распространения. В современной конструкции электрода часть электродной проволоки оставляют свободной от покрытия, чтобы обеспечить электрический контакт между стержнем и электродержателем. Контактный торец электрода без покрытия обеспечивает образование и горение дуги в процессе сварки.

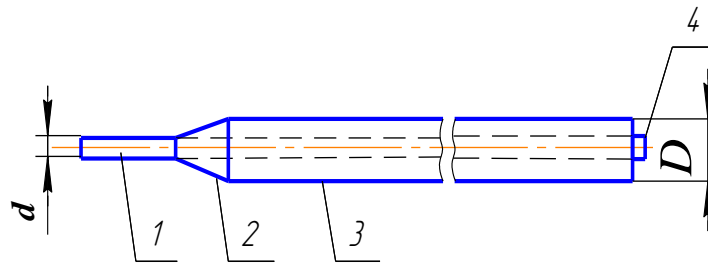


Рисунок 9.1 – Общий вид электрода:

1 – стержень, 2 – участок перехода, 3 – покрытие, 4 – контактный торец без покрытия

При внешней простоте конструкции современный электрод представляет собой сложную металлургическую и технологическую систему. Металлургические процессы при дуговой сварке покрытыми электродами протекают при высоких температурах, с малой массой и объемом реагирующих веществ и за короткое время. Стабильность состава и свойство металла шва может быть обеспечена только при надлежащем качестве электрода.

В настоящее время промышленностью выпускается большое количество разнообразных электродов для ручной дуговой сварки металлов. Это диктуется невозможностью сочетания в одной марке электрода разнообразных и специфических требований, предъявляемых в различных конкретных случаях. По уровню разработок и свойствам наплавленного металла отечественные электроды отвечают современному техническому уровню, часто превосходя лучшие зарубежные образцы.

При нормировании сварочных и наплавочных работ, а также при разработке новых технологических процессов ручной дуговой сварки различных металлических конструкций и изделий необходимо знать технологические характеристики той или иной марки электрода с металлическим стержнем, например, коэффициент расплавления, коэффициент наплавки, коэффициент потерь. Эти показатели не всегда указаны в заводской технической их характеристике. Поэтому технологические коэффициенты определяют в лабораторных условиях по специальным методикам.

## 9.5 Порядок и методика определения технологических коэффициентов

9.5.1 Получить у преподавателя или у учебного мастера образцы электродов с металлическим стержнем для ручной дуговой сварки металлов.

9.5.2 Определить размерные характеристики экспериментальных электродов (длину и диаметр электродного стержня) вместе с покрытием, с помощью линейки и штангенциркуля.

9.5.3 Определить толщину покрытия  $\Pi$ , мм по формуле:

$$\Pi = 0,5(D - d), \quad (9.1)$$

где  $D$  – диаметр электрода с покрытием, мм;

$d$  – диаметр электродного стержня, мм.

9.5.4 Определить массу электродного стержня  $G_{ст.}$ , г по формуле:

$$G_{\text{ст.}} = \pi \frac{d^2}{4 \cdot 1000} l \rho, \quad (9.2)$$

где  $d$  – диаметр стержня, мм;

$l$  – длина электрода, мм;

$\rho$  – плотность металла, г/см<sup>3</sup>.

9.5.5 Определить массу электрода  $G_3$  в граммах путем взвешивания на весах

9.5.6 По справочным таблицам выбрать необходимую толщину свариваемых стальных пластин (заготовки) в зависимости от диаметра электрода.

Таблица 9.1 – Справочная таблица по выбору электрода

Толщина пластины для сварки $S$ , мм	1,5	2	3	4–5	6–9	13–15
Диаметр металлического стержня электрода $d$ , мм	1,6	2	3–4	4	4–5	5

9.5.7 Определить массу заготовок  $G_3$ , г, и подготовить их кромки для сварки согласно ГОСТ 5264–80.

9.5.8 Определить силу сварочного тока  $I_{\text{св}}$ , А по формуле 9.3.

На сварочном трансформаторе установить сварочный ток (при необходимости провести его корректировку).

9.5.9 Сварить опытные заготовки из малоуглеродистой конструкционной стали.

В процессе сварки определить по амперметру силу сварочного тока  $I_{\text{св}}$ , А, по вольтметру – напряжение дуги  $U_g$ , В и по часам – продолжительность времени горения дуги  $t_0$ , ч.

9.5.10 Определить длину сварочного шва  $L$ , мм с помощью линейки.

9.5.11 Определить скорость сварки  $V$ , м/ч по формуле:

$$V = \frac{L}{t_0}, \quad (9.4)$$

где  $L$  – длина сварного шва, м;

$t_0$  – время горения дуги, ч.

9.5.12 Определить массу сваренных заготовок (с наплавленным металлом)  $G_d$ , г и массу огарка  $G_0$  путем взвешивания на весах.

9.5.13 Определить массу наплавленного металла  $G_n$ , г по формуле:

$$G_n = G_d - G_3, \quad (9.5)$$

где  $G_d$  – масса сваренных заготовок (с наплавленным металлом), г;

$G_3$  – масса заготовки, г.

9.5.14 Определить массу расплавленного металла  $G_p$ , г по формуле:

$$G_p = G_{\text{ст}} - G_0, \quad (9.6)$$

где  $G_{\text{ст}}$  – масса электродного стержня, г;

$G_0$  – масса огарка, г.



Таблица 9.2 – Технологическая характеристика электродов

№ п/п	Наименование	Обозначение и размерность	№№ опытов	Как определить
1	Масса заготовки	$G_3$ , г		Взвесить
2	Длина электрода	$l$ , мм		Измерить
3	Диаметр электрода с покрытием	$D$ , мм		Измерить
4	Диаметр электродного стержня	$d$ , мм		Измерить
5	Толщина покрытия	мм		$0,5(D-d)$
6	Масса электродного стержня	$G_{ст}$ , г		$\pi \frac{d^2}{4} l \rho$
7	Масса электрода	$G_3$ , г		Взвесить
8	Сила сварочного тока	$J_{св}$ , А		По амперметру
9	Напряжение дуги	$U_d$ , В		По вольтметру
10	Время горения дуги	$t_0$ , ч		По часам
11	Длина сварочного шва	$L$ , м		Измерить
12	Скорость сварки	$V$ , м/ч		$L/t_0$
13	Масса наплавленной детали	$G_d$ , г		Взвесить
14	Масса огарка	$G_o$ , г		Взвесить
15	Масса наплавленного металла	$G_H$ , г		$G_d - G_3$
16	Масса расплавленного металла	$G_p$ , г		$G_{ст} - G_o$
17	Потери электродного металла на угар и разбрызгивание	$G_{угар, разб.}$ , %		$\frac{G_p - G_H}{G_H} \cdot 100$
18	Коэффициент расплавления	$K_p, \frac{г}{Ач}$		$\frac{G_p}{J_{св} t_0}$
19	Коэффициент наплавки	$K_H, \frac{г}{Ач}$		$\frac{G_H}{J_{св} t_0}$
20	Коэффициент потерь	$K_{пз}$ , %		$\frac{G_3 - G_H}{G_3} \cdot 100$
21	Расход электроэнергии	$W$ , кВт·ч		$\frac{U_d J_{св} t_0}{1000 \eta}$
22	Удельный расход электроэнергии	$W_{уд}, \frac{кВт \cdot ч}{кг}$		$\frac{W}{G_H}$

Примечание.

По справочным материалам к.п.д., сварочного трансформатора  $\eta = 0,70-0,85$ ;  
удельный расход электрической энергии на 1 кг наплавленного металла при ручной дуговой сварке составляет 3,0–4,5 кВтч при работе на переменном токе и 6,0–8,0 кВтч на постоянном токе.

9.5.15 Определить потери электродного металла на угар и разбрызгивание  $G_{угар, разб}$ , % по формуле:

$$G_{угар, разб.} = \frac{G_p - G_H}{G_H} 100, \quad (9.7)$$

где  $G_p$  – масса расплавленного металла, г;

$G_H$  – масса наплавленного металла, г.

9.5.16 Определить коэффициент расплавления  $K_p$ , г/Ач по формуле:

$$K_p = \frac{G_p}{J_{св} t_0}, \quad (9.8)$$

где  $G_p$  – масса расплавленного металла, г;  
 $I_{св}$  – сила сварочного тока, А;  
 $t_0$  – время горения дуги, ч.

9.5.17 Определить коэффициент наплавки  $K_H$ , г/А·ч по формуле:

$$K_H = \frac{G_H}{I_{св} \cdot t_0}, \quad (9.9)$$

где  $G_H$  – масса наплавленного металла, г;  
 $I_{св}$  – сила сварочного тока, А;  
 $t_0$  – время горения дуги, ч.

9.5.18 Определить коэффициент потерь  $K_{пз}$ , % по формуле:

$$K_{пз} = \frac{G_p - G_H}{G_H} 100, \quad (9.10)$$

где  $G_H$  – масса наплавленного металла, г;  
 $G_p$  – масса заготовки, г.

9.5.19 Определить расход электроэнергии  $W$ , кВт·ч по формуле:

$$W = \frac{U_d I_{св} t_0}{1000 \eta}, \quad (9.11)$$

где  $U_d$  – напряжение на дуге, В;  
 $I_{св}$  – сила сварочного тока, А;  
 $t_0$  – время горения дуги, ч.

9.5.20 Определить удельный расход электроэнергии  $W_{уд}$ , кВт/ч по формуле:

$$W_{уд} = \frac{W}{G_H}, \quad (9.12)$$

где  $U_d$  – напряжение на дуге, В;  
 $I_{св}$  – сила сварочного тока, А;  
 $t_0$  – время горения дуги, ч;  
 $G_H$  – масса наплавленного металла, г.

9.5.21 Результаты выполненных замеров и расчетов занести в таблицу 9.2. Если в процессе лабораторной работы исследуется 2–3 электрода, то по каждому из них проводятся аналогичные исследования и результаты заносятся в таблицу 9.2.

9.5.22 На основании полученных данных делаются выводы о технологических возможностях исследуемого электрода.

## 9.6 Содержание отчета

В отчете необходимо указать тему лабораторной работы и ее цель, а также оборудование на рабочем месте. Дать краткие сведения о ручной дуговой сварке электродами с металлическим стержнем. Описать устройство электрода. Изложить результаты исследований технологических характеристик электродов с металлическим стержнем и сделать выводы.

### 9.7 Вопросы для контроля

9.7.1 Какие стали сваривают ручной дуговой сваркой электродами с металлическим стержнем по способу Н. Г.Славянова?

9.7.2 Дать определение технологическим коэффициентам электродов:

- а) коэффициент расплавления  $K_p$ ;
- б) коэффициент наплавки  $K_n$ ;
- в) коэффициент потерь  $K_{пз}$ .

9.7.3 Какое влияние оказывает коэффициент наплавки  $K_n$  на производительность процесса сварки?

9.7.4 Назовите параметры режима дуговой сварки.

9.7.5 Что такое удельный расход электроэнергии?

## 10 ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОВОЙ СВАРКИ И КИСЛОРОДНОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ

### 10.1 Цель работы

Закрепить теоретические знания и приобрести практические навыки по газовой сварке и кислородной резке металлов.

### 10.2 Задание

10.2.1 Предварительно до проведения лабораторной работы ознакомиться (используя учебники, лекционные материалы, практикум, интернет) с сущностью процессов газовой сварки и кислородной резки металлов, строением ацетиленокислородного пламени, а также с существующим оборудованием и материалами для газовой сварки и кислородной резки металла.

10.2.2 Изучить в лаборатории устройство и принцип работы различного оборудования, приборов и приспособлений для газовой сварки и кислородной резки металлов (ацетиленового генератора, кислородного и ацетиленового баллонов, редукторов, газовой сварочной горелки и ацетилено-кислородного резака и др.).

10.2.3 Ознакомиться с правилами техники безопасности при выполнении данной работы.

10.2.4 Освоить технологию и приобрести практические навыки по газовой сварке и кислородной резке металлов. Изготовить сварное соединение из опытных заготовок малоуглеродистой стали и произвести кислородную резку металла под руководством учебного мастера.

При этом научиться:

- рассчитывать расход ацетилена и кислорода;
- выбирать сварочную горелку, кислородный резак и ацетиленовый генератор;
- зажигать и регулировать ацетилено-кислородное пламя;
- сваривать опытные заготовки из малоуглеродистой конструкционной стали;
- разрезать заготовки ацетилено-кислородным резаком на заданные размеры;
- оценивать визуально качество сварного соединения и определять виды дефектов.

10.2.5 Составить отчет по работе.

### 10.3 Оборудование рабочего места

Ацетиленовые генераторы ГНВ–1,25, ГВП–1,25, АНВ–1,25–73, АСМ–1,25-3, ГРК–10–68, водяные затворы, ацетиленовый баллон, кислородный баллон, горелки ГС-2, ГС-3, ГС-4 с комплектами мундштуков, кислородный резак, редукторы, ключи, присадочная проволока, флюсы, плакаты, практикум.

### 10.4 Теоретические сведения

Материалы, необходимые для газовой сварки и резки. Газовой сваркой называется процесс получения неразъемного соединения, заключающийся в нагреве и расплавлении газокислородным пламенем кромок свариваемых заготовок (деталей) и присадочного прутка, вносимого в пламя для заполнения межкромочного пространства вместе с основным расплавленным металлом и получения необходимого сечения шва. Газовую сварку используют для соединения тонкостенных изделий из стали и сплавов цветных металлов.

Для газовой сварки и резки металла необходимо иметь: горючий газ, кислород, присадочный материал и флюсы. В качестве горючих газов используют ацетилен, водород, природный газ, пары бензина и керосина. Самое широкое применение для сварки стали, чугуна и цветных металлов имеет ацетилен.

Ацетилен – это бесцветный газ, легче воздуха, с резким характерным запахом. Он имеет температуру сварочного пламени – 3000–3200 °С, теплотворную способность – 48 МДж/м<sup>3</sup>, температуру воспламенения – 420 °С. Смесь его с воздухом и кислородом взрывоопасна. Длительное вдыхание ацетилена вызывает головокружение, тошноту, а иногда и сильное отравление. Поэтому при использовании этого газа необходимо строго выполнять правила техники безопасности. Ацетилен получают непосредственно на месте сварочных работ из карбида кальция в ацетиленовых генераторах или привозят с завода в ацетиленовых баллонах.

Карбид кальция получают в электрических печах спеканием кокса с негашеной известью при температуре 1900–2300 °С. Он представляет собой твердое вещество темно-серого или коричневого цвета. Карбид кальция дробят и сортируют на куски определенных размеров, после чего упаковывают в жестяные герметически закрытые барабаны емкостью 100–150 кг. Для получения 1 м<sup>3</sup> ацетилена расходуется 4,3–4,5 кг карбида кальция.

Кислород – это газ, не имеющий цвета и запаха. Он несколько тяжелее воздуха. Сгорание горючих газов в чистом кислороде происходит очень интенсивно. Технический кислород получают путем электролиза воды или из атмосферного воздуха. Очищенный от пыли, углекислоты и влаги воздух сжимают компрессором и охлаждают в теплообменниках до сжижения. Жидкий воздух разделяют (ректифицируют) на кислород и азот. Подобное разделение возможно вследствие того, что температура кипения жидкого кислорода выше, чем азота. При температуре – 183 °С кислород превращается в голубоватую, подвижную и легкоиспаряющуюся жидкость. Жидкий кислород хранят и транспортируют в специальных сосудах с хорошей теплоизоляцией.

Присадочный материал используют для заполнения металлом образовавшийся при сварке жидкой ванны. Обычно это проволока диаметром от 0,3 до 12,0 мм. По химическому составу она близка к свариваемому металлу. Поверхность проволоки должна быть чистой, без окалины, ржавчины и прочих загрязнений. Для газовой сварки стали применяется проволока из малоуглеродистой стали Св–08, Св–08ГА, Св–08А, Св–08 ГС, углеродистых сталей – Св–08ХМА, Св–10Х5М и легированных сталей – Св–08Х18Н9Т, Св–30Х25Н10Г7 и др.

Для защиты расплавленного металла от окисления и удаления образовавшихся в сварочной шве окислов используют флюсы. Флюс должен плавиться раньше металлов, хорошо растекаться по шву и не оказывать вредного действия на металл шва. При газовой сварке углеродистой стали флюсы не применяют, так как сварочное пламя хорошо защищает расплавленный металл от окисления. При сварке чугуна, высоколегированных сталей, меди и ее сплавов,

алюминия и его сплавов, магниевых сплавов необходимо применять флюсы для удаления тугоплавких окислов свариваемых металлов. Флюс можно использовать и для легирования наплавленного металла. В качестве флюса применяют прокаленную буру, борную кислоту, кремниевую кислоту и другие вещества.

Оборудование и приспособления для газовой сварки и резки металлов. Для организации поста газовой сварки и резки металлов необходимо иметь: ацетиленовый генератор (или ацетиленовый баллон), кислородный баллон, кислородный редуктор (при использовании ацетиленового баллона – ацетиленовый редуктор), сварочную горелку, ацетиленокислородный резак, шланги для кислорода и ацетилена (рисунок 10.1).

