

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Кафедра ремонта машин и материаловедения

## **Технология конструкционных материалов (включая сварку)**

### **Методические указания**

к лабораторным и практическим занятиям  
для обучающихся по направлению подготовки  
«Строительство», профиль «Проектирование зданий»

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. – 75 с.

Изложены теоретические сведения, а также указания по выполнению лабораторных и 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» профиль «Проектирование зданий»

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 И БЕЛОГО ЧУГУНА	26
5 ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ МЕТАЛЛОВ	37
6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ МЕТАЛЛОВ	50
7 ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОВОЙ СВАРКИ И КИСЛОРОДНОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ	56
8 КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ШВОВ	69
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	74

## **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

## (Лабораторная работа)

### 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, отскакивания 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, мин,	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).

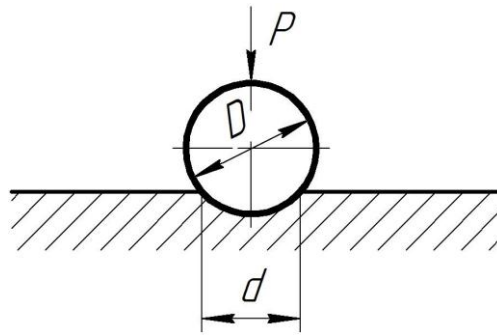


Рисунок 1.1 – Схема измерения твердости на твердомере Бринелля

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,  $m^2$ ;

$D$  – 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 расстояние  $4 D$  (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;

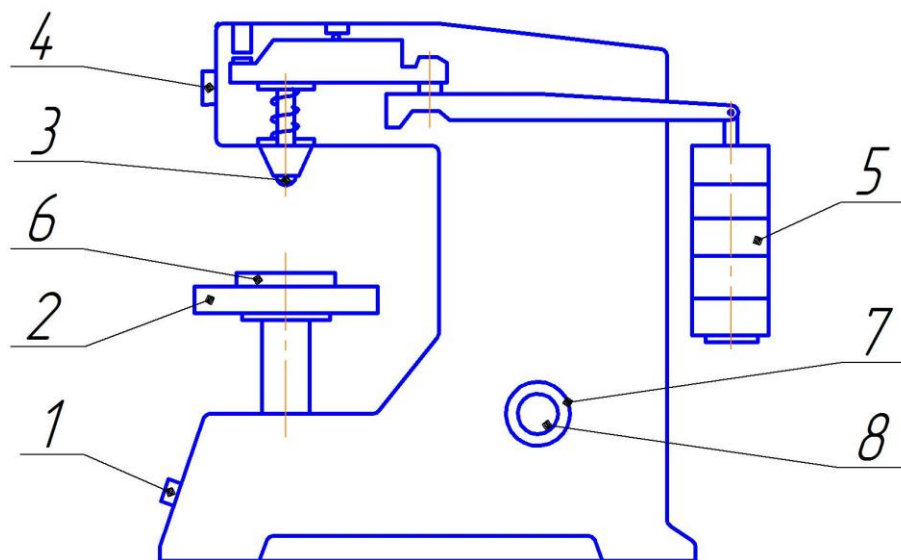


Рисунок 1.2 – Схема твердомера Бринелля (ТШ):

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).



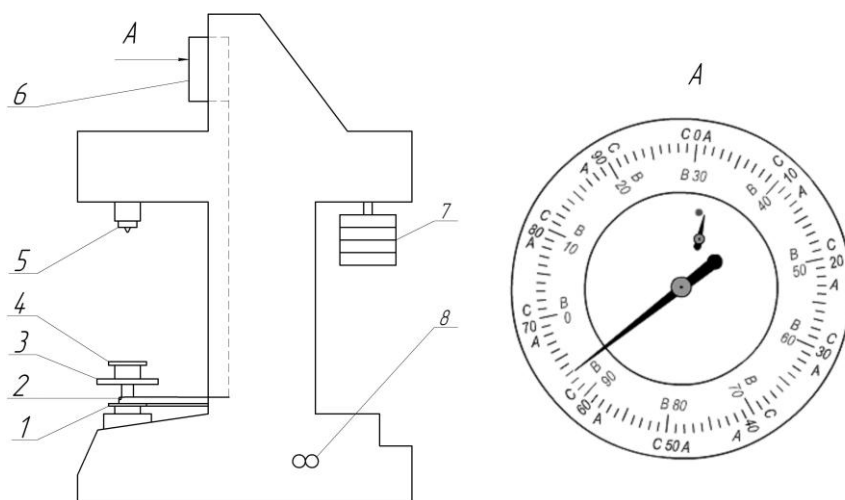


Рисунок 1.3 – Схема твердомера Роквелла (ТК):

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.

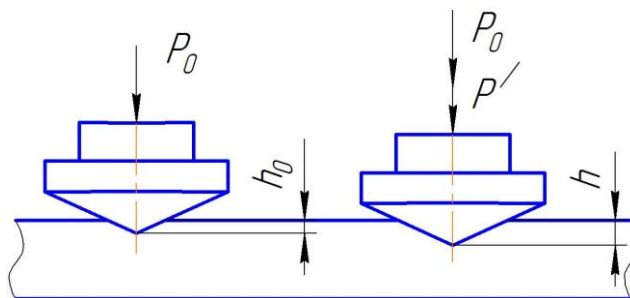


Рисунок 1.4 – Схема измерения твердости на приборе Роквелла (ТК)

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

(Лабораторная работа)

### 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.

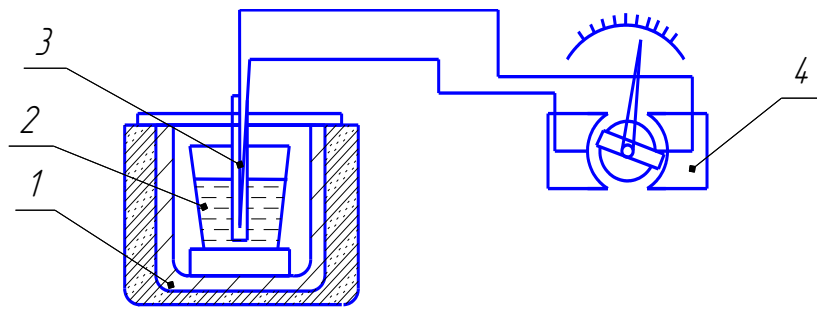


Рисунок 2.1 – Схема установки для определения критических точек методом термоанализа: 1 – нагревательное устройство; 2 – тигель со сплавом; 3 – термопара; 4 – гальванометр.

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.

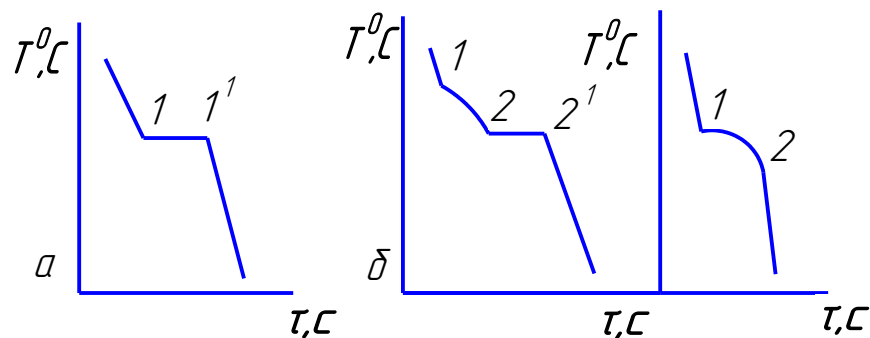


Рисунок 2.2 – Кривые охлаждения: а – чистого металла; б – сплавов.