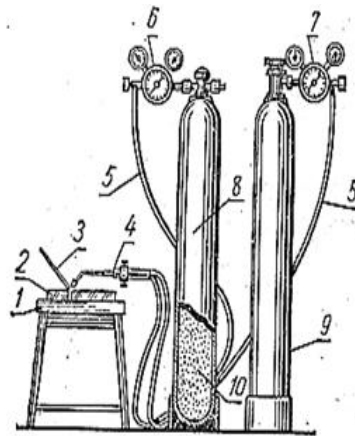


Рисунок 10.1 – Пост газовой сварки:

- 1 – стол; 2 – свариваемые детали; 3– присадочный материал; 4 – горелка; 5– шланги;  
6 – ацетиленовый редуктор; 7 – кислородный редуктор; 8 – ацетиленовый баллон;  
9– кислородный баллон; 10 – пористая масса.

Ацетиленовый генератор – это аппарат для получения ацетилена из карбида кальция. В зависимости от давления вырабатываемого ацетилена генераторы делятся на две группы (ГОСТ 5190–67): низкого давления до 0,1 МПа; среднего давления – от 0,1 до 1,5 МПа. В ремонтных мастерских широкое распространение получили ацетиленовые генераторы низкого давления АНВ–1-66 и среднего давления АСМ–1,25-3, АСП-10, АСВ-1,25. Принципиальная схема ацетиленового генератора АСП-10 показана на рисунке 2. В корпусе генератора расположены газообразователь 1, вытеснитель 2 и газосборник (промыватель) 3. Газообразователь 1 соединен с вытеснителем 2 переливным патрубком 4 и, а с газосборником - трубка 5. Корпус закрывается крышкой 6 и герметизируется прокладкой 7, вставляемой в паз крышки. Траверса 8 вводится в проушины крюков. Вращением втулки 23 с помощью рукоятки 22 создается усилие прижима крышки к горловине. В крышку встроен подвижный шток 9 с коромыслом 20, на которое подвешивается грузозачная корзина 10. Герметизацию штока обеспечивают резиновые уплотнительные кольца, вставляемые в гнездо крышки. Необходимое усилие герметичного уплотнения обеспечивается резьбовой пробкой 12. Фиксатор 13 имеет различные по глубине внутренние пазы с буквенными обозначениями - О, М, С и Б, что соответствует - нулевой малой, средней и большой замочке корзины. Нижнее положение корзины задается вводом рукоятки - кнопки 21 в паз Б фиксатора, верхнее - в паз О. Таким образом, переставляя рукоятку-кнопку в пазы различной глубины в фиксаторе, регулируют глубину погружения корзины, а значит и карбида кальция в воду. Пробки 14 и кольца уплотнительные 25 служат для герметизации штуцеров слива ила (воды) из вытеснителя и промывателя, причем для промывателя штуцер является контрольно-сливным.

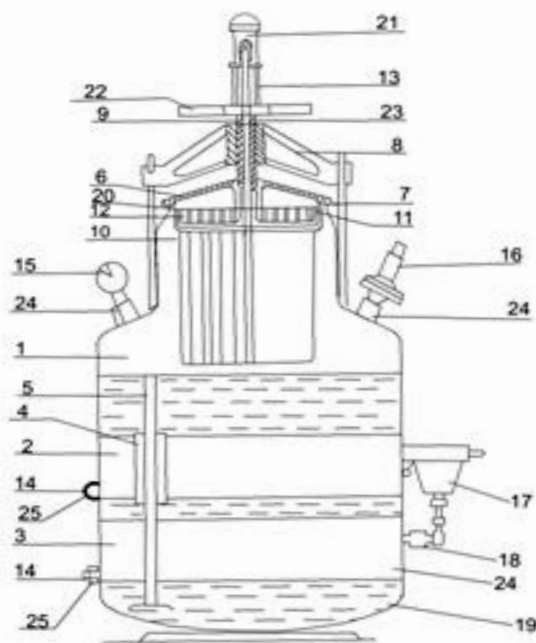


Рисунок 10.2 – Принципиальная схема ацетиленового генератора АСП-10.  
 1 - газообразователь, 2 - вытеснитель; 3 - газосборник (промыватель),  
 4 - патрубок переливной, 5 - трубка переливная, 14 - пробка, 15 - манометр,  
 16 - клапан предохранительный, 17 - защитное устройство, 18 - вентиль, 19 - опора; 24  
 – прокладка, 25 - кольцо уплотнительное, 6 - крышка, 7 - прокладка; 8-траверса, 9 -  
 шток, 10-корзина, 11 - кольцо уплотнительное, 12 - пробка; 13—фиксатор, 20 - ко-  
 ромысло, 21-рукоятка-кнопка, 22 – втулка.

На корпус генератора устанавливаются манометр 15, клапан предохранителя 16, защитное устройство 17 с вентилем 18. При снятой крышке в газообразователь заливается вода до обреза трубки 5, а в промыватель – до отверстия контроля уровня. Крышка с подвешенной на нее корзиной загруженной карбидом кальция устанавливается на горловину генератора. После герметизации крышки шток с корзиной опускается (из положения О рукоятка кнопка переводится в положение па фиксаторе М, С или Б) и корзина погружается в воду. Ацетилен, образующийся в результате реакции карбида кальция с водой, по – трубке 5 поступает в газосборник, барботируя через слой воды, охлаждается, промывается и через вентиль 18 и защитное устройство 17 поступает на потребление. В случае уменьшения отбора ацетилена и повышения давления в генераторе вода из газообразователя 1 передавливается в вытеснитель 2, объем замоченного карбида кальция уменьшается, тем самым уменьшается газообразование; при снижении давления происходит обратный процесс. Таким образом, газообразование происходит в автоматическом режиме в зависимости от величины потребления ацетилена. При возрастании давления в генераторе выше допустимого (рабочего) срабатывает предохранительный клапан 16, выпуская ацетилен в атмосферу. Защитное устройство 17 предназначено для предохранения генератора от проникновения в него кислорода или воздуха со стороны отбора ацетилена и задержания детонационного горения ацетиленокислородной смеси.

Баллоны для сжатых газов представляет собой цилиндрические стальные сосуды с выпуклым днищем внизу и узкой горловиной вверху. В горловине имеется конусное отверстие с резьбой, куда ввертывается запорный вентиль. Баллон для кислорода (рисунок 10.3) рассчитан

на давление 15 МПа. Их окрашивают в голубоватый цвет и на них делают надпись черными буквами «Кислород». Баллоны подлежат проверке и испытанию через каждые 5 лет. Для подсчета количества кислорода надо емкость баллона в литрах умножить на давление в атмосферах. Баллоны для ацетилена заполняют специальным активированным древесным углем или смесью угля, пемзы и инфузорной земли. Эту массу пропитывают ацетоном, в котором ацетилен хорошо растворяется и перестает быть взрывоопасным. В баллонах ацетилен находится под давлением 1,5–1,6 МПа. Ацетиленовые баллоны имеют те же размеры, что и кислородные, их окрашивают в белый цвет и на них делают надпись красными буквами «Ацетилен».

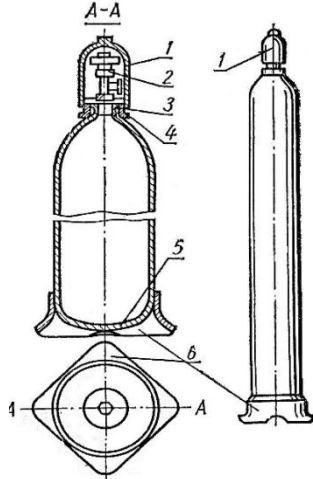


Рисунок 10.3 – Кислородный баллон:  
1 – колпак; 2 – вентиль; 3 – горловина; 4 – кольцо;  
5 – днище; 6 – башмак

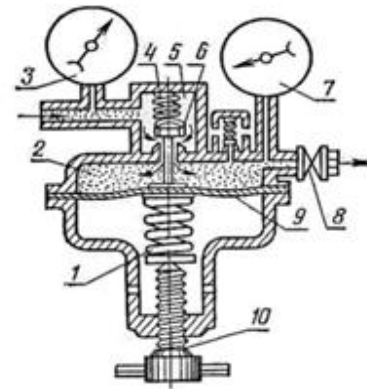


Рисунок 10.4 – Принципиальная схема  
кислородного редуктора:  
1, 4 – пружины; 2 – камера низкого давления; 3 – манометр  
высокого давления; 6 – клапан; 5 – камера высокого давлени-  
я; 7 – манометр низкого давления;  
9 – мембрана; 8 – кран; 10 – винт

Редукторы применяют для понижения давления газа, забираемого из баллона, и поддержания этого давления постоянным независимо от давления газа в баллоне. Кислородные редукторы могут устанавливать давлений от 0,1 до 1,5 МПа, ацетиленовые – от 0,02 до 0,15 МПа. Схема редуктора показана на (рисунок 10.4). Сжатый газ из баллона поступает в камеру высокого давления 5, где манометром 3 фиксируется давление. Далее газ проходит через клапан 6 и попадает в камеру низкого давления 2. Пониженное давление фиксируется манометром 7. Из камеры 2 газ попадает в горелку через кран 8. Мембрана 9, винт 10 и пружины 1 и 4 служат для регулирования открытия клапана 6 и давления газа в камере низкого давления. При ввертывании винта 10 сжимаются пружины 1 и 4 и повышается давление в камере 2, и наоборот. Установленное давление поддерживается автоматически постоянным. Если при уменьшении расхода газа потребителем давление начинает возрастать, то газ в камере низкого давления действует с большей силой на мембрану 9, которая отходит вниз и сжимает пружину 1. Пружина 4 прикрывает клапан 6 до момента, пока давление не станет первоначальным. При снижении давления в камере 2 происходит обратный процесс. Кислородные редукторы могут быть одноступенчатыми (ДКП-1-65) и двухступенчатыми (РКД-8-11). В двухступенчатых редукторах имеются две ступени редуцирования, они сложнее по устройству и обеспечивают более постоянное давление газа на выходе.

Ацетиленовые редукторы одноступенчатые (АБО-5) и двухступенчатые (АБД-5) по принципу действия и конструктивному оформлению подобны кислородным. Отличие состоит в том, что для присоединения к вентилю баллона у ацетиленовых редукторов вместо накидной



гайки имеется специальный хомут с нажимным винтом. Кислородные редукторы окрашиваются в голубоватый цвет, а ацетиленовые – в белый.

Сварочные горелки используют для смешивания горючего газа с кислородом и образования устойчивого пламени, которым нагревают и расплавляют свариваемый металл. Сварочные горелки по принципу подачи горючего газа в смесительную камеру подразделяют на инжекторные и безинжекторные. В инжекторных горелках (рисунок 10.5) подаваемый ацетилен подсасывается струей кислорода, вытекающего с большой скоростью из отверстия сопла — инжектора. Инжекторные горелки ГС-2, ГС-3 и другие используются при низком и среднем давлении ацетилена. К горелкам прилагается комплект сменных наконечников, позволяющих сваривать металлы различной толщины. Для нормальной работы инжекторной горелки давление кислорода должно составлять 0,3–0,4 МПа, ацетилена 0,001–0,02 МПа. Подачу газа в горелку регулируют кислородным и ацетиленовым вентилями на корпусе горелки.

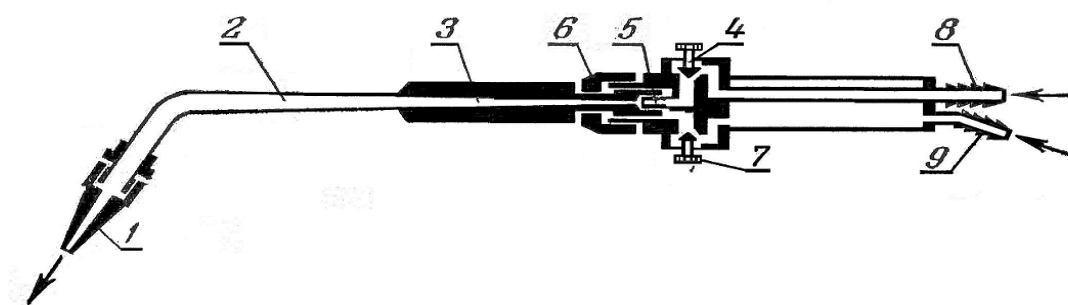


Рисунок 10.5 – Схема газовой горелки.

1- мундштук; 2 – наконечник; 3 – камера смешивания; 4 – вентиль подачи кислорода,  
5 – сопло инжектора, 6 – накидная гайка; 7 – вентиль подачи ацетилена;  
8 – ниппель для подвода кислорода.

Ацетилено-кислородные резаки, например, «Пламя-62», РУ-1-66 и другие применяются для резки металла. Конструкция резака в той части, где происходит смешивание горючей смеси, принципиально не отличается от конструкции сварочной инжекторной горелки. Дополнительно в резаке установлен трубопровод для подачи режущего кислорода в место резки металла (рисунок 10.6). Мундштуки используются с кольцевым подогревателем пламени и многофакельные. Кольцевые мундштуки состоят из внутреннего и наружного мундштуков, которые ввертываются в головку резака. По кольцевому зазору поступает горючая смесь, образуя подогревательное пламя. По центральному каналу внутреннего мундштука к месту резки поступает струя чистого кислорода, в котором сгорает разрезаемый металл. Многофакельные наконечники неразборные и имеют ряд каналов небольшого диаметра (0,7–1 мм), расположенных вокруг центрального канала. Они применяются при работе на природном нефтяном и коксовом газе. При газовой резке давление кислорода зависит от толщины разрезаемого металла и изменяется от 0,2 до 1,4 МПа.

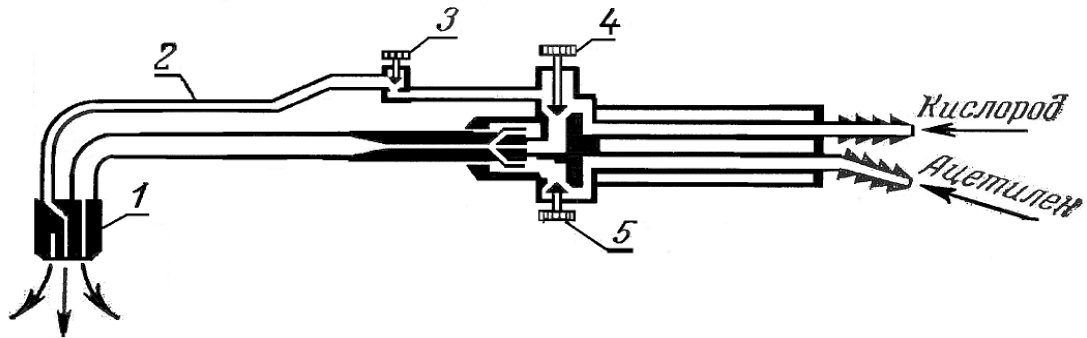


Рисунок 10.6 – Схема устройства ручного резака инжекторного типа:  
1 – головка резака, 2 – трубка; 3, 4, 5 – вентили.

Шланги служат для подвода газа к горелке или резаку. Они должны обладать достаточной прочностью, быть гибкими и не стеснять движений сварщика. Изготавливают их из вулканизированной резины с одной или двумя прокладками из льняной или бумажной ткани. В зависимости от назначения шланги изготавливают трех типов: I – для ацетилена и городского газа на рабочее давление не более 0,6 МПа; II – для жидкого топлива (бензин, керосин) на рабочее давление не более 0,6 МПа (изготавливают из бензостойкой резины); III – для кислорода на рабочее давление не более 1,5 МПа. Все шланги должны иметь цветной наружный слой; для кислорода – синий, для ацетилена – красный, для жидкого топлива – желтый.

Технология газовой сварки. Газосварочное пламя образуется в результате сгорания смешиваемого в определенных пропорциях с кислородом в сварочных горелках. В зависимости от соотношения кислорода и ацетилена в смеси различают три вида сварочного пламени: нормальное (восстановительное), окислительное (с избытком кислорода) и науглероживающее (с избытком ацетилена).

Нормальное пламя, применяемое для сварки большинства металлов, состоит из трех зон (рисунок 10.7). Зона 1 называется ядро пламени. Длина зоны ядра зависит от расхода горючей смеси, скорости ее истечения и находится в пределах от 5 до 20 мм. Зона 2 называется восстановительной. Она занимает пространство в пределах до 20 мм от конца ядра. Здесь ацетилен сгорает не полностью и образуются окиси углерода и водорода, которые не вызывают окисления металла. Зона 2 имеет самую высокую температуру, поэтому сварку надо вести этой зоной. Зона 3 называется факелом пламени. Она состоит из углекислого газа, азота и паров воды. Факел образуется в результате соединения продуктов сгорания с кислородом окружающего воздуха. Нормальное пламя получается при соотношении ацетилена к кислороду приблизительно равным единице. Нормальным пламенем сваривают большинство сталей.

При избытке ацетилена пламя приобретает желтоватую окраску, ядро теряет резкое очертание, становится расплывчатым и имеет на конце зеленоватый венчик. Такое пламя применяют при сварке чугуна, алюминиевых и магниевых сплавов.

При избытке кислорода пламя приобретает голубоватый оттенок, укороченную длину и заостренную форму ядра. Такое пламя обладает окислительными свойствами, и его применяют только при сварке латуни.

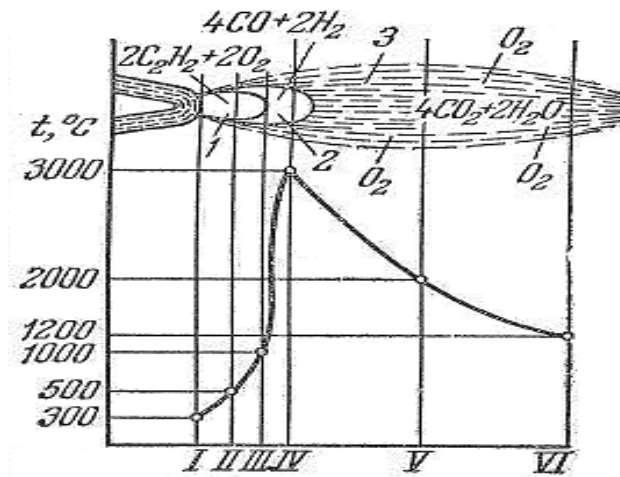


Рисунок 10.7 – Сварочное пламя:

1 – ядро пламени; 2 – восстановительная зона; 3 – факел

Технология газовой сварки заключается в следующем. Свариваемый участок заготовки предварительно нагревается пламенем горелки до образования сварочной ванны. После этого в жидкую ванну вводят конец присадочной проволоки, которая, расплавляясь, образует шов. Газовой сваркой можно выполнять швы в любом положении. Наиболее рациональным способом газовой сварки является соединения в стык. Технологический процесс газовой сварки состоит из следующих операций:

- очистка кромок свариваемого металла от ржавчины, окалины и других загрязнений;
- разделка кромок и сборка изделий под сварку;
- выбор наконечника горелки;
- выбор состава и диаметра присадочной проволоки;
- выбор угла наклона и направление перемещения горелки;
- выбор типа пламени;
- зажигание горелки и прихватка свариваемых деталей;
- выполнение сварного шва;
- зачистка шва.

Техника сварки. Пламя горелки зажигают в следующей последовательности: открыть вентили подачи кислорода и ацетилена; зажечь смесь и отрегулировать пламя на нормальное. Тушат пламя в обратном порядке. В процессе сварки сварщик держит в правой руке горелку, а в левой – присадочную проволоку. Пламя горелки направляют на свариваемый металл так, чтобы расплавляемые кромки основного металла и конец присадочной проволоки находились в восстановительной зоне пламени. Тепловое воздействие пламени на металл зависит от угла наклона горелки к поверхности, изделия. Наиболее интенсивно воздействует пламя, когда оно перпендикулярно к поверхности металла. С уменьшением угла наклона тепловое действие пламени ослабевает. Присадочную проволоку следует подводить под углом  $45^\circ$  к поверхности металла и ее конец надо погружать в ванну расплавленного металла. Для равномерного нагрева и получения ровного шва делают различные поперечные и круговые движения концом мундштука и сварочной проволокой.

Различают левое и правое направление способы сварки (рисунок 8.8). При левом направлении сварки горелку перемещают справа налево, а присадочную проволоку передвигают впереди сварочного пламени. При правом – горелку перемещают слева направо, а присадочная

проволока движется за горелкой. Правый способ сварки позволяет полнее использовать тепло пламени и применяется для деталей толщиной свыше 5 мм.

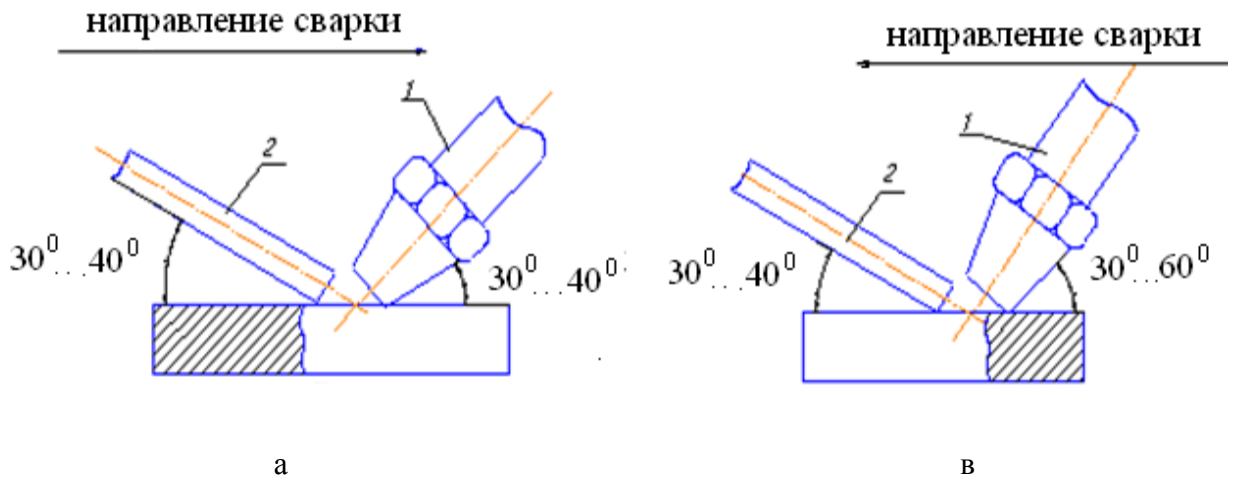


Рисунок 10.8 – Способы газовой сварки металла и углы наклона горелки и присадочного прутка:  
а – правый способ; б – левый способ; 1 - присадочный пруток; 2 – горелка

Режим сварки. Тепловая мощность сварочного пламени определяется расходом горючего газа, л/ч, и регулируется сменой наконечников и вентилями горелки. Мощность пламени  $M_r$ , л/ч, необходимую для сварки определяют по формуле:

$$M_r = As, \quad (10.1)$$

где  $A$  – коэффициент, учитывающий теплофизические свойства металла изделия, л/мм·ч (для стали  $A = 90 - 150$ , для чугуна  $A = 80 - 100$ , для меди  $A = 200 - 250$ , для алюминия  $A = 75 - 100$ );

$s$  – толщина свариваемого металла, мм.

В зависимости от мощности пламени подбирают номер наконечника (таблице 10.1).

Таблица 10.1 – Номера наконечников для сварочной горелки типа ГС-3

Номер наконечника	1	2	3	4	5	6	7
Мощность пламени, $M_r$ л/ч	50 – 125	120 – 240	230 – 400	400 – 700	660 – 1100	1050 – 1750	1700 – 2800

Диаметр сварочной проволоки  $d$  мм, подбирают в зависимости от толщины свариваемого изделия  $s$ , мм, и направления сварки по формулам: для левого направления сварки  $d = 0,5s + 1$  мм; для правого –  $d = 0,5s + 2$ . При сварке изделий толщиной свыше 16 мм диаметр присадочной проволоки назначают не более 6–8 мм.

Основное время  $t$ , мм, затрачиваемое на сварку 1 м шва, определяют по формуле:

$$t = ks, \quad (10.2)$$

где  $k$  – коэффициент, зависящий от свариваемого металла (принимается равным для стали 4–5,

для чугуна и меди – 6, для алюминия – 4);

s – толщина свариваемого металла, мм.

Кислородную резку металлов используют для получения заготовок из листового или профильного металла, удаления прибылей и литников в отливках, в ремонтном деле и пр. Металл в месте разреза нагревают газовым пламенем до температуры его воспламенения в кислороде, затем на нагретую поверхность направляют струю режущего кислорода и сдувают окислы. При горении металла выделяется большое количество тепла, которое нагревает лежащие ниже слои и способствует процессу резки. По мере образования сплошного реза резак перемещают по заданной линии. Металлы подвергаются газовой резке при следующих условиях: температура воспламенения металла должна быть ниже температуры его плавления; температура плавления окислов металла – ниже температуры его плавления; теплопроводность металла – низкая; консистенция окислов – жидкая; тепла, выделяемого при сгорании металла, достаточно для поддержания непрерывности процесса. Резке хорошо поддаются железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода до 0,7%. Кислородная резка чугуна затруднена, так как чугун переходит в жидкое состояние прежде, чем он успевает нагреться до температуры воспламенения в кислороде. Резка меди, латуни, алюминия и его сплавов затруднена из-за их высокой теплопроводности.

В настоящее время разработан метод кислородно-флюсовой резки, позволяющий резать чугун, легированные, жаропрочные и нержавеющей стали и некоторые цветные металлы. Сущность кислородно-флюсовой резки состоит в том, что в зону резки одновременно с кислородом вводят флюс, который повышает температуру пламени и облегчает удаление продуктов горения и шлаков из зоны резания. Широкое применение находят флюсы с железной основой.

## 10.5 Порядок и методика выполнения работы

10.5.1 Получить у преподавателя или учебного мастера опытные образцы заготовок из малоуглеродистой конструкционной стали для изготовления заданного сварного соединения и подготовить из к сварке согласно ГОСТ5264-80.

10.5.2 Определить мощность сварочного пламени, расход кислорода и ацетилена, а также выбрать горелку, резак и генератор для получения ацетилена, например, для сварки в стык двух пластин из малоуглеродистой стали толщиной 8 мм.

Мощность сварочного пламени  $M_r$ , л/ч, (тепловая мощность горелки) т.е. расход горючего газа в зависимости от толщины свариваемых пластин и теплофизических свойств металла определяется по формуле 10.1:

$$M_r = As = 95 \cdot 8 = 760 \text{ л/ч} \text{ или } \approx 0,8 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

По справочной таблице 10.2 выбирается горелка ГС-3 с наконечником №5 (в зависимости от толщины свариваемого металла).

Таблица 10.2 – Характеристика горелок

Горелки	Распределение по номерам наконечника						
ГС–2 малой мощности, инжекторная	0		1	2	3		
Толщина свариваемого металла, мм	0,2–0,7		0,5–1,5	1,0–2,5	2,5–4,0		
Давление кислорода, МПа	0,05–0,4		0,05–0,4	0,15–0,4	0,2 – 0,4		
Давление ацетилена, МПа	0,001		0,001	0,001	0,001		
Расход кислорода л/ч	27–80		55–135	130–260	250 – 440		
Расход ацетилена л/ч	25–80		50–125	120–240	230–400		
ГС–3, инжекторная, средней мощности	1	2	3	4	5	6	7
Толщина свариваемого металла, мм	0,5–1,5	1–2,5	2,5–4,0	4–7	7–11	11–18	17–30
Давление кислорода, МПа	0,1–0,4	0,15–0,4	0,2–0,4	0,2–0,4	0,2–0,4	0,2–0,4	0,2–0,4
Давление ацетилена, МПа	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Расход кислорода л/ч	55–135	130–260	250–440	430–750	740–1200	1150–1950	1900–3100
Расход ацетилена л/ч	50–125	120–240	230–400	400–700	660–1100	1050–1750	1700–2800
ГС–4 инжекторная большой мощности	8			9			
Толщина свариваемого металла, мм	30–50			50–100			
Давление кислорода, МПа	0,2–0,4			0,2–0,4			
Давление ацетилена, МПа	0,035			0,035			
Расход кислорода л/ч	3100–5000			5000–8000			
Расход ацетилена л/ч	2800–4500			4500–7000			

Расход ацетилена также определяется методом интерполяции данных таблицы 8.2

$$7 \text{ мм} - 660 \text{ л/ч,}$$

$$8 \text{ мм} - M_r \text{ л/ч,}$$

$$M_r = \frac{8 \cdot 660}{7} = 754 \text{ л/ч.}$$

Расход кислорода определяется методом интерполяции данных справочной таблице 10.2. Так при толщине пластины 7 мм расход кислорода составляет 740 л/ч, а для пластины 8 мм (в задании) –  $V_{\text{кc}}$ , или

$$7 \text{ мм} - 740 \text{ л/ч,}$$

$$8 \text{ мм} - V_{\text{кc}} \text{ л/ч,}$$

$$\text{тогда расход кислорода } V_{\text{кc}} = \frac{8 \cdot 740}{7} = 845 \text{ л/ч.}$$

По таблице 10.3 выбирается ацетиленовый генератор ГВН–1,25 в зависимости от расхода ацетилена с учетом того, что производительность генератора должна быть выше тепловой мощности газовой горелки на 15 – 20 %. Характеристика генератора: комбинированный «вода на карбид и вытеснение», производительность 1,25 м<sup>3</sup>/ч, рабочее давление – 0,003 МПа, единовременная загрузка карбида кальция – 4 кг, масса незаряженного генератора 42 кг.

Для резки пластины толщиной  $s = 8$  мм выбирается резак «Пламя–62», (наружный мунштук номер 1 и внутренний номер – 2).

Выбираем по таблице 8.3 ацетиленовый генератор ГВД 0,8 или МГВ–0,8 у которых производительность составляет 0,8 м<sup>3</sup>/час. В нашем случае потребление ацетилена составляет 0,4 м/час. Выбранные ацетиленовые генераторы вполне обеспечивают выполнение технологический процесса резки листа из малоуглеродистой стали толщиной 8 мм (по заданию).

Таблица 10.3 –Технические характеристики ацетиленовых генераторов

Марка генератора	Принцип действия	Производительность, м <sup>3</sup> /ч	Рабочее давление ацетилена, МПа	Единовременная загрузка карбида кальция, кг	Масса незаряженного генератора, кг
ГВД–0,8 МГВ–0,8	Контактный вытеснение	0,8	Менее 0,3	2	19, 5 19
ГВН–1,25 АНВ–1–66 АНД–1–61 ГВР–1,25М ГВР–1,25МЧ ГВР–3	Комбинированный «вода на карбид и вытеснение»	1,25 2,0 2,0 1,25 3	0,003 0,003–0,005 0,008–0,005 0,015–0,02	4 7 4 8	42 62 54 110
МГ–65 ГПР–65 ГРК–10 ГРК–10–58	«Вода на карбид» «Карбид на воду»	2 35 10 10	0,001 0,09–0,12 0,07 0,07	3 150 25 25	65 750 52 52

Таблица 10. 4 – Характеристика резака «Пламя–62»

Показатели	Толщина разрезаемой стали, мм					
	3–5	6–25	50	100	200	300
Номер наружного мундштука	1	1	1	2	2	2
Номер внутреннего мундштука	1	2	3	4	5	5
Давление ацетилена не менее, МПа	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,12
Давление режущего кислорода, МПа	0,3	0,82	0,85	1,85	3,35	4,2
Расход кислорода, м <sup>3</sup> /ч	3	6	10	15	25	40
Расход ацетилена, м <sup>3</sup> /ч	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Ширина реза, мм	2 – 2,5	2,5 – 3,5	3,5 – 4,5	4,5 – 7	7 – 10	10 – 15
Скорость резки, мм/мин	550	370	260	165	100	80

10.5.3 Изготовить сварное соединение из опытных образцов малоуглеродистой стали и выполнить кислородную резку металла и проверить качество сварного соединения под руководством учебного мастера.

10.5.4 Выполнить кислородную резку металла из малоуглеродистой стали.

10.5.5 Заполнить карту технологического процесса газовой сварки заданного сварного соединения в соответствии с ГОСТ.

10.5.6 Составить отчет.

#### 10.6 Содержание отчета

В отчете необходимо указать тему работы и ее цель, а также оборудование рабочего места. Описать сущность газовой сварки и резки металлов, строение ацетилено-кислородного пламени. Указать необходимые материалы для газовой сварки (горючие газы, присадочный материал, флюсы). Описать оборудование применяемое для газовой сварки и кислородной резки металлов. Привести карту технологического процесса газовой сварки заданного сварного соединения. Сделать выводы по выполненной работе.

## 10.7 Контрольные вопросы

- 10.7.1 Объясните сущность процесса газовой сварки и область ее применения.
- 10.7.2 Какие горючие газы применяются при газосварке? Их краткая характеристика.
- 10.7.3 Зачем применяют кислород, флюсы, присадочный материал?
- 10.7.4 В чем различие горелок инжекторной и безинжекторной? Их достоинства и недостатки. Зачем нужны различные наконечники?
- 10.7.5 Объясните по схеме принцип работы ацетиленового генератора.
- 10.7.6 Объясните по схеме принцип работы редуктора.
- 10.7.7 Объясните по схеме принцип работы водяного затвора.
- 10.7.8 В чем сущность кислородной резки металла? При соблюдении, каких условий возможна кислородная резка металла?
- 10.7.9 Объясните по схеме принцип работы резака. Зачем нужны сменные мундштуки?
- 10.7.10 Какие правила техники безопасности следует строго соблюдать при выполнении газосварочных работ?



## 11 КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ШВОВ

### 11.1 Цель работы

Закрепить теоретические знания и приобрести практические навыки по оценке качества сварных соединений и швов.

### 11.2 Задание

11.2.1 Предварительно до проведения лабораторной работы ознакомиться (используя учебники, лекционные материалы, лабораторный практикум, интернет) с методами и средствами контроля качества сварных соединений и швов, с видами дефектов сварных соединений и причинами их образования, способами устранения выявленных дефектов, а также с системой контроля качества сварных работ.

11.2.2 Ознакомиться с правилами техники безопасности при выполнении данной работы.

11.2.3 Исследовать образец сварного соединения (по заданию преподавателя) методом визуального контроля и с помощью дефектоскопа и дать заключение о качестве сварного шва. Предложить способы устранения выявленных дефектов.

11.2.4 Составить отчёт.

### 11.3 Оборудование рабочего места

Набор эталонных дефектов сварных соединений и швов; опытные образцы сварных соединений и швов с дефектами, ультразвуковой дефектоскоп, линейка, штангенциркуль, плакаты, практикум.