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°С. Температура кристаллизации свинца согласно кривой охлаждения 327°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.

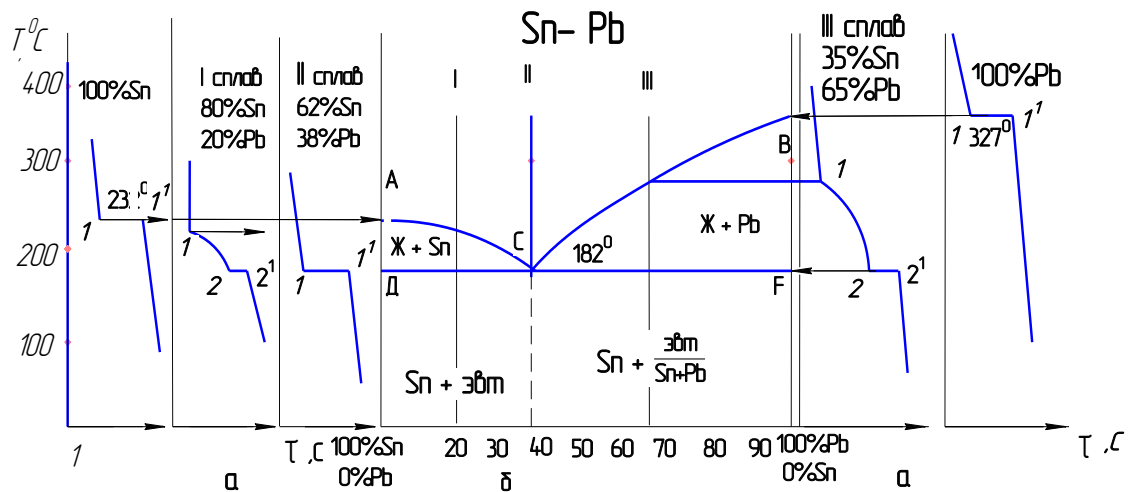


Рисунок 2.3 – Схема построения диаграммы состояния сплавов:  
а – кривые охлаждения; б – диаграмма

## 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

(Практическое занятие)

### 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.

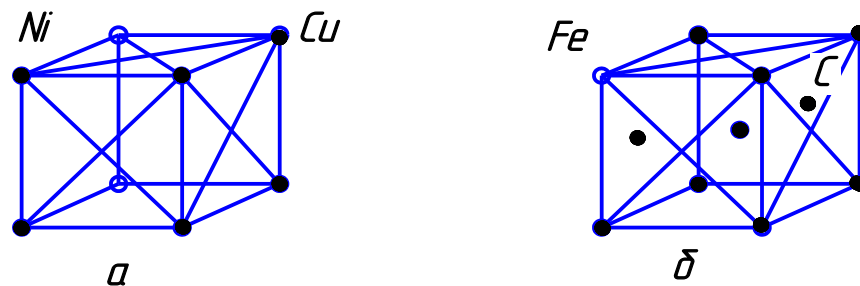


Рисунок 3.1 – Схема кристаллической решётки твёрдых растворов:  
а – замещения, б – внедрения

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 ACB (ликвидус), заканчивается – по ECF (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 CB и CF.

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.

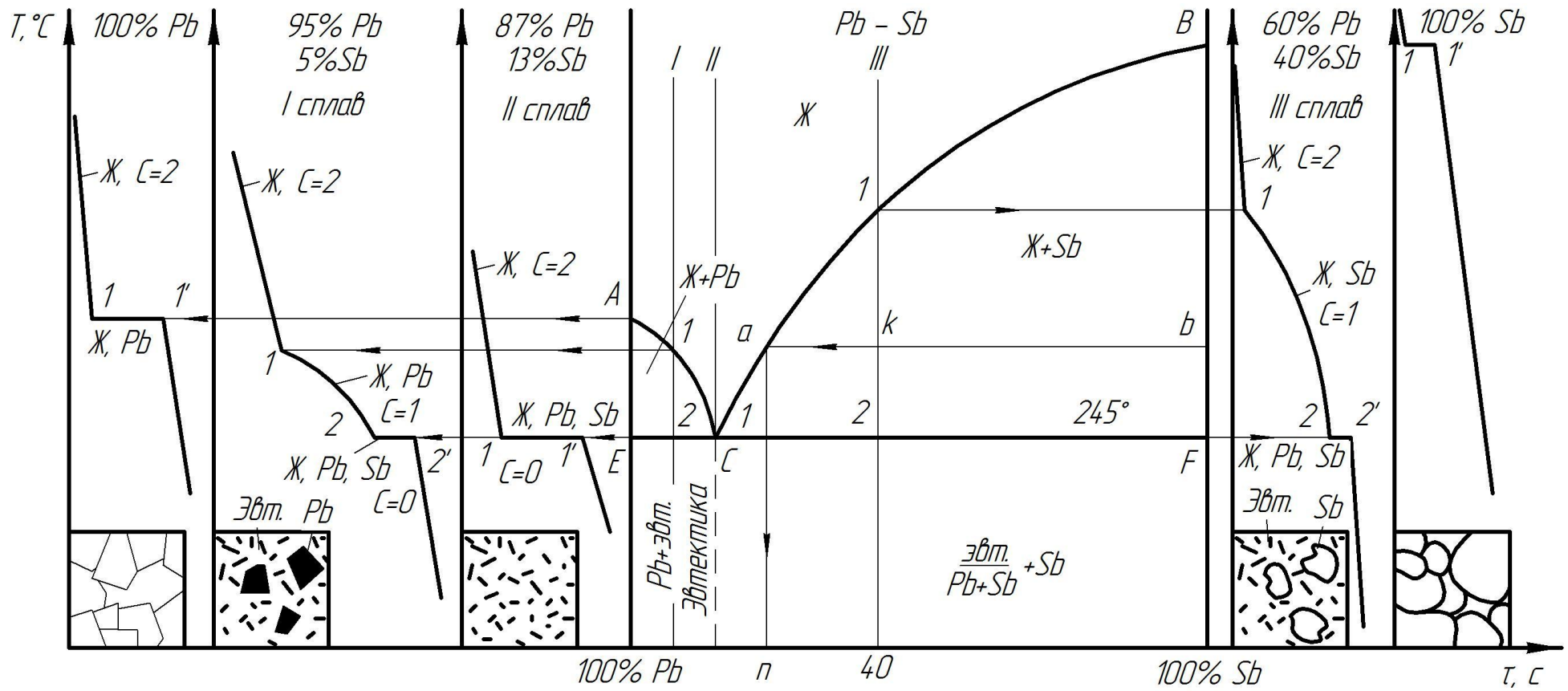


Рисунок 3.2 – Построение кривых охлаждения по диаграмме Pb–Sb

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

До т. 1 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. "n".

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:

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

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

где  $Q_{ж}$  – 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, т.е. существует одна фаза, следовательно число степеней свободы  $C = K + 1 - \Phi = 2$ . На участке 1 –2 началась кристаллизация твердого раствора  $\alpha$ .