### 11.4 Теоретические сведения

Надёжность и долговечность работы машин, оборудования, различных конструкций, рабочих органов машин (изготовленных или восстановленных с использованием сварки) определяются качеством выполнения сварочных работ. В процессе сварки при нагреве и последующем охлаждении свариваемых деталей возникают значительные внутренние напряжения, которые приводят к остаточным деформациям, усадке наплавленного металла при переходе его в твердое состояние, изменению объема сварного шва и другим дефектам. На качество сварного соединения существенно влияют вид сварки, форма и размеры свариваемых деталей, применяемые электроды, присадочный материал, параметры режима сварки, соответствующая подготовка свариваемых деталей, квалификация сварщика, система контроля качества технологического процесса и другие факторы.

Прямыми показателями качества сварных соединений и швов являются прочность, плотность, пластичность, коррозионная стойкость и др. По ним можно судить о надежности и работоспособности конструкции. Показатели качества сварных соединений и швов оцениваются по результатам их испытаний и контроля. Существующая система комплекса мероприятий контроля качества сварных соединений включает три этапа:

предварительный контроль – проверка качества основных и сварочных материалов, оборудования и оснастки комплектующих изделий, качества выполнения предыдущих технологических операций, квалификация сварщиков;

операционный или текущий контроль – проверка последовательности технологических операций, параметров режима сварки, текущий осмотр и обмер сварных швов;

приемочный контроль – контроль, по результатам которого принимается решение о пригодности изделия к выполнению дальнейших технологических операций или к эксплуатации сварной конструкции, включая оплату труда сварщика.

Для реализации данной системы контроля существуют разрушающие и неразрушающие методы определения качества сварочных работ. Выбор метода контроля регламентируется требованиями ГОСТ 3242–79.

К разрушающим методам относятся статистические и динамические испытания сварных соединений. При статистических испытаниях сварные изделия подвергают растяжению, сжатию, изгибу, определяют твердость, а при динамических – проводят ударные испытания, испытания на усталость и вибрационные испытания. Применение разрушающих методов делает контролируемое изделие непригодным к эксплуатации. Но они позволяют измерять прямые показатели качества и параметры дефектов сварного соединения и шва.

К неразрушающим методам контроля сварных соединения и швов относят внешний осмотр и измерения, испытания на непроницаемость и герметичность, радиационные, акустические, магнитные, капиллярные, тепловые и др.

При ремонте сельскохозяйственной техники контроль качества сварных соединений независимо от их назначения в основном проводят внешним осмотром с измерениями. При этом выявляются дефекты формы и отклонения в размерах, а также наружные дефекты швов (наличие наплавов, подрезов, прожогов, трещин, газовых пор и др. дефектов). Наиболее распространенные дефекты сварных швов и соединений приведены в таблице 9.1, где дается их описание, а также указываются причины появления и способы устранения.

При измерении применяются лупы, штангенциркули, линейки, рулетки, шаблоны и различные индикаторы. Для контроля ответственных сварных соединений и швов применяют ультразвуковой дефектоскоп с помощью которого определяют дефекты сварки внутри шва на любой его глубине.

## 11.5 Порядок и методика выполнения работы

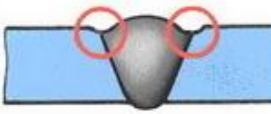
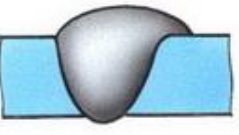

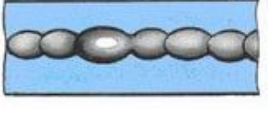

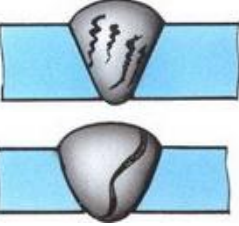
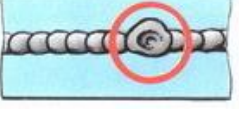

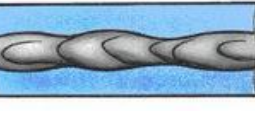
11.5.1 Получить у преподавателя или у учебного мастера опытное сварное соединение.

11.5.2 Внешним осмотром с помощью справочной таблицы 9.1 определить тип сварного соединения и виды дефектов (подрезы, наплавы, непровары, прожоги, трещины, кратеры, газовые поры, шлаковые включения, раковины и др.).

11.5.3 Описать выявленные дефекты, дать их схемы, указать причины образования и способы предупреждения и устранения. Результаты исследования сварного соединения занести в таблицу 9.2 и дать заключение.

11.5.4 Составить отчет.

Таблица 11.1 – Основные виды дефектов при сварке

Вид дефекта	Описание дефекта	Схема дефекта	Причины образования дефекта	Способы предупреждения или устранения дефекта
Подрезы		Углубления в местах перехода основного металла и сварочного шва.	Повышенная сила сварочного тока. Увеличенная длина дуги. Неправильный наклон электрода.	Соблюдать технологию сварки. Заплавить дефект.
Наплывы		Натекание жидкого металла электрода на нерасплавленную поверхность детали.	Слишком быстрое плавление электрода. Завышенная мощность сварочного пламени. Малая скорость сварки.	Правильно выбрать режим сварки. Наплавку срубить зубилом.
Непровары		Несплавление между валиками, а также шва с основным металлом по всему сечению	Плохая подготовка кромок. Недостаточная мощность пламени. Малый сварочный ток. Большая скорость сварки.	Соблюдать технологию и режим сварки. Вырубить дефект и повторно заварить.
Прожоги		Нарушение целостности сварного шва по глубине	Большой сварочный ток. Неравномерная скорость сварки	Соблюдать режим сварки. Зазор заплавить.
Перегрев металла		Изменение структуры наплавленного металла	Чрезмерный нагрев околошовной зоны. Неправильный выбор тепловой мощности. Завышение значения мощности пламени или сварочного тока	Соблюдать технологию и режим сварки.
Трещины		Нарушение целостности металла в околошовной зоне и в сварном шве.	Завышенные остаточные напряжения. Жесткое закрепление деталей. Появление хрупких закалочных структур металла.	Предварительно подогреть детали. Медленно охлаждать после сварки.
Кратеры		Незаплавленное углубление в конце сварного шва.	Неправильный угол наклона электрода. Преждевременно закончена сварка.	Соблюдать технологию сварки. Заплавить углубление.
Несплавления		Нарушение целостности сварного шва по глубине	Плохая зачистка кромок. Большая длина дуги. Недостаточный сварочный ток. Большая скорость сварки.	Соблюдать технологию и режим сварки. Вырубить дефект и повторно заварить.
Неравномерная форма шва		Сварной шов имеет неравномерную волнистость	Неустойчивый режим сварки	Соблюдать технологию и режим сварки. Вырубить дефект и повторно заварить.

Продолжение таблицы 11.1 – Основные виды дефектов при сварке

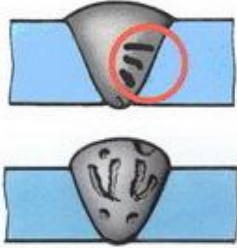
Вид дефекта	Описание дефекта	Схема дефекта	Причины образования дефекта	Способы предупреждения или устранения дефекта
Газовые поры, шлаковые включения, раковины		Пустоты мелкие и неметаллические включения по всему сечению шва. Пустоты единичные.	Металл пересыщен газами. Наличие влаги, ржавчины. Плохая защита сварочной ванны от воздуха.	Прокаливать электроды. Правильно готовить кромки изделий под сварку. Варить под слоем флюса или качественными электродами. Вырубить и варить повторно.

Таблица 11.2 – Результаты исследований качества сварного соединения

Вид соединения	Вид дефекта	Схема дефекта	Описание дефекта	Причины появления дефекта	Способ предупреждения или устранения дефекта
	1				
	2				
	3				

## 11.6 Содержание отчёта

В отчёте необходимо указать тему работы и ее цель. Дать описание причин, приводящих к нарушению качества сварочных соединений и шов. Привести этапы комплекса мероприятий по контролю качества сварки (предварительный контроль, текущий контроль, приемочный контроль). Привести результаты исследований качества сварного соединения. Сделать выводы по выполненной работе.

## 11.7 Вопросы для контроля

11.7.1 Какие факторы влияют на качество сварки?

11.7.2 Влияние качества сварки на долговечность работы машин, оборудования, рабочих органов, различных конструкций.

11.7.3 Что является причиной неоднородности структуры металла в сварном шве и в зоне термического влияния?

11.7.4 Что входит в понятие «Контроль качества сварки»?

11.7.5 Каково назначение предварительного, текущего и окончательного этапов контроля?

11.7.6 Назовите методы окончательного контроля качества сварных швов?

11.7.7 Какие дефекты выявляются при внешнем осмотре, испытании водой, воздухом, керосином, просвечивании рентгеновскими или гамма лучами?

11.7.8 Показатели качества сварных соединений, определяемые механическими испытаниями.

11.7.9 Почему не одинакова структура металлов в сварном шве и в зоне термического влияния?

11.7.10 Основные методы и приборы для контроля качества сварных соединений.

## 12 ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТЛИВОК

### 12.1 Цель работы

Закрепить теоретические знания и приобрести практические навыки по изготовлению металлических отливок.

### 12.2 Задание

12.2.1 Предварительно до выполнения работы ознакомиться (используя учебники, лекционный материал, лабораторный практикум, интернет) с технологией изготовления металлических отливок, а также с оборудованием и инструментом.

12.2.2 Ознакомиться с правилами техники безопасности при выполнении данной работы.

12.2.3 Изучить устройства и принцип работы лабораторного оборудования.

12.2.4 Изготовить металлическую отливку в двух опоках по разъемной модели под руководством учебного мастера.

12.2.5 Составить отчет по работе.

### 12.3 Оборудование рабочего места

Полумодели, подмодельная плита, ручной формовочный инструмент, приспособления, формовочная смесь, плакаты, лабораторный практикум.

### 12.4 Теоретические сведения

Сущность технологического процесса литья заключается в получении отливок, т. е. изделий и заготовок деталей машин, способом заливки расплавленного металла в различные литейные формы, в том числе разовые, полупостоянные, постоянные, а также постоянные металлические формы для кокильного, центробежного литья и литья под давлением. В настоящее время известно, более 50 способов литья. Из них наиболее широкое применение имеет литье в песчаных формах в двух (парных) опоках по разъемной модели (рисунок 2.1) и по неразъемной модели с подрезкой (рисунок 2.2). Этими способами производят около 80 % всего объема выпускаемых отливок любой сложности, различной массы и размеров из черных и цветных сплавов и металлов. Они применяются при любом типе производства и имеют невысокую стоимость материалов для изготовления форм. Основным недостатком этих способов является одноразовое использование литейных форм для изготовления отливок.

Производство отливок в песчаных формах включает следующие технологические процессы: изготовление моделей и стержневых ящиков; приготовление формовочной и стержневой смесей; формовка (изготовление форм и стержней); сушка форм и стержней; приготовление литейного сплава; заливка форм; выбивка отливок и удаление стержней; обрубка отливок (отделение от отливок элементов литниковой системы, заливок по разьему формы и других неровно-

стей поверхности: отчистка поверхности отливок от пригара, остатков формовочной смеси и стержней; зачистка отливок, их термическая обработка, контроль и исправление дефектов.

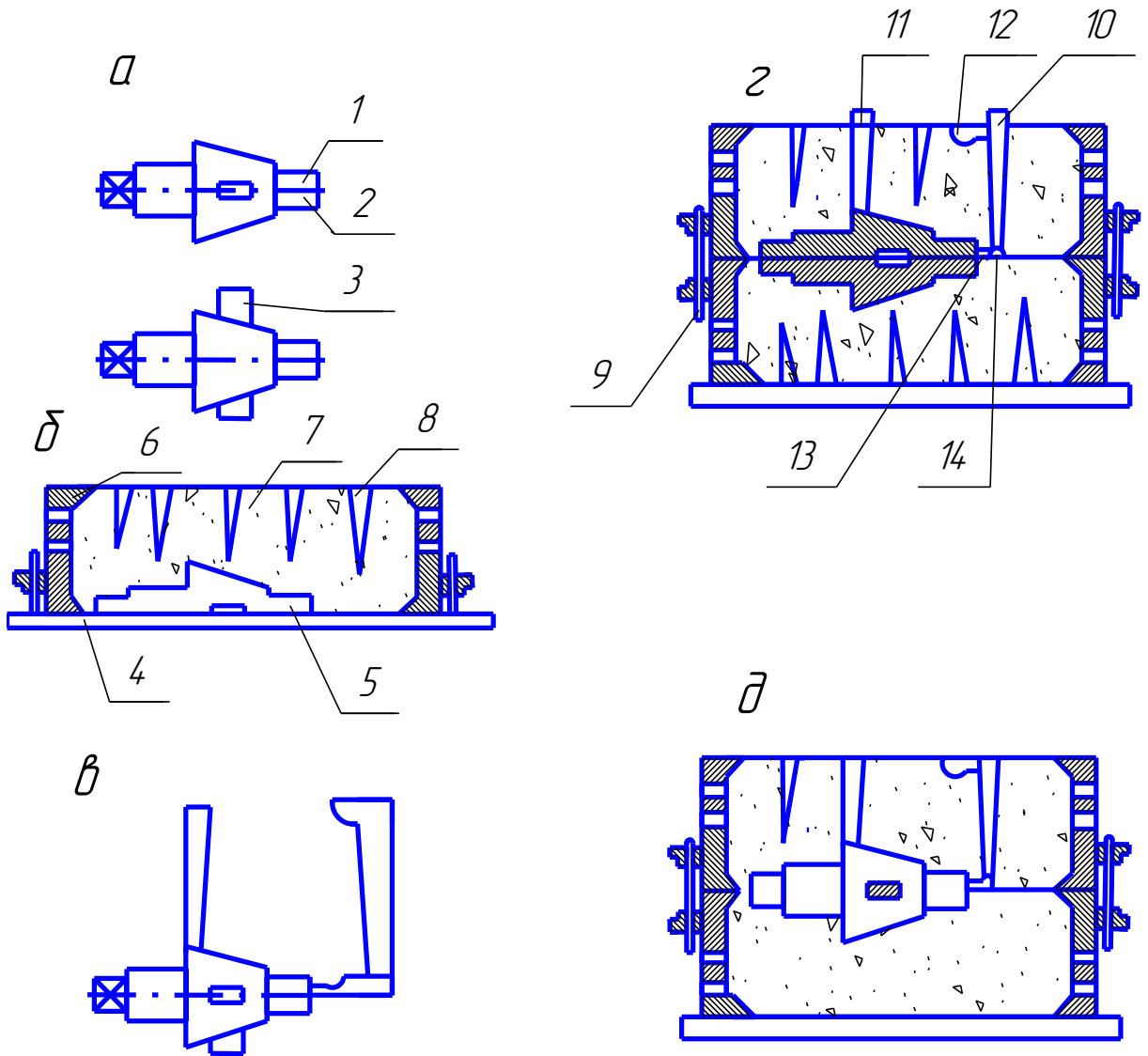


Рисунок 12.1 – Формовка в двух опоках по разъёмной модели:

*a* – модель в двух проекциях; *б* – полуформа с полу моделью; *в* – форма;  
*г* – форма перед заливкой; *д* – отливка, 1 – верхняя полумодель; 2,5 – нижняя  
 полумодель; 3 – стержневые знаки; 4 – подмодельная плита; 6 – нижняя опока;  
 7 – песчано-глинистая смесь; 8 – газоотводные каналы; 9 – штыри центрирующие; 10 – модель  
 стояка; 11 – модель выпора; 12 – литниковая чаша; 13 – питатель; 14 – шлакоуловитель.

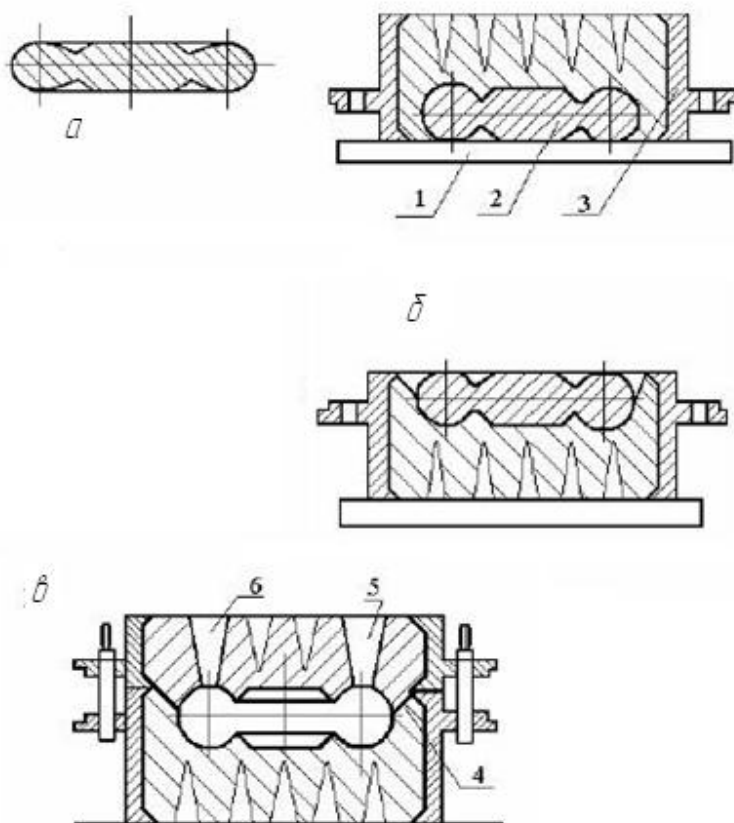


Рисунок 12.2 – Формовка по неразъемной модели с подрезкой:

а – модель, б – формовка нижней опоки с подрезкой; в – форма в сборе,  
 1 – подмодельная плита; 2 – модель; 3 – нижняя опока; 4 – контур подрезки; 5 – выпор; 6 – стояк

Важное значение для изготовления форм имеет качественное приготовление формовочной смеси. Она должна обладать высокой плотностью, газопроницаемостью, податливостью и противопригораемостью. Для его приготовления используют чистый кварцевый песок, огнеупорную глину, хромистый шом и другие компоненты.