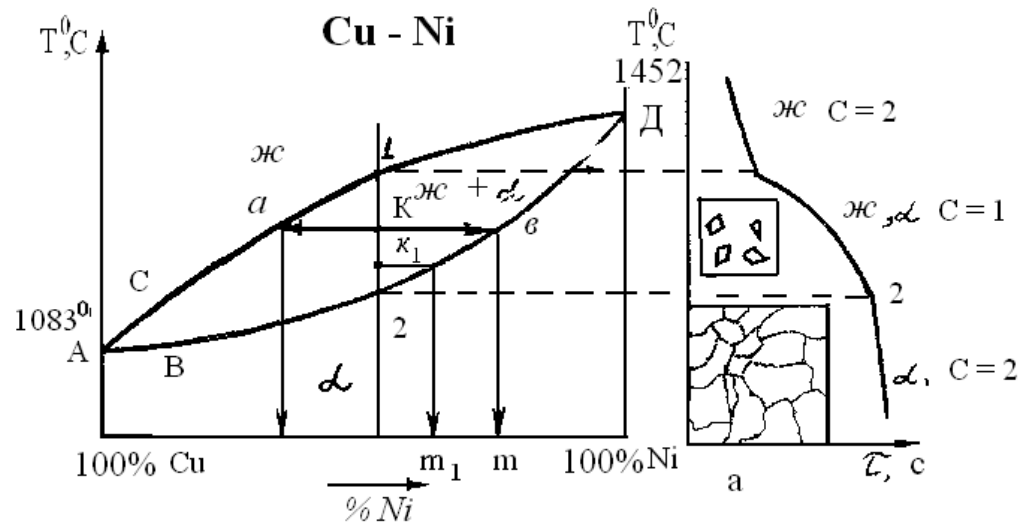


Рисунок 3.3 – Диаграмма второго рода: а – кривая охлаждения сплава

Процесс кристаллизации сопровождается выделением тепла, скорость охлаждения сплава замедляется.  $C = 2 + 1 - 2 = 1$ . Концентрация образующихся кристаллов меняется в зависимости от температуры. Её можно определить, проведя горизонталь через рассматриваемую точку "К" до линии АВД – солидус (конец кристаллизации). Если сравнить химический состав участка зерна, образовавшегося при температуре  $t$ . "К", то он имеет более высокое содержание Ni, чем следующий участок, образовавшийся в  $t$ . "К<sub>1</sub>" при более низкой температуре. То есть, зерно имеет неодинаковый химический состав. Это явление называется дендритной ликвацией. Устранить ликвацию можно последующим отжигом (термообработка с нагревом до температуры ниже солидуса, выдержкой при этой температуре и медленным охлаждением). При отжиге за счет диффузии химический состав зерна выравнивается.

В  $t$ . 2 кристаллизация сплава заканчивается, он состоит из одной фазы –  $\alpha$ ,  $C = 2 + 1 - 1 = 2$ . Ниже  $t$ . 2 идет быстрое охлаждение сплава без фазовых превращений.

Количество жидкой и твердой фаз в  $t$ . «К» определяется по правилу отрезков (смотри формулы 3.2, 3.3):

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

**Диаграмма третьего рода** или случай, когда:

- компоненты неограниченно растворимы в жидком состоянии;
- химические соединения не образуют;
- в твердом состоянии растворимы ограниченно.

Рассмотрим изменения в этом сплаве на примере компонентов А – В (рисунок 3.4 а)

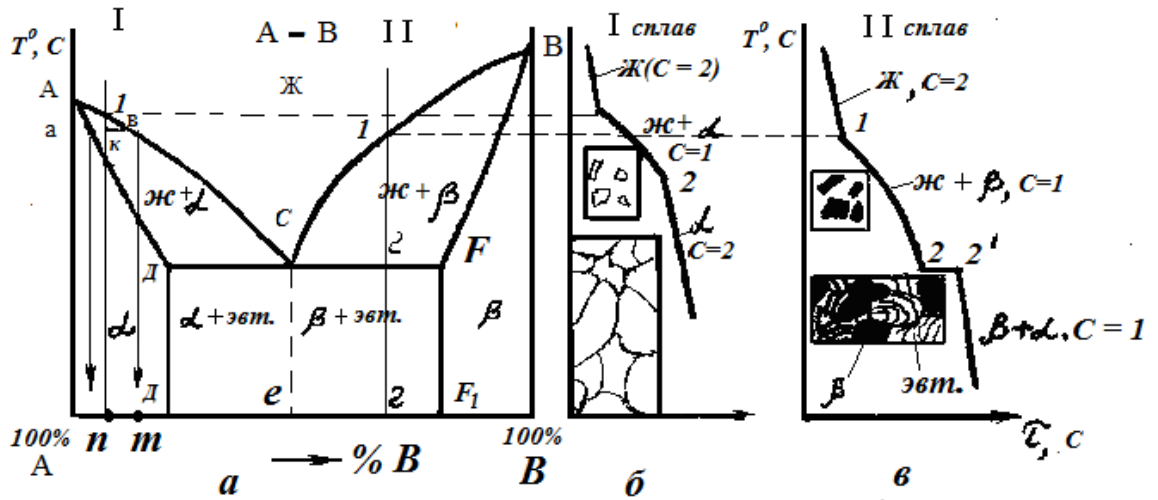


Рисунок 3.4 – Диаграмма третьего рода:  
 б, в – кривые охлаждения и схемы структур сплавов

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

Превращения в первом сплаве (рисунок 3.4 б). В т. 1 началась кристаллизация α – раствора. На участке 1 – 2 скорость охлаждения замедлилась. В сплаве две фазы: Ж, α, 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):

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

Превращения во втором сплаве (рисунок 3.4 в). Кристаллизация β раствора начинается в т. 1. На участке 1 – 2 в сплаве фазы – Ж, β, 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, α, β, C = 0 следовательно, процесс идёт при постоянной температуре. В т. 2<sup>1</sup> фазовые превращения заканчиваются, по правилу отрезков определим количество структурных составляющих в т."2":

$$\frac{Q_{\beta}}{Q_{\text{эвт}}} = \frac{ze}{zF_1}, \quad \frac{Q_{\beta}}{Q_{сн}} = \frac{ze}{eF_1}$$

**Диаграмма четвёртого рода** или случай, когда два компонента в твёрдом состоянии об-

разуют химическое соединение по формуле  $A_m B_n$ .

Если в системе А – В (рисунок 3.5) при концентрации т. т образует 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  $A_m B_n$  с компонентом А образует механическую смесь (диаграмма первого рода), а с компонентом В – раствор  $\beta$  (диаграмма второго рода).