Песчаные формы изготавливают в ручную с помощью специального формовочного инструмента (рисунок 12.3) и формовочными машинами. Машинная формовка по сравнению с ручной резко увеличивает производительность труда, снижает себестоимость и улучшает качество отливки. Формовочные машины классифицируются по трем признакам: по способу удаления модели из формы (со штифтовым съемом поворотной плитой и перекидным столом); по способу уплотнения формовочной смеси (прессовые, встряхивающие, пескометы) и по характеру применяемой энергии для приведения в действие машин (пневматические, гидравлические и механические). В ремонте и мелкосерийном производстве применяется ручная формовка, а в крупносерийном и массовом – машинная формовка.

Жидкий металл получают различными способами. Чугун плавят в вагранках, пламенных и электрических печах, а сталь выплавляют главным образом в электрических печах и пламенных печах или конверторах. Металл выпускают в ковш, а затем разливают по формам. Форму заливают до тех пор, пока металл не заполнит выпоры и прибыли. После полного затвердевания и достаточного охлаждения отливки вытаскивают из формы, а затем из них выбивают стержни.



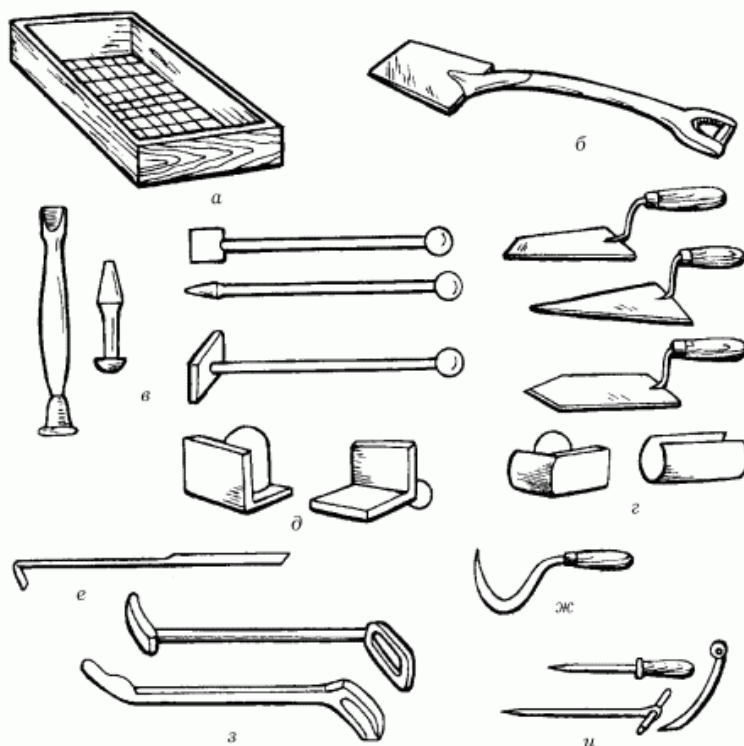


Рисунок 12.3 – Ручной формовочный инструмент:  
 а – сито; б – совковая лопата; в – ручные трамбовки; г – гладилки; д – угловые гладилки;  
 е – крючок; ж – формовочный нож; з – фигурные ложки; и – стальные иглы

Выбитые отливки освобождают от литников, выпора и прибыли. Для удаления с поверхности отливки пригоревшей формовочной смеси и неровностей применяют ручную или механическую очистку. После этого проверяют качество продукции.

Основные операции формовки в двух парных опоках по разъемной модели приведены в таблице 12.1.

Таблица 12.1 – Содержание операций при изготовлении металлических отливок в двух парных опоках по разъемной модели

Номер и содержание операции	Технологическая оснастка
1 Установить на подмодельную плиту 4 нижнюю опоку 6 (приливами вниз), нижнюю полумодель 2 (не имеющую шипов), очищенную от пыли и приставшей смеси, а также установить модель питателя 13.	Подмодельная плита, нижняя опока, нижняя полумодель, модель питателя.
2 Припылить полумодель 2 графитом или тальком.	Полумодель, припыл (графит или тальк), кисть-помазок.
3. Заполнить опоку 6 слоями (примерно до половины её высоты) формовочной смесью и уплотнить смесь трамбовкой (не допуская ударов по полумодели).	Нижняя опока, совок, трамбовка.
4. Добавляя смесь 7 до полного заполнения опоки, равномерно уплотнить плоским концом трамбовки.	Опока, совок, трамбовка.
5. Срезать излишки формовочной смеси линейкой вровень с краями опоки 6.	Опока, линейка.
6. Произвести наколы газоотводных каналов 8 вентиляционной иглой (душником), при этом во избежание порчи по-	Вентиляционная игла (душник), измерительная линейка.

## Продолжение таблицы 12.3

7 Перевернуть опоку 6 на $180^0$ , установить верхнюю полумоделю 7, совмещая её шипами с нижней полумоделю 2, и припылить полумоделю 1 графитом или тальком.	Опока, верхняя полумоделю, нижняя полумоделю, припыл (графит или тальк), кисть-помазок
8 Посыпать (припудрить) плоскость разъёма мелким сухим разделительным песком и установить по центрирующим штырям 9 верхнюю опоку на нижнюю.	Сухой разделительный песок, совок, щётка-смётка, опоки.
9 Установить модели шлакоуловителя 14, стояка 10 и выпора 11, после чего повторить операции 3, 4, 5, 6, не допуская смещения установленных моделей.	Модели шлакоуловителя, стояка, выпора; совок, трамбовка, линейка, душник.
10 Вырезать литниковую чашу 12 и извлечь модели стояка и выпора.	Нож, ланцет, ложечка.
11 Снять верхнюю опоку, перевернуть её на $180^0$ и установить рядом на верстак.	Верхняя опока, молоток, подопочная плита.
12 Смочить помазком узкую полоску смеси вокруг полумоделей, моделей питателя и шлакоуловителя, затем слегка расталкивая, извлечь их.	Кисть-помазок, крючок, подьёмы, литейная модель, модели питателя и шлакоуловителя.
13 Произвести исправление незначительных повреждений и отделку полуформ (при необходимости)	Ложечки, гладилки, угольники, ползки.
14 В нижнюю полуформу установить заранее изготовленный литейный стержень.	-
15 Произвести сборку формы: накрыть по центрирующим штырям 9 нижнюю полуформу верхней, скрепить скобами.	Нижняя и верхняя полуформы, скобы.
16 Заложить в тигель металл, например алюминий и расплавить его в электрической печи.	
17 Залить расплавленный металл в форму.	
18 После заливки формы металлом и его кристаллизации, разрушить форму и освободить готовую отливку.	
19 Произвести заливку металлом собранной формы с последующими операциями выбивки отливки, удаления стержня и очистки отливки.	
20 Проверить качество изготовленной отливки.	Линейка, угольник, шаблоны, кронциркуль.

## 12.5 Порядок и методика изготовления отливки

12.5.1 Получить у преподавателя модель детали для изготовления отливки.

12.5.2 Подготовить опоки, строжни, формовочную смесь и инструмент для ручной формовки в двух опоках.

12.5.3 Изготовить форму детали по данной модели в двух опоках с помощью ручного инструмента.

12.5.4 Расплавить металл и залить его в форму.

12.5.5 Освободить готовую деталь после охлаждения металла и оценить качество отливки.

12.5.6 Заполнить карту технологического процесса изготовления металлической отливки в двух опоках по разъемной модели в соответствии с ГОСТ.

12.5.7 Составить отчет по работе.

## 12.6 Содержание отчета

В отчет указать тему и цель работы, а также оборудование рабочего места. Описать физическую сущность и технологические процессы изготовления отливок из металла. Привести карту технологического процесса изготовления отливки в двух опоках по разъемной модели. Сделать выводы по выполненной работе.

## 12.7 Контрольные вопросы

12.7.1 Что такое ликвация?

12.7.2 Какой инструмент и оборудование применяется для формовки?

12.7.3 Приведите способы изготовления форм.

12.7.4 Назовите состав формовочной и стержневой смеси.

12.7.5 Перечислите операции изготовления отливки в двух опоках по разъемной модели и дать им пояснения.

## 13 ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РУЧНОЙ КОВКИ МЕТАЛЛОВ

### 13.1 Цель работы

Закрепить теоретические знания и приобрести практические навыки по ручной ковке металлов.

### 13.2 Задание

13.2.1 Предварительно до выполнения работы ознакомиться (используя учебники, лекционные материалы, лабораторный практикум, интернет), с технологией процесса ручнойковки металла, оборудованием и инструментом, а также с методами определения температуры разогретого металла по цветам побежалости, температурного интервала и скорости нагрева металла.

13.2.2 Ознакомиться с правилами техники безопасности при выполнении данной работы.

13.2.3 Изучить устройство и принцип работы лабораторного оборудования в кузнечном цехе.

13.2.4 Изготовить поковку из металла под руководством учебного мастера.

13.2.5 Составить отчет по работе.

### 13.3 Оборудование рабочего места

Горн, пневматический ковочный молот, инструмент для ручнойковки: наковальня, подкладки, кувалды, молотки-ручники, кузнечные зубило, набойки, протяжки и др.

### 13.4 Теоретические сведения

Свободной ковкой называется горячая механическая обработка металла при помощи удара молота или давления прессы с целью изменения формы и размеров заготовки. Иными словами ковка это разновидность обработки металла давлением и основана на использовании пластичности металла, под которой понимают его способность деформироваться без разрушения, то есть, изменять первоначальную форму под действием внешних сил или внутренних напряжений и сохранять вновь полученную форму после прекращения действия нагрузки. Одновременно с этим изменяется микроструктура металла, и улучшаются его механические свойства.

Ковкой получают поковки, а также детали машин с массой от 0,1 кг до 300 т. В дальнейшем они подвергаются механической обработке. В качестве исходных материалов используют слитки, блюмы из стали и цветных сплавов, а также готовый сортовой прокат различных размеров и форм.

Основные операции при ковке: осадка – увеличение площади поперечного сечения заготовки за счет уменьшения ее длины путем обжатия в направлении длины заготовки; вытяжка – увеличение длины заготовки за счет уменьшения поперечного сечения путем обжатия в направлениях, поперечных длине; прошивка – получение отверстий в сплошном теле заготовки; гибка – изменение контура главной оси заготовки; кручение – поворот одной части заготовки

относительно другой вокруг одной общей оси; рубка – отделение одной части заготовки от другой (рисунок 13.1).

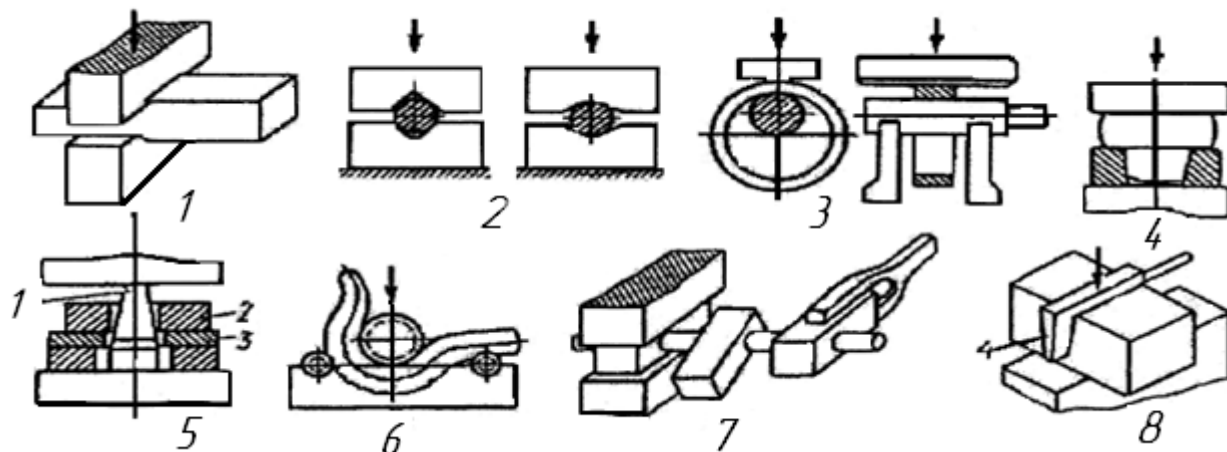


Рисунок 13.1 – Основные технологические операцииковки:  
 1 – протяжка, 2 – ковка в фигурных бойках; 3 – разгонка; 4 – осадка;  
 5– прошивка; 6 – гибка; 7 – закручивание; 8– рубка

Различают ручную и машинную свободную ковку.

Ручная ковка осуществляется с помощью специального инструмента, которая разделяется на три группы: для обработки поковки, удержание поковки, измерения поковки. Для обработки поковки применяются кувалды, молотки-ручники, гладилки, прошивки, зубило, бородки, обжимки, набойки, протяжки, пережимки, раскатки, а к удерживающему инструменту – наковальни и клещи различных конструкций (рисунок 13.2). Измерения поволок осуществляется с помощью линейки, угольника, кронциркуля, шаблонов и др. Ручная свободная ковка широко применяется при ремонте автомобилей, тракторов, сельскохозяйственной техники и различного оборудования.

Машинная свободная ковка применяется в крупносерийном и массовом производстве. Она осуществляется на кузнечно-прессовом оборудовании. Мелкие и средние поковки с массой до 750 кг обрабатывают на кузнечных молотах, а крупные с массой до 3510 т и более – на ковочных прессах. Основной характеристикой ковочного молота является масса падающей части, а пресса развиваемое усилие. Масса падающих частей пневматических молотов составляет 50 – 1000 кг, а скорость движения бойка к моменту соударения – 7–8 м/с. У гидравлических ковочных прессов номинальное усилие составляет 200–1500 т, а скорость движения бойка пресса – 0,1–0,3 м/с.

Металл перед ковкой нагревается в горнах или печах. Горн применяется в основном для нагрева заготовок обрабатываемых ручной ковкой, а также для местного (частичного нагрева длинных заготовок). Кузнечные горны разделяют на два основных типа: открытый и закрытый. Закрытые горны используют для нагрева мелких деталей, как в массовом, так и в единичном производстве. В качестве топлива для горнов применяют древесный уголь, кокс, каменный уголь, мазут и газ.

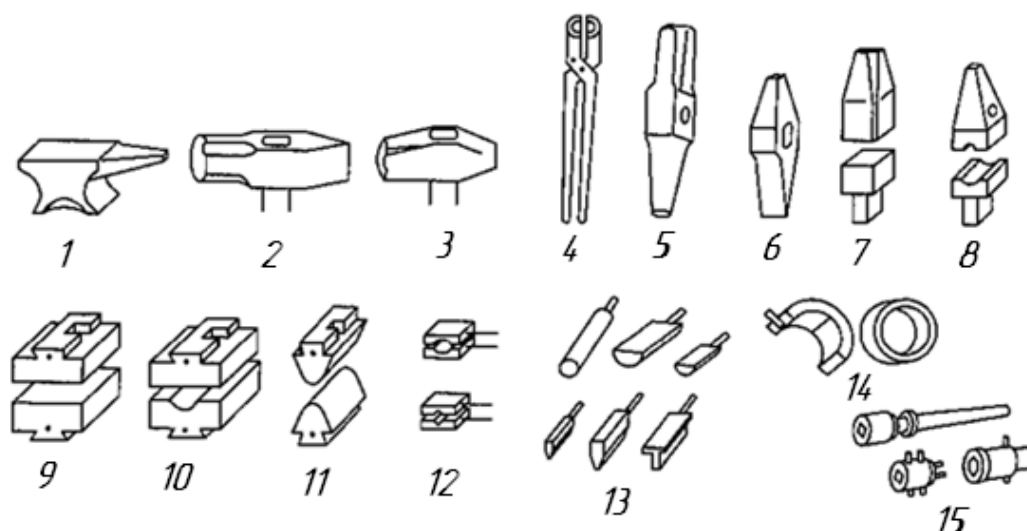


Рисунок 13.2 – Инструмент для ручной и машиннойковки:

- 1 – наковальня; 2 – кувалда; 3 – ручник; 4 – клещи; 5 – бородок; 6 – зубило;  
 7– подбойник; 8 – обжимка; 9 – плоские бойки; 10 – вырезные бойки;  
 11 – закругленные бойки; 12 – обжимки; 13 – раскатки; 14 – пережимки; 15 – патроны.

При машинной ковке заготовки нагревают в печах с температурой в рабочем пространстве в пределах  $1320^{\circ}\text{C}$ . Печи имеют различные источники энергии (пламенные, электрические) и размеры, поскольку в кузнечных цехах обрабатывают изделия с различными размерами, формой и массой.

Большое влияние на качество заготовки и потери металла при ковке играют температурный интервал и скорость нагрева.