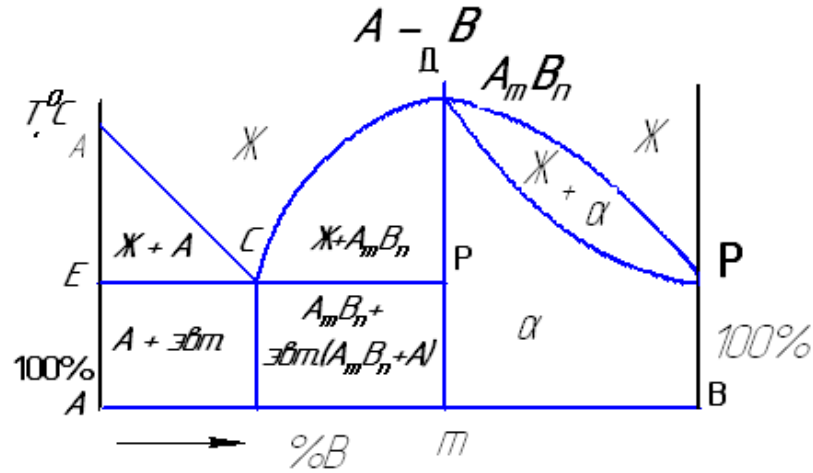


Рисунок 3.5 – Диаграмма четвёртого рода

**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).

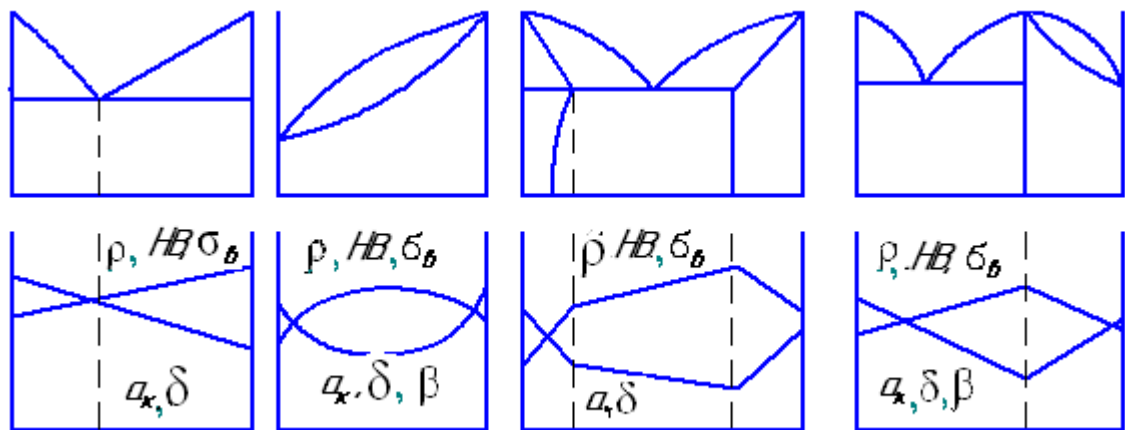


Рисунок 3.6 – Связь между родом диаграммы и свойствами сплавов

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 (Практическая работа)

### 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, АЕСF, ЕСF, 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 микро-структуры	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–C 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–C, 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  $1392^{\circ}\text{C}$ . Она имеет форму гранецентрированного куба (ГЦК), немагнитна и называется  $\text{Fe } \gamma$ . Координационное число – К12.

При температуре  $910^{\circ}\text{C}$  решетка железа снова приобретает форму ОЦК с меньшей величиной грани, с координационным числом К8. Эта модификация называется  $\text{Fe } \beta$ . Она также немагнитна.

Долгое время считали, что железо имеет три аллотропные формы, но обратили внимание на тот факт, что при температуре  $768^{\circ}\text{C}$  (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  $\text{Fe } \alpha$ .

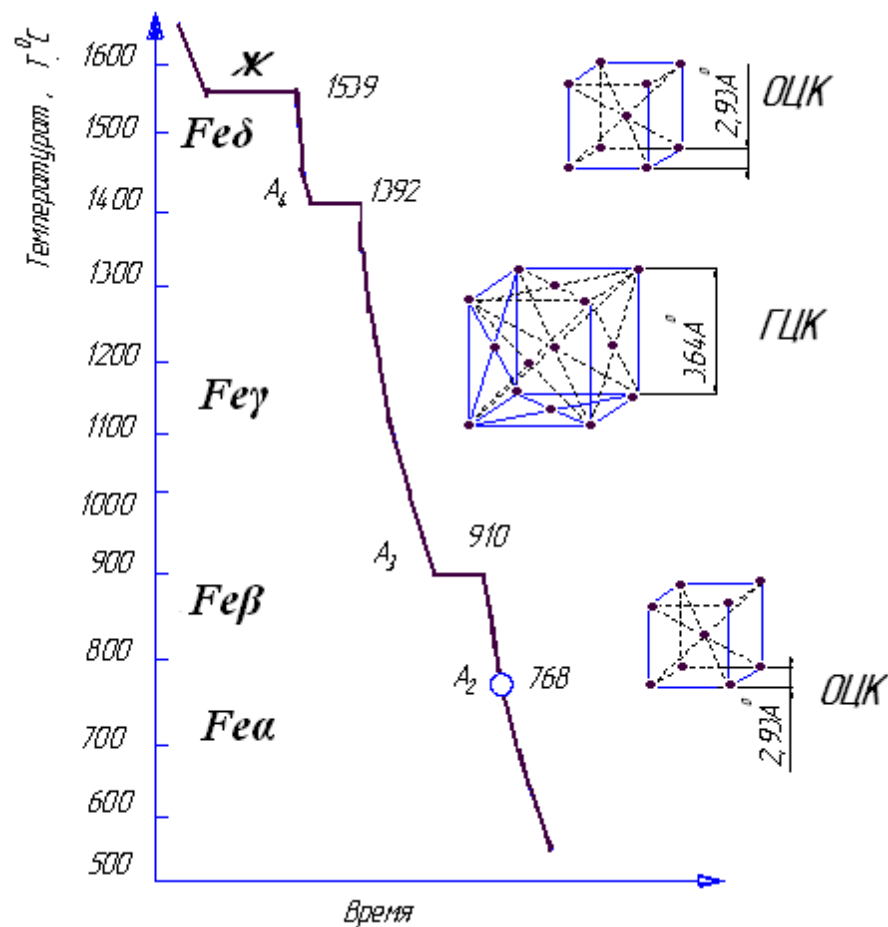


Рисунок 4.1 – Кривая охлаждения чистого железа

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

### Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов

**Феррит** – твердый раствор углерода в железе Fe  $\alpha$ . В феррите максимально растворяется при температуре  $727^{\circ}\text{C}$   $0,02\%$ С. С понижением температуры до комнатной растворимость углерода уменьшается до  $0,006\%$ . Феррит – мягкая, пластичная фаза, его твердость  $\text{HB} < 100$ , он магнитен.

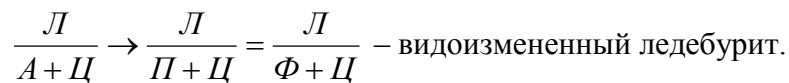
**Аустенит** – твердый раствор углерода в Fe  $\gamma$ . При температуре  $1147^{\circ}\text{C}$  растворяет до

2,14%С, при температуре 727°С – 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  $Fe_3C$ , 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  $\Phi + \Pi$ , следовательно, произойдет превращение:



Ледебурит хрупок, имеет твердость НВ700.

### Анализ диаграммы Fe – C

АСД – линия ликвидус. Линия АС соответствует температуре начала кристаллизации аустенита. В сплавах с содержанием  $C < 2,14\%$  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 +  $\Pi$  (ледебурит).

В структуре сплавов Fe – C 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  $\Phi + \Pi$ , 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  $\Phi + \Pi$ . Эта сталь называется – доэвтектоидная.

В заэвтектоидной стали ( $C > 0,8\%$ ) с понижением температуры ниже линии SE раство-

римость 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 – П + Ц<sup>II</sup>.

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 П + Л + Ц<sup>II</sup> (доэвтектический чугун), более 4,3%С – структуру Л + Ц<sup>I</sup> (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, Ф) = 1. Содержание углерода в оставшемся аустените увеличивается до 0,8%С.

В т. 4 происходит распад А → Ф + Ц. Число степеней свободы  $C = 2 + 1 - 3$  (А, Ф, 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: П + Ф (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:

$$F_n \text{ — } X \quad \begin{matrix} 100\% \text{ П} & \text{—} & 0,8\% \text{ С} \\ \text{т.е. } x = \frac{F_n \cdot 0,8}{100}, \end{matrix} \quad (4.1)$$

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  $C = 2 + 1 - 3$  (А, Ф, Ц) = 0, т.е. процесс идет 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  $0,8\%C$ , 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 –  $X_2$ :  $100\%Ц — 6,67\%C$

$$5\%Ц — X_2$$

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  $1\%C$ , то

$$\frac{F_n}{F_{ш}} = \frac{кв}{ав}, \quad (4.2)$$

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

$ав$  – отрезок, определяющий площадь всего шлифа;

$F_n$  – площадь перлита, %;

$F_{ш}$  – площадь шлифа, %.

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

Площадь перлита занимает 96% площади шлифа.

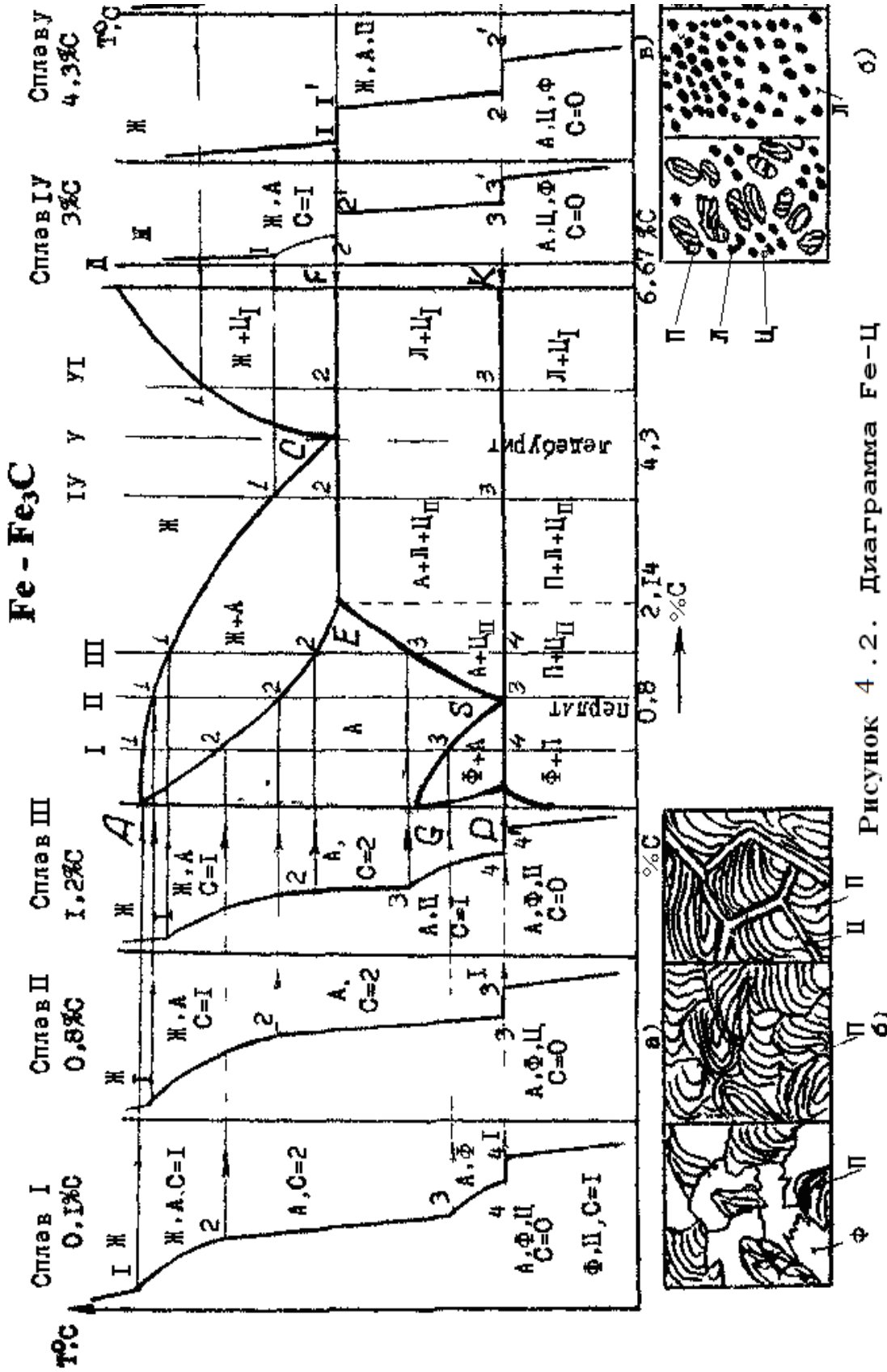


Рисунок 4.2. Диаграмма Fe-C

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

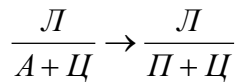


### Белые чугуны

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 (C = 4,3%, эвтектический чугун). У эвтектического сплава кристаллизация начинается в т. 1 с образования смеси аустенита и цементита (ледебурита). Число степеней свободы  $S = 2 + 1 - 3 (Ж, А, Ц) = 0$ , 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  $S = 2 + 1 - 3 (А, Ц, Ф) = 0$ , следовательно, процесс идет на участке 2–2' также при постоянной температуре.

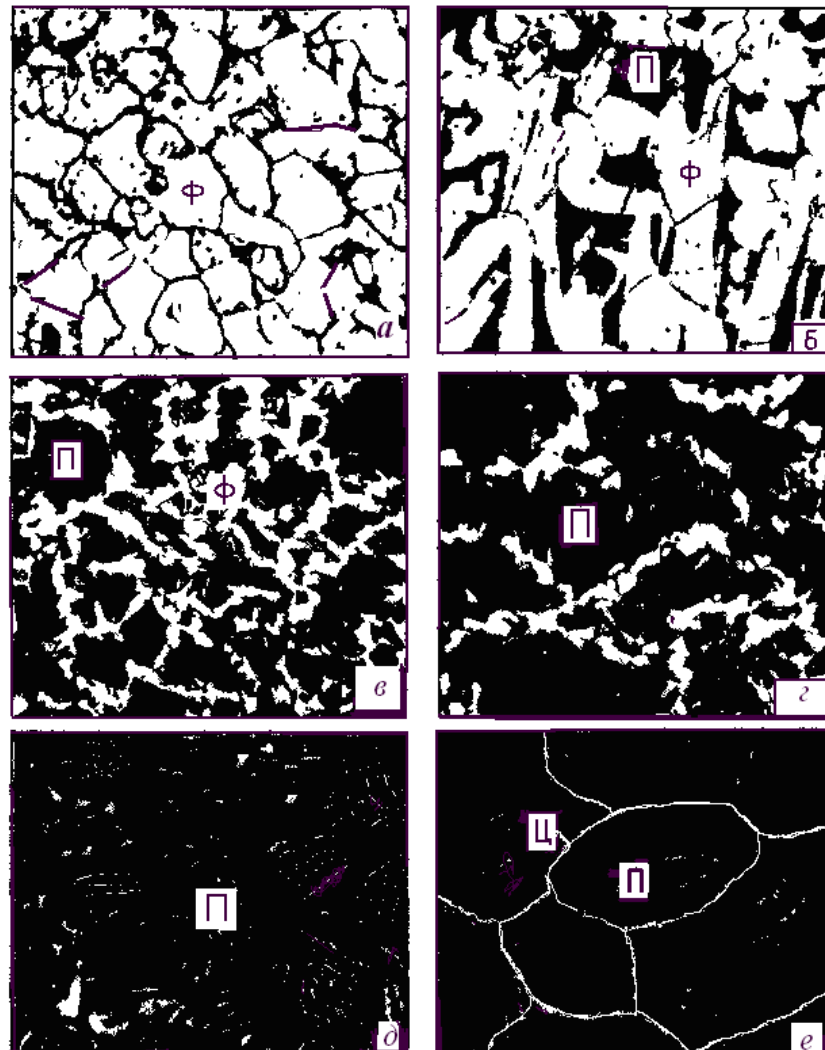


Рисунок 4.3 – Микроструктура стали после отжига (x300): а – армко–железо, структура – феррит; б – Сталь 10, структура – феррит и перлит; в – сталь 45, структура – перлит и феррит; г – Сталь 60, структура – перлит и феррит; д – сталь У8, структура – перлит; е – сталь У13, структура – перлит и цементит

Сплав IV (доэвтектический 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 AC 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
	C	Mn	Si	S	P	НВ, МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	
				не более			не менее		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Конструкционные стали обыкновенного качества ГОСТ 380–88</b>									
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.
<b>Качественные конструкционные стали после нормализации ГОСТ 1050–88</b>									
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, бандажы, 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 инструментальных 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 ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ МЕТАЛЛОВ

(Лабораторная работа)

### 5.1 Цель работы:

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

### 5.2 Задание:

5.2.1 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.