Температурный интервал это диапазон температур между началом и окончанием обработки в котором металл или сплав обладают наилучшей пластичностью, наименьшей скоростью роста зерна и минимальным сопротивлением к деформации. Для каждого металла существует свой температурный интервал. Так для малоуглеродистых сталей (с содержанием углерода до 0,3 %) он находится в пределах  $1200\text{--}850^{\circ}\text{C}$ , среднеуглеродистых (с содержанием углерода до 0,3–0,5 %) –  $1150\text{--}820^{\circ}\text{C}$  и высокоуглеродистых (с содержанием углерода выше 0,5) –  $1050\text{--}800^{\circ}\text{C}$ .

Скорость нагрева заготовки зависит от теплопроводности, размеров и конфигурации заготовки, а также от температуры рабочего пространства печи и других факторов. Быстрый нагрев приводит к растрескиванию металла, особенно при переходе его через критические точки. Поэтому в период фазового превращения металл нагревают очень медленно, особенно заготовки из высокоуглеродистых и легированных сталей. При этом температура нагрева составляет  $700\text{--}800^{\circ}\text{C}$  с последующей выдержкой. Дальнейший нагрев проводят с максимальной скоростью, чтобы исключить обезуглероживания и снизить потери металла от окисления.

### 13.5 Порядок и методика выполнения работы

13.5.1 Получить у преподавателя задание на изготовление поковки или детали.

13.5.2 Нагреть горн и подготовить инструмент для ручнойковки металла.

13.5.3 Изготовить поковку под руководством учебного мастера.

13.5.4 Визуально оценить качество изготовления изделия и дать заключение.

13.5.5 Заполнить карту технологического процесса изготовления поковки ручной ковкой металла в соответствии с ГОСТ.

### 13.6 Содержание отчета

В отчёте необходимо указать тему работы и ее цель, а также оборудование рабочего места. Описать физическую сущность процесса и технологические операцииковки металла, инструмент и оборудование. Привести карту технологического процесса изготовления поковки ручнойковки металла. Сделать выводы по выполненной работе.

### 13.7 Контрольные вопросы

13.7.1 Изложите физическую сущность процессаковки металла.

13.7.2 Назовите инструмент для ручнойковки металла.

13.7.3 Назовите оборудование для машиннойковки.

13.7.4 Объясните сущность процессов протяжки, осадки, прошивки, гибки, закручивания, рубки при изготовлении поволоков и деталей ручнойковки.

## 14 МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

### 14.1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить классификацию и маркировку металлорежущих станков. Ознакомиться с конструкцией, технологическими возможностями различных металлорежущих станков и видами работ, выполняемых на них.

### 14.2 Задание

2.1 Изучить классификацию и маркировку металлорежущих станков.

2.2 Ознакомиться с конструкцией, технологическими возможностями металлорежущих станков (токарных, сверлильных, фрезерных, строгальных, долбежных, протяжных и шлифовальных), а также с видами работ, выполняемых на них.

2.3 Составить перечень (маршрут) технологических операций, выполняемых при изготовлении детали (по задания преподавателя).

### 3 Учебные материалы, приборы, оборудование

Металлорежущие станки (токарный, токарно-винторезный, горизонтально-фрезерный, вертикально-фрезерный, сверлильный, строгальный, зубонарезной, протяжной, шлифовальный, токарно-винтовой с программным управлением) с необходимым набором инструмента и приспособлений, заточные станки, измерительный инструмент, методическое пособие, плакаты, паспорта станков.

### 4 Теоретические сведения

#### 4.1 Классификация металлорежущих станков

В основу классификации станков положен технологический метод обработки заготовок, который характеризуется типом станка, видом режущего инструмента и видом обрабатываемых поверхностей.

Согласно принятой классификации все станки разделены на 10 групп, каждая из которых включает 10 типов. По этой классификации каждому станку присваивают цифровой индекс модели (таблица 1).

Индекс состоит из трех или четырех цифр. Первая цифра означает принадлежность к группе, вторая - тип, третья или третья и четвертая указывают на одну из основных технических характеристик (высоту центров, максимальный диаметр обработки, номер стола и т. д.), буквы между цифрами или в конце индекса означают модернизацию или модификацию станка.



К группам станков относятся:

- 1 - токарные;
- 2 - сверлильные и расточные;
- 3 - шлифовальные и доводочные;
- 4 - комбинированные;
- 5 - зубо- и резьбообрабатывающие;
- 6 - фрезерные;
- 7 - строгальные, долбежные и протяжные;
- 8 - разрезные;
- 9 - разные;
- 0 - резервная группа.

Примеры обозначения моделей станков:

1К62, 1А62, 16К20, 16К20П, 1М63 - первая цифра обозначает, что станки относятся к токарной группе, вторая цифра означает тип - винторезные и лобовые, одна или две последние цифры характеризуют высоту центров станка над станиной - 200 и 300 мм, буквы А, К, М - модернизацию станка, последняя буква П - модификацию, станок повышенной точности;

2А118, 2А125, 2А135 - станки второй группы (сверлильные и расточные), первого типа – вертикально-сверлильные, наибольший условный диаметр сверления 18, 25, 35 мм;

ЗБ632, ЗБ 161 - станки третьей группы (шлифовальные и доводочные), шестой тип - заточные, диаметр круга 200 мм, первый тип - круглошлифовальные, диаметр круга 600 мм, межцентровое расстояние 1000 мм;

БР81 - фрезерный, горизонтально-консольный, первый номер стола;

736 - группа строгальных, долбежных и протяжных станков, тип -поперечно-строгальный, наибольший ход ползуна 600 мм.

По степени универсальности станки делят:

на универсальные - для обработки поверхностей разных форм и размеров деталей многих наименований (токарно-винторезные, фрезерные, сверлильные и пр.);

широкого назначения - для выполнения определенных операций на деталях многих наименований (токарно-отрезные, многорезцовые, центровочные и пр.);

специальные - для обработки деталей одного наименования или сходных конфигураций, но разных размеров (для обработки коленчатых валов, труб, слитков, фланцев и пр.);

специализированные - для обработки одной определенной детали или выполнения одной определенной технологической операции (для обточки шеек коленчатых валов, для фасонной обточки профиля реборд вагонных колес и пр.).

По степени точности различают станки нормальной (Н), повышенной (П) точности, высокой (В), особо высокой (А), прецизионные (С).

По степени автоматизации, станки с ручным управлением рабочим циклом, полуавтоматы, автоматы, станки с программным управлением.

По массе: легкие (до 1 т), средние (от 1 т до 10 т), тяжелые (свыше 10 т).

По числу рабочих органов ставки могут быть одношпиндельные, многошпиндельные, односуппортные, многосуппортные, одностоечные, двухстоечные и пр.

## 4.2 Токарные станки

К станкам токарной группы относятся станки следующих типов:

- 1 - автоматы и полуавтоматы одношпиндельные;
- 2 - автоматы и полуавтоматы многошпиндельные;
- 3 - револьверные (имеют автоматическую подачу заготовки, вместо задней бабки установлена револьверная головка со сменяемым инструментом);
- 4 - сверлильно-отрезные;
- 5 - карусельные (для деталей большого диаметра и небольшой высоты типа маховиков, колес, колец), ось вращения вертикальная, имеется несколько суппортов;
- 6 - винторезные и лобовые (для деталей типа дисков большого диаметра, с горизонтальной осью); этими станками оснащают в основном предприятия с мелко- или среднесерийным производством, участки индивидуального производства, изготовления инструмента, оснастки и т. д.;
- 7 - многолезцовые (имеют 2...4 суппорта, на которых расположено по несколько резцов);
- 8 - специальные;
- 9 - разные токарные;
- О - новые модели.

Основными характеристиками токарных станков являются высота центров над станиной и межцентровое расстояние. По высоте центров токарные станки делят на группы: мелкие, с высотой центров до 160 мм; средние, с высотой центров от 160 до 300 мм; крупные, с высотой центров более 300 мм?

У станков с одинаковой высотой центров может быть разное межцентровое расстояние. Наиболее распространены станки с высотой центров 200 мм и межцентровым расстоянием 1000 мм.

Каждый станок имеет паспорт - основной документ, определяющий технологические возможности станка. Он содержит данные о модели и типе, габаритных размерах, максимальных размерах обрабатываемой детали, об отдельных узлах станка - суппорте, задней бабке и др., о механизмах главного движения и движения подачи и многие другие. Паспорт станка составляет завод-изготовитель.

Паспортом станка пользуются при проектировании технологического процесса, для согласования выбранного режима резания, а также при техническом нормировании станочных работ.

При отсутствии паспорта возможно неполное использование потенциальных возможностей станка по производительности мощности другим показателям, а также перегрузка звеньев станка.

Устройство станка. Токарно-винторезный станок состоит из узлов, которые показаны на рисунке . 3. Станина 2 с горизонтальными призматическими направляющими служит для монтажа узлов станка и закреплена на двух тумбах. В левой тумбе 1 смонтирован электродвигатель главного привода станка, в правой 12- бак для хранения смазочно-охлаждающей жидкости и насосная станция для подачи жидкости в зону резания при обработке заготовок.

В передней бабке 6, установленной с левой стороны станины, смонтированы коробка скоростей станка и шпиндель. Механизмы и передачи коробки скоростей позволяют полу-

чать разные частоты вращения шпинделя станка. На шпинделе закрепляют зажимные приспособления для передачи крутящего момента, обрабатываемой заготовке. На лицевой стороне передней бабки расположена панель управления 5 механизмами и передачами коробки скоростей.

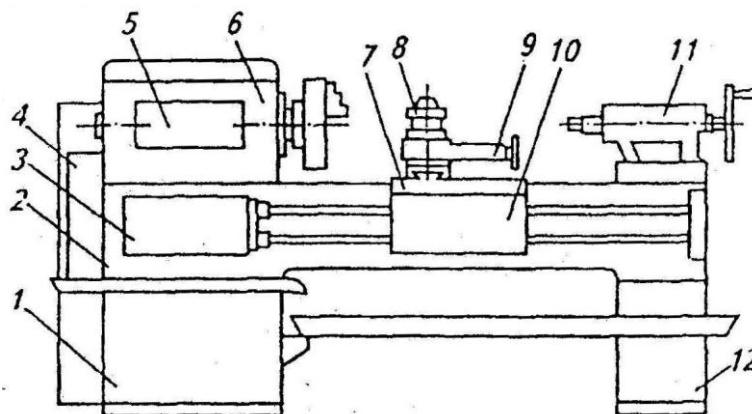


Рисунок 3 – Общий вид токарно-винторезного станка

1 - левая тумба, электропривод станка; 2 - станина; 3 - коробка подач; 4 - коробка сменных зубчатых колес; 5 - панель управления; 6 - передняя бабка; 7 и 9 - продольный и верхний суппорты; 8 - поворотный резцедержатель; 10 - фартук суппорта; 11 - задняя бабка; 12 - правая тумба, бак и насосная станция для СОЖ

Коробку подач 3 крепят к лицевой стороне станины. В коробке подач смонтированы механизмы и передачи, позволяющие получать разные скорости движения суппортов. С левой торцевой стороны станины установлена коробка 4 сменных зубчатых колес (гитара), необходимых для наладки станка при нарезании резьбы.

Продольный суппорт 7, установленный на направляющих станины, перемещается по ним и обеспечивает продольную подачу резца. По направляющим продольного суппорта перпендикулярно оси вращения заготовки перемещается поперечная каретка, на которой смонтирован верхний суппорт 9. Поперечная каретка обеспечивает поперечную подачу резца. Верхний поворотный суппорт можно устанавливать под любым углом к оси вращения заготовки, что необходимо при обработке конических поверхностей заготовок при подаче вручную.

На верхнем суппорте смонтирован четырехпозиционный поворотный резцедержатель 8, в котором можно одновременно закреплять четыре резца. К продольному суппорту крепят фартук 10 станка, в котором смонтированы механизмы и передачи, преобразующие вращательное движение ходового валика или ходового винта в поступательное движение суппортов. Задняя бабка 11 установлена с правой стороны станины и перемещается по ее направляющим. В пиноли задней бабки устанавливают центр для поддержания заготовки или инструменты для обработки отверстий.

Корпус задней бабки может смещаться в поперечном направлении относительно ее основания, что необходимо при обтачивании конических поверхностей.

Для предохранения рабочего от травм сходящей стружкой на станке устанавливают специальный защитный экран.

Основные виды работ, выполняемые на токарных станках.

При токарной обработке движение подачи формирует образующую линию, а движение резания создает вращение этой линии вокруг оси, в результате получают цилиндрические, конические, торцовые или фасонные поверхности тела вращения. При врезании резца в обрабатываемую поверхность проекция режущей кромки на основную плоскость определяет форму образующей линии. Линия пересечения основной плоскости с обработанной поверхностью является следом траектории движения подачи или проекцией формы режущей кромки фасонного резца.

При токарной обработке заготовку устанавливают в центрах, в патроне, в специальном приспособлении или на планшайбе и она вращается. Поэтому в результате токарной обработки могут быть получены только поверхности тела вращения, при этом образующая линия обработанной поверхности может быть любой сложности, \* На токарных станках выполняют следующие виды обработки резанием; точение, разрезание, резьбонарезание.

Разновидности точения:

обтачивание - точение наружной поверхности с движением подачи

вдоль образующей линии, обрабатываемой поверхности;

расточивание - точение внутренней поверхности с движением подачи вдоль образующей обрабатываемой поверхности;

подрезание – точение торцовой поверхности, различают продольное и

поперечное подрезание в зависимости от направления подачи; фасонное точение - точение фасонным резцом; копировальное точение - точение по копиру. сверление, нарезание резьб.

#### 4.3 Сверлильные станки

Конструкция и технологические возможности сверлильных станков. Согласно классификации сверлильные и расточные станки относятся ко второй группе. Различают следующие типы сверлильных станков:

1 - вертикально-сверлильные;

2 - полуавтоматы одношпиндельные;

3 - полуавтоматы многошпиндельные;

5 - радиально-сверлильные;

8 - горизонтально-сверлильные;

9 - разные сверлильные.

Вертикально-сверлильные станки выпускают в обыкновенном варианте (на колонне с вертикально расположенным шпинделем, устанавливаемые на полу) и в настольном варианте. Это наиболее распространенный тип станков, обеспечивающих обработку при неизменном положении шпинделя и перемещении обрабатываемой заготовки при ее установке для обработки.

Устройство сверлильного станка.

Общий вид вертикально-сверлильного станка показан на рисунке 4. На основании 1 смонтирована колонна 2. В верхней части колонны расположена коробка скоростей 6, через которую шпинделю с режущим инструментом передается главное вращательное движение. Движение подачи (поступательное вертикальное) инструмент получает через коробку подач

5, находящуюся на кронштейне 4. Заготовку устанавливают на столе 3. Стол и кронштейн имеют установочные перемещения по вертикальным направляющим колонны 2.

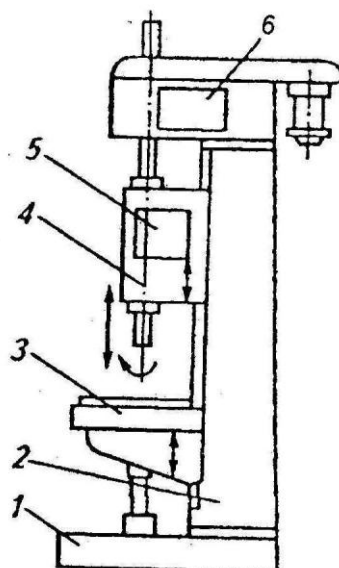


Рисунок 4 – Общий вид вертикально-сверлильного станка

1 - основание; 2 - колонна; 3 - стол; 4 - кронштейн; 5 - коробка подач; 6 - коробка скоростей

На сверлильных станках, как правило, обрабатывают заготовки небольшой массы. Совмещения оси вращения инструмента с заданной осью отверстия достигают перемещением заготовки. В серийном и массовом производстве сверление производят в кондукторах и приспособлениях, позволяющих быстро и надежно закрепить деталь и избежать длительной настройки при определении положения отверстия.

В связи с тем, что около половины осевой силы резания приходится на поперечную режущую кромку, при получении отверстия диаметром более 30 мм предварительно сверлят отверстие меньшего диаметра, практически равного диаметру сердцевины сверла для окончательного отверстия, чтобы исключить участие в резании перемычки. Вторым технологическим переходом отверстие сверлят до нужного диаметра.

Многошпиндельные станки позволяют обрабатывать одновременно несколько отверстий, что особенно важно при больших программах производства. В отдельных случаях, когда силы резания небольшие, применяют сверлильную головку, в которой привод от одного шпинделя передается набором шестерен на необходимое число осей с закрепленными на них патронами.

Радиально-сверлильные станки предназначены для обработки нескольких отверстий, расположенных на значительном расстоянии друг от друга, под разными углами к горизонтальной и вертикальной осям в крупногабаритных и большой массы заготовках.

Эти станки в отличие от вертикально-сверлильных обеспечивают (без изменения положения заготовки) совмещение осей режущего инструмента и обрабатываемых отверстий перемещением шпиндельной головки.

Основные виды работ, выполняемые на сверлильных станках.