5.2.2 Ознакомиться с правилами техники безопасности при выполнении данной работы.

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

5.2.4 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.

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

5.2.5 Оценить стабильность технологического процесса дуговой сварки.

5.2.6 Заполнить технологическую карту изготовления заданного сварочного соединения.

5.2.7 Составить отчет по работе.

### 5.3 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.

### 5.4 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 5.1). 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 5.2.

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.

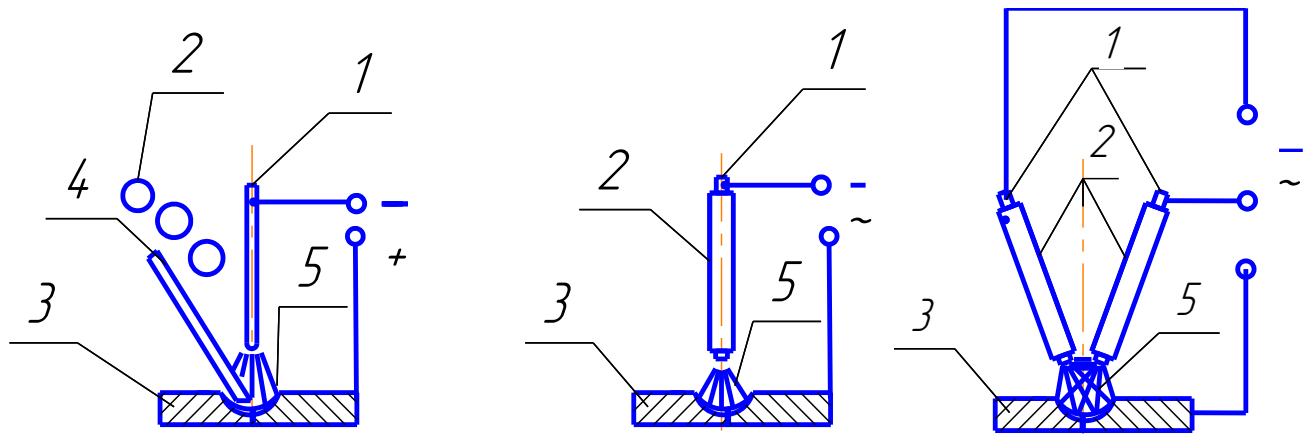


Рисунок 5.1 – Принципиальные схемы основных способов ручной дуговой сварки:  
 а) по способу Н. Н. Бенардоса; в) по способу Н. Г. Славянова; в) сварка трехфазной дугой;  
 1 – электрод, 2 – флюс, 3 – свариваемые заготовки, 4 – присадочный материал, 5 – дуга.

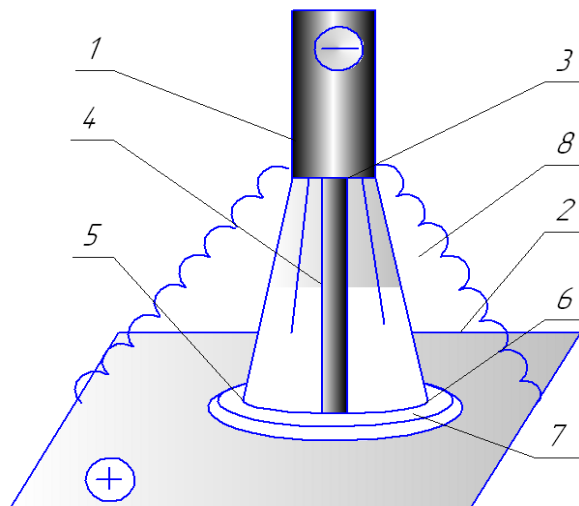


Рисунок 5.2 – Принципиальная схема сварочной дуги:  
 1 – электрод; 2 – свариваемый металл; 3 – катодная область; 4 – столб дуги;  
 5 – сварочная ванна; 6 – кратер; 7 – анодная область; 8 – газовое облако.

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 5.3), 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:

$$U_d = I_d(a + \beta), \quad (5.1)$$

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.

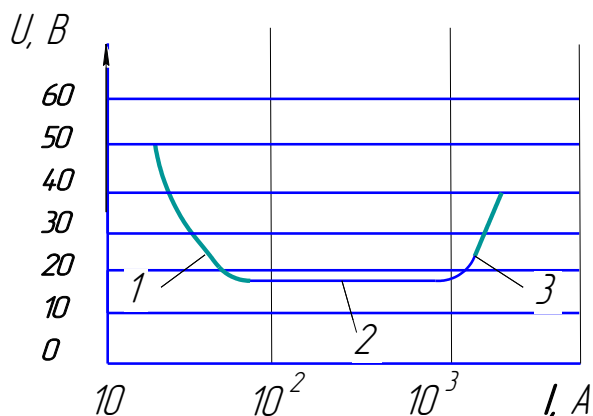


Рисунок 5.3 – Статистическая вольтамперная характеристика сварочной дуги: 1 – падающая, 2 – жесткая (пологая), 3 – возрастающая

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 5.1) или по эмпирической формуле:

$$d = \frac{s}{2} + 1, \quad (5.2)$$

где  $s$  – толщина свариваемого металла, мм.

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

$$I_{св} = kd, \quad (5.3)$$

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 5.4).

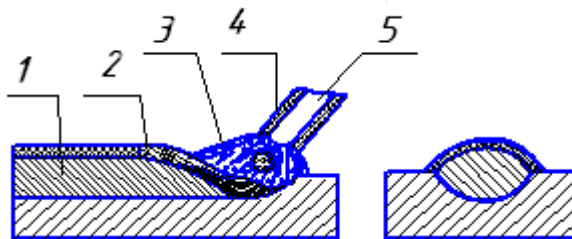


Рисунок 5.4 – Схема плавания электрода

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 5.5);
- обеспечивать регулировку сварочного тока в широком диапазоне (рисунок 5.5).
- способствовать благоприятному переносу электродного металла и формированию сварного шва;
- выдерживать длительные и частые короткие замыкания, также обеспечивать быстрое расплавление электрода при коротком замыкании.

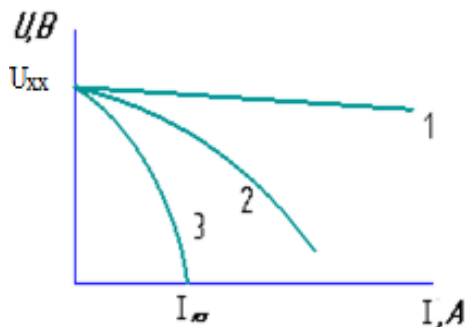


Рисунок 5.5 – Внешние вольтамперные характеристики различных источников тока:

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 5.6).