На сверлильных станках проводят следующие виды осевой обработки:

– сверление - обработка сверлом;

- рассверливание - сверление, результатом которого является увеличение диаметра отверстия;
- центрование - сверление центрального отверстия;
- зенкерование - обработка зенкером, предназначена для обработки предварительно полученного отверстия, позволяет значительно повысить точность размера, исправить погрешности формы и получить поверхность достаточно высокого качества;
- развертывание - обработка разверткой, предназначена для окончательной лезвийной обработки отверстия, дает высокую точность отверстия и малую шероховатость поверхности;
- зенкование - осевая обработка зенковкой, предназначена для получения точного конического углубления на входе в отверстие;
- цекование - осевая обработка нековкой, обеспечивает получение цилиндрического углубления на входе в отверстие или площадку на поверхности около отверстия, перпендикулярную ему;
- резбонарезание.
- сверление - это единственный способ лезвийной обработки резанием, при котором получают отверстия в сплошном материале (сквозные и глухие) и обрабатывают предварительно полученные отверстия. Сверление обеспечивает шероховатость обработанной поверхности  $Ra = 20...5$  мкм и точность 11...13 квалитетов.

При обработке заготовку неподвижно устанавливают на столе станка, а инструмент перемещают вдоль оси шпинделя. Процесс резания при сверлении протекает в значительно худших условиях, чем при точении: затруднены отвод стружки и подвод охлаждающей среды; происходят значительное трение стружки о поверхности стружечных канавок инструмента и инструмента об обработанную поверхность, деформация стружки и тепловыделение. Скорость резания инструмента на режущей кромке изменяется от максимального значения на периферии до нуля в центре сверла.

При осевой обработке движение резания создает образующую линию, являющуюся окружностью, а движение подачи, направленное строго вдоль оси вращения, определяет контур в виде прямой линии, по которому перемещается образующая. В результате осевой обработки всегда получается внутренняя цилиндрическая поверхность.

Обработку осевым инструментом на токарном станке можно рассматривать как точение специальным инструментом или вариант осевой обработки, когда вращение сообщается не инструменту, а заготовке.

Горизонтально-сверлильные станки (с горизонтальным расположением шпинделя) позволяют обрабатывать глубокие отверстия.

**Расточные станки.** Различают горизонтально-расточные, алмазнорасточные и координатно-расточные станки. На горизонтально-расточных станках обрабатывают крупные корпусные детали.

На горизонтально-расточном станке можно растачивать отверстия с параллельными и перпендикулярными осями, сверлить, зенкеровать, развертывать, фрезеровать, а также точить торцовые и цилиндрические поверхности резцом.

Разновидность расточных станков - алмазно-расточные. На них растачивают точные отверстия небольших деталей (шатуны, поршни, вкладыши, втулки и др.). Алмазно-расточные станки по расположению оси шпинделей бывают вертикальные и горизонтальные.

По числу шпинделей станки разделяют на одно- и многошпиндельные. У этих станков высокие точность и жесткость.

При обработке деталей на алмазно-расточных станках применяют высокие скорости резания (при обработке чугуна 120...250 м/мин), малые подачи (0,01...0,1 мм/об) и глубины резания (0,05...0,2 мм). При обработке цветных металлов используют алмазные, а при обработке черных металлов -твердосплавные резцы. На этих станках достигают точности обработки деталей по 5...7 квалитетам при шероховатости поверхности Ra - 0,63...0,16 мкм. Алмазное точение в ряде случаев заменяет шлифование.

Координатно-расточные станки применяют в единичном производстве для обработки деталей с точным расположением оси отверстий. К таким деталям относятся кондукторные плиты и некоторые другие детали приспособлений. На координатно-расточных станках выполняют сверление, расточку, фрезерование. Станки бывают одно- и двухстоечные. Одно-стоечный станок похож на вертикально-фрезерный с выдвижным шпинделем. Стол с установленной деталью может перемещаться в продольном и поперечном направлениях. Точность перемещения стола может достигать 0,001 мм за счет использования оптического нониуса. При необходимости на столе крепят поворотный стол.

#### 4.4 Фрезерные станки

Конструкция и технологические возможности фрезерных станков.

Фрезерные станки относятся к шестой группе, их подразделяют на следующие типы:

- 1 - вертикальные консольные;
- 2 - непрерывного действия;
- 4 - копировальные и гравировальные;
- 5 - вертикальные бесконсольные;
- 6 - продольные;
- 7 - широкоуниверсальные;
- 8 - горизонтальные консольные;
- 9 - разные фрезерные;
- 0, 3 - резервные.

На предприятиях со средне- и мелкосерийным производством, а также на участках технической подготовки производства наиболее распространены фрезерные консольные станки: вертикальные и горизонтальные широкоуниверсальные станки.

Общий вид горизонтально-фрезерного станка показан на рисунке 8, а

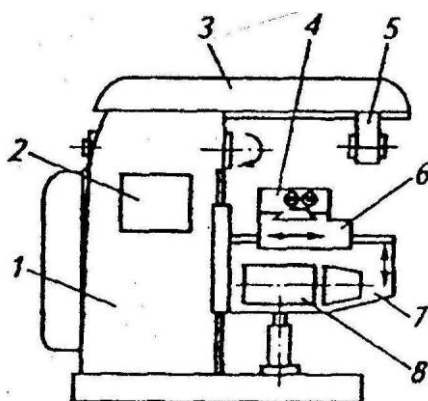


Рисунок 26 – Общий вид горизонтально-фрезерного станка

1 - станина; 2 - коробка скоростей; 3 - хобот; 4 и 6 - продольный и поперечный столы; 5 - серьга; 7 - консоль; 8 - коробка подач

Горизонтально-фрезерные станки, имеющие поворотную плиту, которая позволяет поворачивать рабочий стол в горизонтальной плоскости и устанавливать его на требуемый угол, называют универсальными.

Вертикально-фрезерные станки имеют много общих унифицированных деталей и узлов с горизонтально-фрезерными станками.

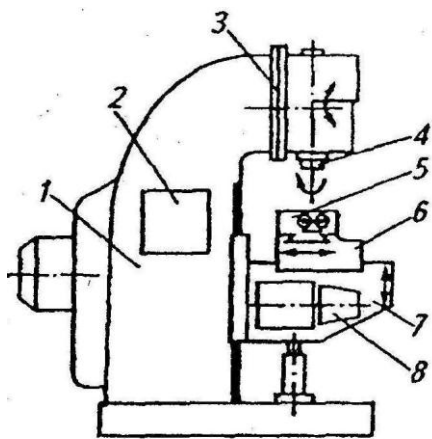


Рисунок 9 – Общий вид вертикально-фрезерного станка

1 - станина; 2 - коробка скоростей; 3 - шпиндельная головка; 4 - шпиндель; 5 - рабочий стол; 6 - направляющие салазки; 7 - консоль; 8 - коробка подач

Широкоуниверсальные станки по конструкции аналогичны консольнофрезерным горизонтальным и вертикальным станкам, но имеют поворотную часть с приводом вращения. Для трансформации широкоуниверсального

станка из горизонтального в вертикальный достаточно повернуть оголовок внутренним посадочным отверстием шпинделя горизонтально или вертикально.

На консольных фрезерных (вертикально-, горизонтально-фрезерных и широкоуниверсальных) станках обрабатывают:

горизонтальные, вертикальные, наклонные плоскости и скосы; комбинированные поверхности; уступы и прямоугольные пазы;



фасонные и угловые пазы; пазы типа «ласточкин хвост»; закрытые и открытые шпоночные пазы; пазы под сегментные шпонки; фасонные поверхности; цилиндрические зубчатые колеса методом копирования.

На продольно-фрезерных станках фрезеруют поверхности заготовок большой массы и размеров (типа станин, корпусов коробок передач, рамных конструкций и т. п.) торцовыми и концевыми фрезами. Продольно-фрезерные станки бывают одно- и двухстоечные с длиной стола 1250...12 000 мм и шириной 400...5000мм.

Фрезерные станки непрерывного действия предназначены для обработки плоских поверхностей торцовыми фрезами при больших партиях заготовок. Эти станки подразделяют на карусельно- и барабанно-фрезерные.

На карусельно-фрезерных станках заготовки устанавливают на круглом вращающемся столе, фрезерная головка с двумя шпинделями перемещается по вертикальным направляющим. Оба шпинделя имеют один привод, но настраиваются на разную частоту вращения; один из них предназначен для черновой обработки, другой - для чистовой. Шпиндели станка постоянно вращаются, а заготовки по очереди поступают в зону обработки. Заготовки устанавливают и снимают со станка без остановки стола.

На барабанно-фрезерных станках заготовки размещаются в барабане с автоматической или полуавтоматической загрузкой и разгрузкой и при прохождении зоны расположения фрез обрабатываются за счет подачи инструмента или движения заготовки во вращающемся барабане. Копировально-фрезерные станки применяют для контурного и объемного копировального фрезерования. Контурное копирование применяют для получения плоских поверхностей замкнутого криволинейного контура. При этом одно движение подачи - задающее и постоянное, другое движение -следящее и зависит от копира. Соотношение двух движений определяет контур. Объемное копирование производят последовательно отдельными фасонными полосами.

Основные виды работ, выполняемые на фрезерных станках:

Фрезерование - один из высокопроизводительных и наиболее распространенных способов механической обработки резанием. Шероховатость поверхности при фрезеровании  $Ra = 20... 1,25$  мкм, точность - 9...12-го качества. Обработку производят фрезами.

Главное движение резания при фрезеровании - вращение инструмента, а движение подачи - перемещение заготовки (рисунок 19). На карусельнофрезерных и барабанно-фрезерных станках движение подачи можно осуществлять вращением заготовки вокруг оси вращающегося барабана или стола, при копировальном фрезеровании - перемещением инструмента.

Фрезерованием обрабатывают горизонтальные, вертикальные, наклонные плоскости, уступы и пазы различного профиля, фасонные поверхности.

Особенность процесса резания при фрезеровании - зубья фрезы не находятся в контакте с обрабатываемой поверхностью все время. Каждое лезвие фрезы последовательно вступает в процесс резания, изменяется толщина срезаемого слоя от наибольшего значения до наименьшего или наоборот. Одновременно в процессе резания может находиться несколько режущих кромок.

В зависимости от расположения режущих кромок различают: периферийное фрезерование зубьями, расположенными на

- цилиндрической поверхности (цилиндрическими, дисковыми односторонними фрезами);
- торцовое - зубьями, расположенными на торцовой поверхности (торцовыми фрезами);
- периферийно-торцовое - одновременно ведется обработка зубьями, расположенными на цилиндрической и торцовой поверхностях (концевыми, дисковыми двух-, трехсторонними фрезами и др.).

При периферийном фрезеровании (цилиндрическими фрезами) существует два способа обработки в зависимости от направления движения подачи заготовки:

- встречное фрезерование, когда направление главного движения резания противоположно направлению подачи;
- попутное фрезерование, когда направление главного движения резания совпадает с направлением подачи.

При встречном фрезеровании нагрузка на зуб возрастает от нуля до максимума, силы, действующие на заготовку, стремятся оторвать ее от стола, а стол поднять. Это увеличивает зазоры в системе станок- приспособление-инструмент-деталь, вызывает вибрации, ухудшает качество обработанной поверхности. При этом режущая кромка не сразу вступает в процесс резания, (а поначалу проскальзывает, вызывая большое трение и износ инструмента по задней поверхности. Встречное фрезерование применяют для обработки заготовок с коркой, производя резание из-под корки, тем самым значительно облегчая резание.

При попутном фрезеровании зуб начинает работу с наибольшей толщины срезаемого слоя, что вызывает большие ударные нагрузки, однако исключает начальное проскальзывание зуба, уменьшает износ фрезы и шероховатость поверхности. Силы, действующие на заготовку, прижимают ее к столу, а стол -к направляющим станины, что уменьшает вибрации и повышает точность обработки.

При периферийном фрезеровании за время поворота фрезы на угол контакта заготовка перемещается на величину подачи на зуб  $s_z$ .

Торцовое фрезерование - наиболее распространенный и высокопроизводительный метод фрезерования.

Попутное торцовое фрезерование характеризуется тем, что стружка, снимаемая зубом при выходе из заготовки, тоньше, чем при входе в нее. В этом случае достигаются плавное снижение силы резания в процессе контакта зуба с заготовкой и отсутствие пиковых нагрузок на выходе, способных вызвать выкрашивание пластин.

Симметричное расположение фрезы при малой ширине фрезерования может вызвать выкрашивание пластин из-за неравномерности процесса резания и большой толщины стружки на выходе. Его можно применять при обработке чугуна.

Диаметр фрезы должен в 1,2...1,5 раза превышать ширину обработки. При диаметре фрезы, равном или меньшем ширины фрезерования, применять фрезу по всей ширине обработки не рекомендуется.

Поверхности большой площади, когда диаметр фрезы намного меньше ширины фрезерования, следует обрабатывать за несколько проходов, располагая фрезу последовательно таким образом, чтобы обеспечивались условия попутного фрезерования. При равномерном

распределении припуска по проходам дефекты формы обработанной поверхности отсутствуют.

Фрезы большого диаметра нецелесообразно использовать на станках с ограниченной мощностью. Это приводит к неоправданному занижению подачи на зуб и, как следствие, к ускоренному износу режущих пластин. Большую часть торцовых фрез (до 90 %) выпускают диаметром 80...125 мм.

Схема обработки поверхностей заготовок на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках приведена на рисунке 5.

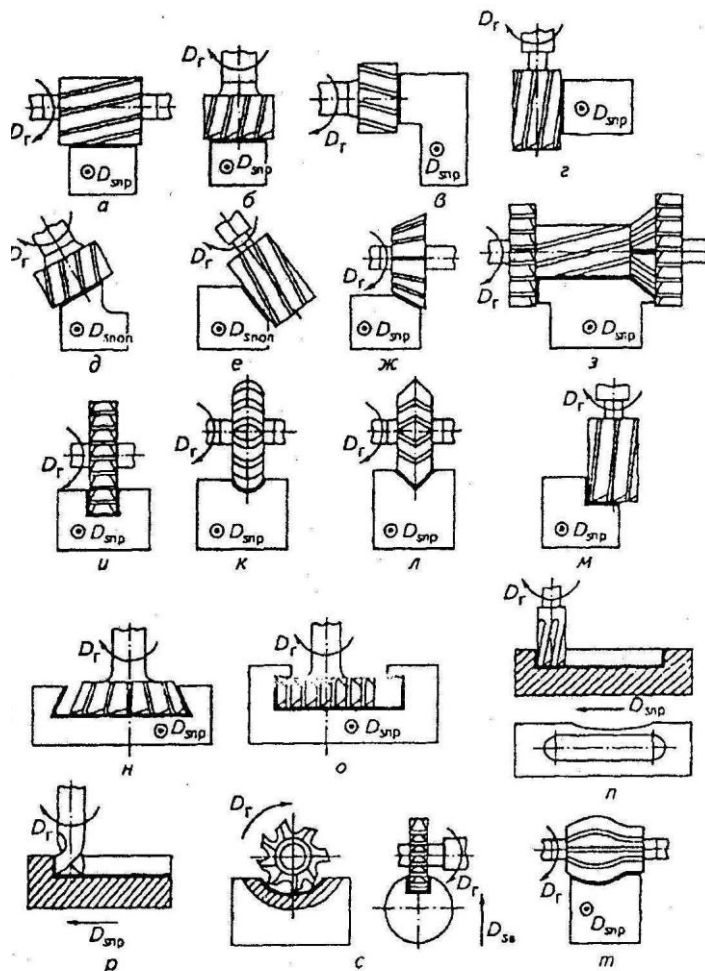


Рисунок 5 – Схема обработки поверхностей заготовок на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках  
 $D_r$  - главное движение резания;  $D_{сноп}$ ,  $D_{сноп}$ ,  $D_{се}$  – движения продольной, поперечной, вертикальной подачи.

Горизонтальные плоскости обрабатывают цилиндрическими фрезами на горизонтально-фрезерных станках и торцовыми фрезами на вертикально-фрезерных станках. Поскольку у торцовой фрезы одновременно участвует в резании большее число зубьев, обработка ими предпочтительнее. Цилиндрическими фрезами обрабатывают, как правило, плоскости шириной до 120 мм.

Вертикальные плоскости обрабатывают торцовыми фрезами на горизонтальных станках и концевыми - на вертикальных. Наклонные плоскости обрабатывают торцовыми и концевыми фрезами на вертикальных станках с поворотом оси шпинделя и на горизонтальных станках угловыми фрезами.

Комбинированные поверхности обрабатывают набором фрез на горизонтальных станках.

Пазы на горизонтально-фрезерных станках обрабатывают дисковыми трехсторонними фрезами, фасонные - фасонными, пазы с угловыми поверхностями - двуугловыми фрезами.

Уступы обрабатывают на вертикально-фрезерных станках концевыми фрезами.

Паз типа «ласточкин хвост» и Т-образные пазы обрабатывают на вертикально-фрезерных станках, как правило, за два прохода, сначала концевой фрезой (или на горизонтально-фрезерном станке дисковой фрезой) прямоугольный паз по ширине верхней части, а после этого окончательно концевой одноугловой, а также специальной Т-образной фрезой.

Закрытые шпоночные пазы обрабатывают концевыми фрезами, а открытые - шпоночными на вертикально-фрезерных станках (рисунок, п, р).

Пазы для сегментных шпонок обрабатывают на горизонтально-фрезерных станках дисковыми фрезами (рисунок 22, с).