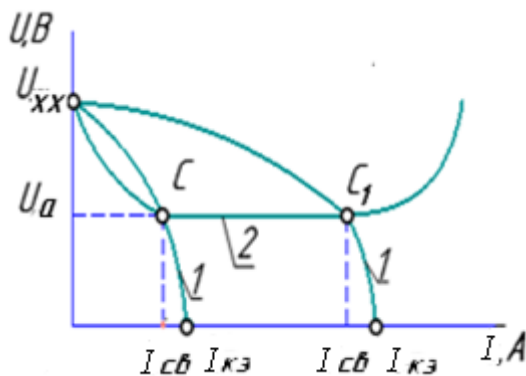


Рисунок 5.6 – Внешняя характеристика источника питания (1) и сварочной дуги (2):

$U_{хх}$  – напряжение холостого хода источника питания;  $U_{д}$  – напряжение горения дуги,  $I_{св}$  – ток сварочный,  $I_{з}$  – 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:

$$ПВ = \frac{N}{N+P} 100, \quad (5.4)$$

$$ПН = \frac{N}{N+T} 100, \quad (5.5)$$

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 5.7) 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.

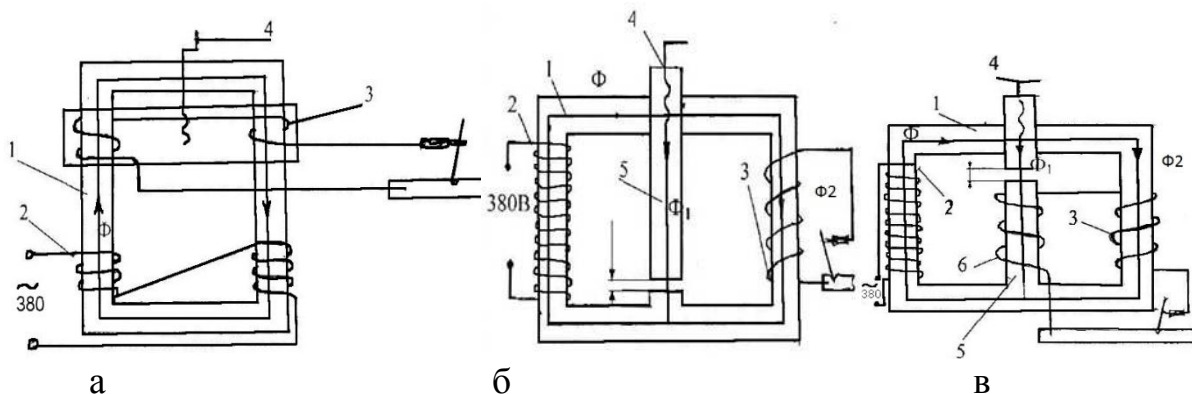


Рисунок 5.7 – Принципиальные схемы однофазовых сварочных трансформаторов:

- 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 5.8) 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.

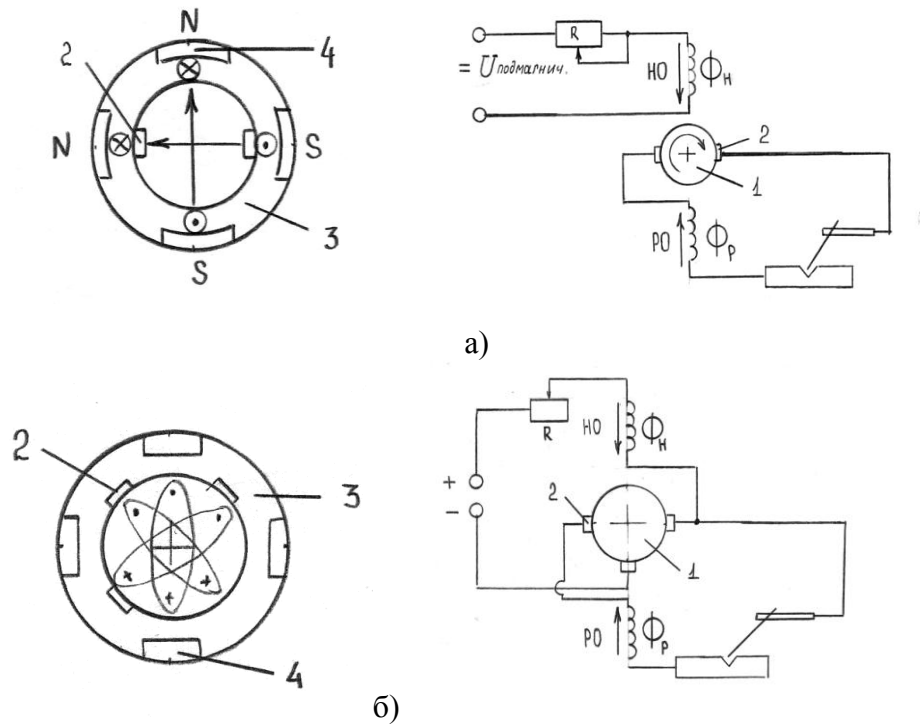


Рисунок 5.8 – Принципиальные схемы сварочных генераторов:

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 5.9) 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 5.10. 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.

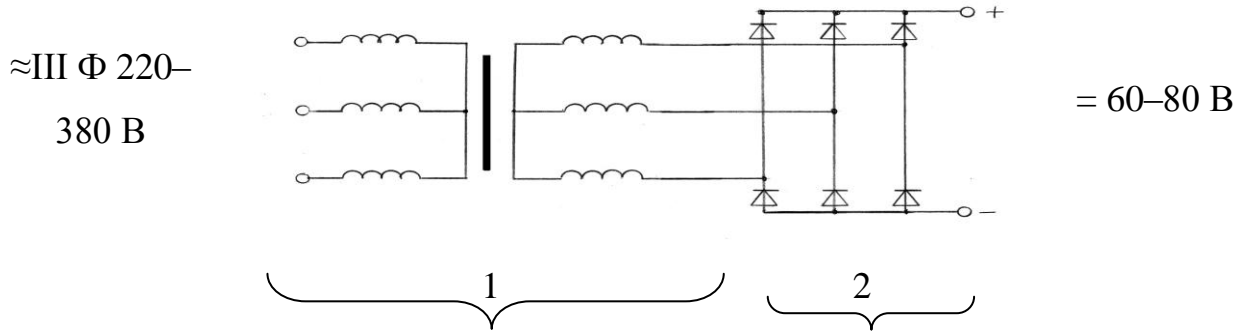


Рисунок 5.9 – Принципиальная схема сварочного выпрямителя ВСС – 300 – 3:  
 1 – понижающий трехфазный трансформатор, 2 – селеновые выпрямители