Фасонные поверхности незамкнутого контура с криволинейной образующей и прямой направляющей обрабатывают на горизонтальных и вертикальных станках фасонными фрезами (рисунок 22, т).

Фрезерование зубчатых колес проводят на вертикальных и горизонтальных станках.

#### 4.5 Стругальные и долбежные станки

Конструкция и технологические возможности строгальных и долбежных станков.

В седьмой группе к строгальным и долбежным станкам относятся следующие типы:

- 1 - продольные одностоечные;
- 2 - продольные двухстоечные;
- 3 - поперечно-строгальные;
- 4 - долбежные;
- 9 - разные строгальные.

В серийном и массовом производстве и во вспомогательных цехах машиностроительных заводов наиболее распространены поперечно-строгальные станки (модели 736, 7Д37 и др.). На них обрабатывают детали с ходом ползуна до 1000 мм. Общий вид поперечно-строгального станка показан на рисунке 6.

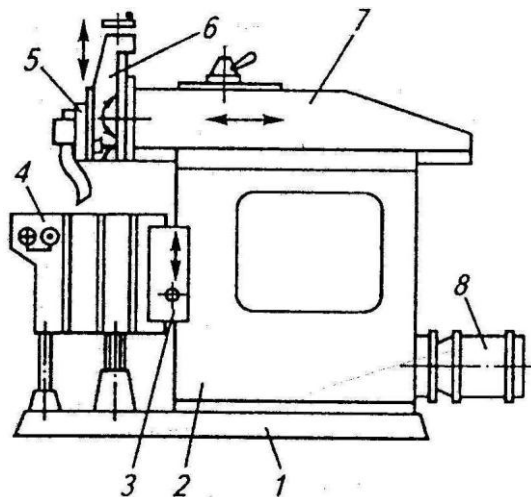


Рисунок 6 – Общий вид поперечно-строгального станка

1 - основание; 2 - станина; 3 - траверса; 4 - стол; 5 - резцедержатель; 6 - суппорт; 7 - ползун; 8 - электродвигатель

Основание 1 служит для установки и закрепления станка на фундаментном основании. На плите закреплена станина 2 с фланцевым электродвигателем 8. В станине смонтированы коробка скоростей станка и кулисный механизм или гидропривод, обеспечивающие возвратнопоступательное движение ползуна 7 по горизонтальным направляющим станины.

По вертикальным направляющим станины перемещается траверса 3 с горизонтальными направляющими. На траверсе консольно установлен стол 4 с Т-образными пазми, на котором закрепляют обрабатываемую заготовку.

На торце ползуна 7 находится вертикальный суппорт 6, который можно устанавливать под углом при строгании наклонных плоскостей. На суппорте смонтирован резцедержатель 5, в котором закрепляют строгальный резец. Резцедержатель сделан откидным и может поворачиваться на шарнирном пальце, что необходимо для свободного скольжения резца по обработанной поверхности заготовки при холостом ходе ползуна.

На продольно-строгальных станках обрабатываются крупные заготовки, длина строгания на них составляет 1500... 12000 мм, ширина строгания - 700...4000 мм. На станках моделей 7110, 7210 и др. главное движение резания осуществляется возвратно-поступательным движением заготовки. Инструмент размещают на стойках. Продольно-строгальные станки бывают одно- и двухстоечные. На двухстоечных станках, имеющих более жесткую конструкцию, обрабатывают более крупные заготовки.

Общий вид двухстоечного продольно-строгального станка показан на рисунке 7.

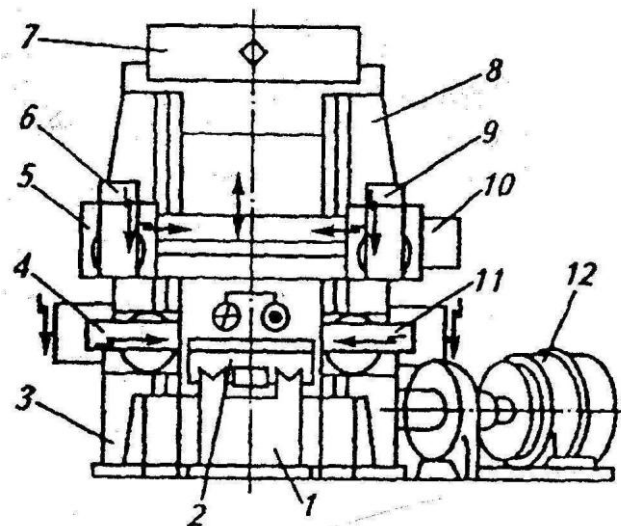


Рисунок 7 – Общий вид двухстоечного продольно-строгального станка:

1 - станина; 2 - стол; 3 и 8 - стойки левая и правая; 4 и 11 - боковые суппорты; 5 - траверса; 6 и 9 - верхние суппорты; 7 - поперечина; 10 - коробка подачи; 12 – электродвигатель

Станина 1 имеет продольные горизонтальные направляющие, по которым стол 2 совершает возвратно-поступательное движение. Стол с закрепленной на нем обрабатываемой заготовкой получает прямолинейное движение от реечной передачи, червяка и червячной рейки или от гидроцилиндра. Приводом главного движения служит электродвигатель 12. Со станиной жестко связаны две стойки: левая 3 и правая 8, соединенные в верхней части поперечиной 7, что повышает общую жесткость станка. По вертикальным направляющим стоек перемещается траверса 5, которую в зависимости от размера обрабатываемой заготовки

устанавливают на определенной высоте от плоскости стола.

На траверсе смонтированы два верхних суппорта 6 и 9, получающие поперечную подачу от коробки подачи 10. Суппорты можно поворачивать в вертикальной плоскости. На суппортах установлены откидные резцедержатели для закрепления резцов. По вертикальным направляющим стоек перемещаются боковые Суппорты 4 и 11, на которых также установлены откидные резцедержатели. Боковые суппорты имеют индивидуальные коробки подачи. Наличие четырех суппортов позволяет одновременно обрабатывать несколько поверхностей заготовки.

Долбежные станки отличаются тем, что инструмент имеет вертикальное перемещение и закреплен вдоль направления движения, что позволяет обрабатывать внутренние поверхности. Эти станки обычно имеют длину хода до 200 мм (модели 7М430, 7417 и др.).

В результате обработки на строгальных и долбежных станках получают элементы деталей с линейной образующей разнообразной формы (рисунок 8):

на поперечно-строгальных станках - плоские поверхности горизонтальные (рисунок 8, а), вертикальные (рисунок 8, б) и наклонные (рисунок 8, в); уступы; рифления (рисунок 8, г);

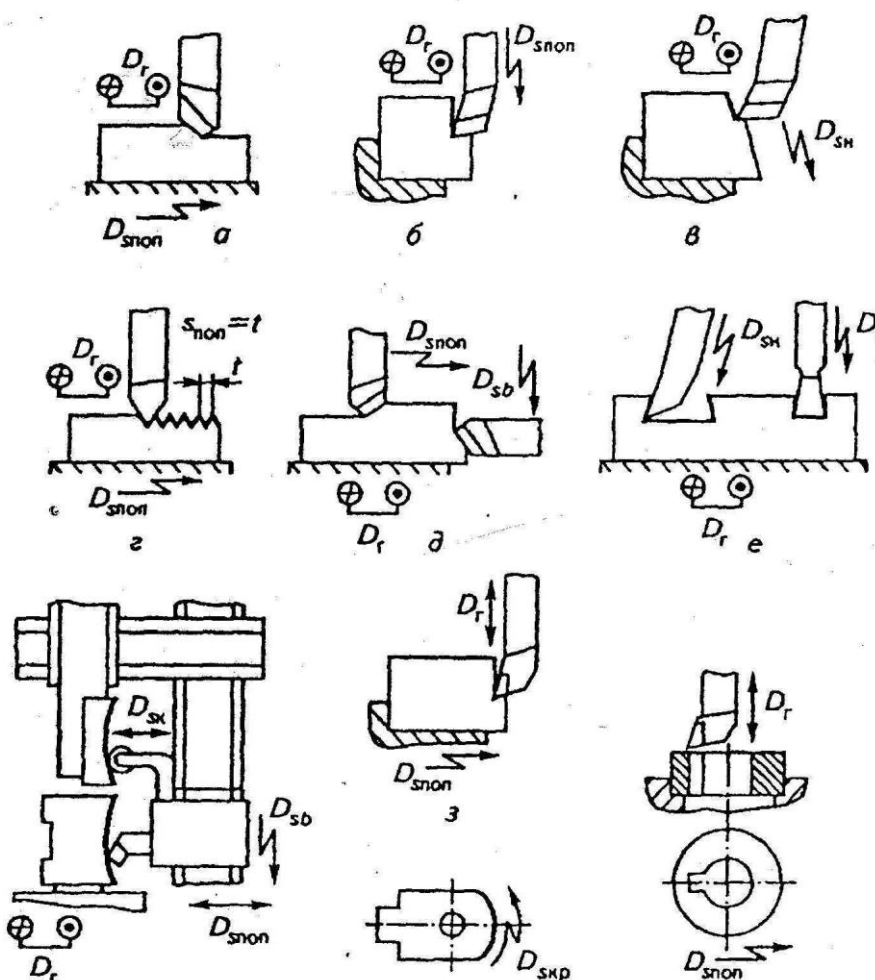


Рисунок 8 – Схема обработки поверхностей на строгальных (а...ж) и долбежных (з...к) станках

движения подачи:  $D_{snon}$  - поперечная;  $D_{sh}$  - наклонная;  $D_{sb}$  - вертикальные;  $D_{sk}$  - копирования;  $D_{skr}$  - круговая;  $t$  - шаг рифления

на продольно-строгальных станках - одновременно горизонтальные и вертикальные поверхности (рисунок 8, д); пазы Т-образные, V-образные, типа «ласточкин хвост», призматические, прямоугольные и трапециевидальные (рисунок 8, е); фасонные поверхности соответствующими фасонными резцами или по копиру (рисунок 8, ж);

Помимо этого на строгальных станках разрезают заготовки; на долбежных станках - плоские вертикальные поверхности (рисунок 8, з); цилиндрические поверхности (рисунок 8, и); многогранники; многогранные отверстия; наружные и внутренние пазы; фасонные поверхности; шпоночные пазы (рисунок 8, к).

Основные виды работ, выполняемых на строгальных и долбежных станках.

Строгание и долбление применяют при обработке плоских поверхностей и различных фасонных поверхностей с прямолинейными образующими. Обработку строганием ведут на строгальных станках, обработку долблением - на долбежных станках.

Способ образования поверхностей заготовок строганием характеризуется наличием двух движений: поступательного движения резца или заготовки (главное движение резания) и дискретного движения подачи в направлении, перпендикулярном главному движению резания.

Заготовки обрабатывают на поперечно-строгальных и продольно-строгальных станках (рисунок 9).

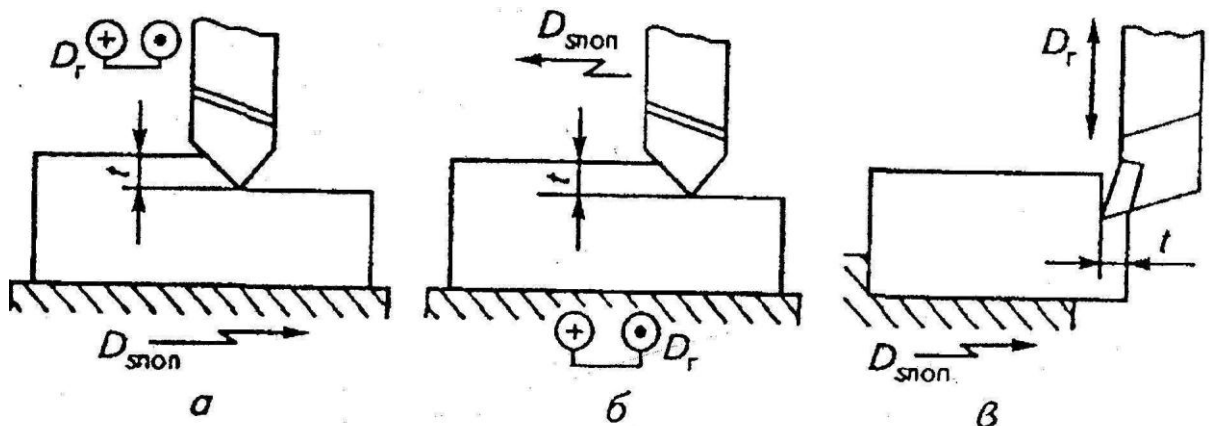


Рисунок 9 – Схема обработки плоской поверхности на станке  
а - поперечно-строгальном; б - продольно-строгальном; в - долбежном

На поперечно-строгальных станках главное движение резания осуществляется прямолинейным поступательным движением резца (возвратное движение - холостой ход), а движение подачи - дискретным горизонтальным перемещением заготовки. В некоторых конструкциях станков при обработке наклонных поверхностей, прорезании или отрезании осуществляется второе движение подачи - вертикальное перемещение резца или заготовки.

На продольно-строгальных станках заготовка совершает прямолинейное поступательное движение (главное движение резания) и возвратное движение (холостой ход), а режущий инструмент совершает перемещения в перпендикулярном направлении - движение подачи.

Процесс резания при строгании прерывистый, удаление материала происходит только при прямом (рабочем) ходе инструмента. Во время обратного (холостого) хода резания не происходит, резец охлаждается. Благодаря прерывистости резания в большинстве случаев

нет необходимости в применении смазочно-охлаждающих средств. При прерывистом резании возникают большие динамические нагрузки.

В момент врезания резец при каждом рабочем ходе испытывает удар, поэтому строгание производят на умеренных скоростях, а режущий инструмент делают более массивным. Наличие холостого хода увеличивает время обработки и снижает производительность.

Главное движение резания при строгании получается путем преобразования с помощью кулисного механизма вращательного движения в возвратно-поступательное. В результате этого в начале рабочего хода скорость движения возрастает от нуля до максимального значения и в конце рабочего хода снижается вновь до нуля. Резание на малых скоростях нежелательно, поэтому устанавливают длину врезания и перебега резца 10... 15 мм.

В большинстве случаев строгание можно заменять фрезерованием, однако иногда оно является наиболее целесообразным. Применение строгания при обработке крупных поверхностей, с большими припусками, по корке, с неравномерной нагрузкой и ударами более рационально, чем фрезерование, к тому же строгание можно проводить при многостаночном обслуживании, поскольку обработку ведут в автоматическом режиме длительное время.

Строгание позволяет получать шероховатость обработанной поверхности  $Ra=2,5...1,25$  мкм, точность 11...12-го квалитета, снимать за один проход припуск до 12 мм.

Разновидность строгания - долбление. При долблении резец осуществляет возвратно-поступательное движение в вертикальной плоскости - главное движение резания, а заготовка перемещается в горизонтальной плоскости. Резец закрепляют вдоль оси резания, что позволяет обрабатывать внутренние поверхности.

Движение подачи заготовки осуществляется в двух перпендикулярных направлениях в горизонтальной плоскости и вокруг оси стола - круговая подача. Это позволяет обрабатывать поверхности, имеющие линейную образующую, движущуюся параллельно самой себе по замкнутому или незамкнутому контуру произвольной конфигурации и получать детали любой сложности по форме поперечного сечения.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев, Г. В. Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Материаловедение» [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г. В. Алексеев, И. И. Бриденко, С. А. Вологжанина. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2013. — 208 с. — Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=38834](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=38834).
2. Буслаева, Е.М. Материаловедение [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Буслаева Е.М. — Электрон. текстовые данные. — Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2012. - 148с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/735>.
3. Ржевская, С.В. Материаловедение [Электронный ресурс] : учебник. — Электрон. дан. — М. : Горная книга, 2005. — 447 с. — Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=3217](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=3217).
4. Богодухов, С.И. Курс материаловедения в вопросах и ответах [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Богодухов С. И., Синюхин А. В., Козих Е. С.— Электрон. текстовые данные. — М.: Машиностроение, 2010. — 352 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/5121>.
5. Зарембо Е. Г. Материаловедение [Электронный ресурс]: учебное иллюстрированное пособие / Зарембо Е. Г.— Электрон. текстовые данные. — М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2009. — 49 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16216>.
6. Сазонов, К. Е. Материаловедение [Электронный ресурс]: руководство к лабораторным работам/ Сазонов К. Е. — Электрон. текстовые данные. — СПб.: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2006. — 96 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/17932>.
7. Спицын, И. А. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Раздел: «Обработка материалов резанием» : рабочая тетрадь для выполнения лаб. работ / А. А. Орехов, И.А. Спицын . — Пенза : РИО ПГСХА, 2015. — 40 с. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.rucont.ru/efd/292798>.
8. Мельников, А. А. Материаловедение. Конспект лекций. Ч. 1. Материаловедение и термическая обработка [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. акад. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т), А. А. Мельников. — Самара : Изд-во СГАУ, 2011. — 65. - [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.rucont.ru/efd/230134>.

## **Методические указания** по лабораторным работам

*Составители:* Чеботарёв Михаил Иванович, Тарасенко Борис Фёдорович  
Карпенко Владимир Денисович, Горовой Сергей Алексеевич

Подписано в печать \_\_\_\_\_ Формат \_\_\_\_\_  
Усл. печ.л. – Уч. изд. л. –  
Тираж \_\_\_ экз. Заказ № \_\_\_\_\_

Типография  
Кубанского государственного аграрного университета.  
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13