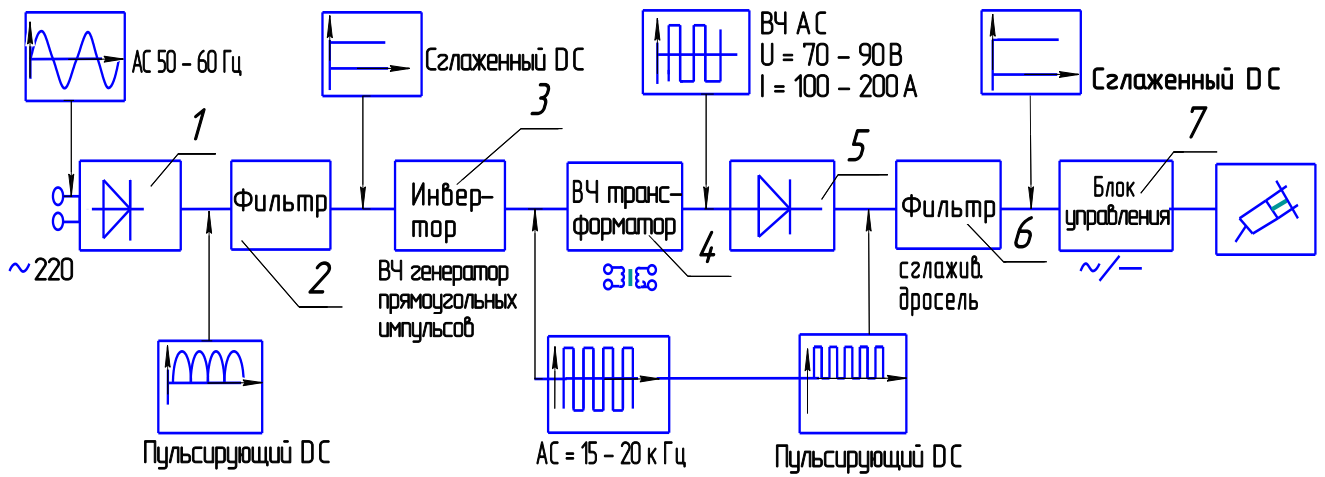


Рисунок 5.10 – Принципиальная схема сварочного инвертора:  
 1 – диодный выпрямитель, 2 – фильтр, 3 – инвертор, 4 – высокочастотный трансформатор,  
 5 – диодный выпрямитель, 6 – сглаживающий дросель, 7 – блок управления

Технические характеристики различных источников питания сварочной дуги приведены в таблицах 5.1, 5.2, 5.3, 5.4.

Таблица 5.1 – 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 5.2 – 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 колесах	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 5.3 – Типы сварочных выпрямителей с падающими внешними параметрами и их технические характеристики

Параметр	ВСС–	ВСС–	ВКС–	ВКС–	ВКС–	ВД–	ВД–	ВД–
	120–4	300–3	120	300	500	101	306	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 5.4 – 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

## 5.5 Порядок и методика изготовления сварного соединения

5.5.1 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.

5.5.2 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 5.2, а силу сварочного тока  $I_{св}$ , А – по формуле 5.3.

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

5.5.3 Включить и настроить на оптимальный режим работы сварочный трансформатор.

5.5.4 Изготовить заданное сварное соединение под руководством учебного мастера.

5.5.5 Оценить визуально качество сварного шва.

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

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

5.5.8 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  $1,2 I_{св}$ ).

5.5.9 Результаты полученных измерений занести в таблицу 5.5

Таблица 5.5 – 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				

5.5.10 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.)

5.5.11 Определить коэффициент добротности сварочного аппарата.

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

$$D_{\text{св.ап}} = \frac{I_{\text{кз}}}{I_{\text{св}}}, \quad (5.6)$$

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.

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

## 5.6 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.

## 5.7 Контрольные вопросы

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

5.7.2 Физическая сущность процесса сварки электрической дугой.

5.7.3 Основные виды дуговой сварки.

5.7.4 Требования к источникам питания сварочной дуги.

5.7.5 Как выбрать оптимальные параметры режима дуговой сварки?

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

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

## **6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ МЕТАЛЛОВ**

(Лабораторная работа)

### 6.1 Цель работы

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

### 6.2 Задание

6.2.1 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.

6.2.2 Ознакомится с правилами техники безопасности при выполнении данной работы.

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

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

6.2.5 Составить отчет.

### 6.3 Оборудование рабочего места

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

### 6.4 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 6.1. 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.

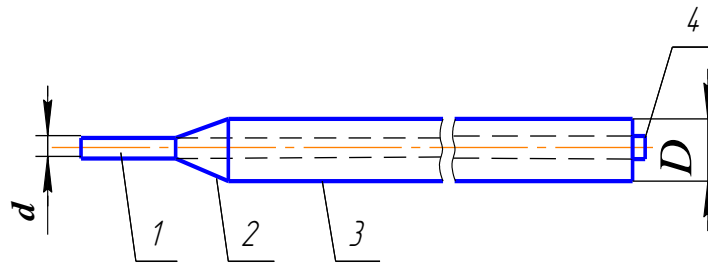


Рисунок 6.1 – Общий вид электрода:

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.

## 6.5 Порядок и методика определения технологических коэффициентов

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

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

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

$$\Pi = 0,5(D - d), \quad (6.1)$$

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

$d$  – диаметр электродного стержня, мм.

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

$$G_{\text{ст.}} = \pi \frac{d^2}{4 \cdot 1000} l \rho, \quad (6.2)$$

где  $d$  – диаметр стержня, мм;

$l$  – длина электрода, мм;

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

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

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

Таблица 6.1 – 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

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

6.5.8 Определить силу сварочного тока  $I_{\text{св}}$ , А по формуле 6.3.

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

6.5.9 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.

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

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

$$V = \frac{L}{t_0}, \quad (6.4)$$

где  $L$  – длина сварного шва, м;

$t_0$  – время горения дуги, ч.

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

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

$$G_n = G_d - G_3, \quad (6.5)$$

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

$G_3$  – масса заготовки, г.

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

$$G_p = G_{\text{ст}} - G_0, \quad (6.6)$$

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

$G_0$  – масса огарка, г.

Таблица 6.2 – 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	$W_{уд}, \frac{кВт\cdotч}{кг}$		$\frac{W}{G_H}$

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.

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

$$G_{угар, разб.} = \frac{G_p - G_H}{G_H} 100, \quad (6.7)$$

где  $G_p$  – масса расплавленного металла, г;

$G_H$  – масса наплавленного металла, г.

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

$$K_p = \frac{G_p}{J_{св} t_0}, \quad (6.8)$$

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

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

$$K_H = \frac{G_H}{I_{св} \cdot t_0}, \quad (6.9)$$

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

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

$$K_{пз} = \frac{G_p - G_H}{G_H} 100, \quad (6.10)$$

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

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

$$W = \frac{U_d I_{св} t_0}{1000 \eta}, \quad (6.11)$$

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

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

$$W_{уд} = \frac{W}{G_H}, \quad (6.12)$$

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.

6.5.21 Результаты выполненных замеров и расчетов занести в таблицу 6.2. Если в процессе лабораторной работы исследуется 2–3 электрода, то по каждому из них проводятся аналогичные исследования и результаты заносятся в таблицу 6.2.

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

## 6.6 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.

## 6.7 Вопросы для контроля

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

6.7.2 Дать определение технологическим коэффициентам электродов:

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

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

6.7.4 Назовите параметры режима дуговой сварки.

6.7.5 Что такое удельный расход электроэнергии?

## **7 ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОВОЙ СВАРКИ И КИСЛОРОДНОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ**

(Практическое занятие)

### 7.1 Цель работы

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

### 7.2 Задание

7.2.1 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.

7.2.2 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.).

7.2.3 Ознакомиться с правилами техники безопасности при выполнении данной работы.

7.2.4 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.

7.2.5 Составить отчет по работе.

### 7.3 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.

### 7.4 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 ту-

гоплавких 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 7.1).

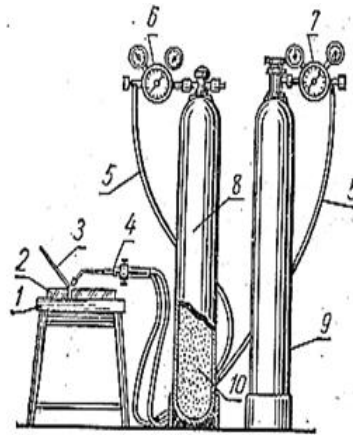


Рисунок 7.1 – Пост газовой сварки:

- 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 крючков. 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 грузочная 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.

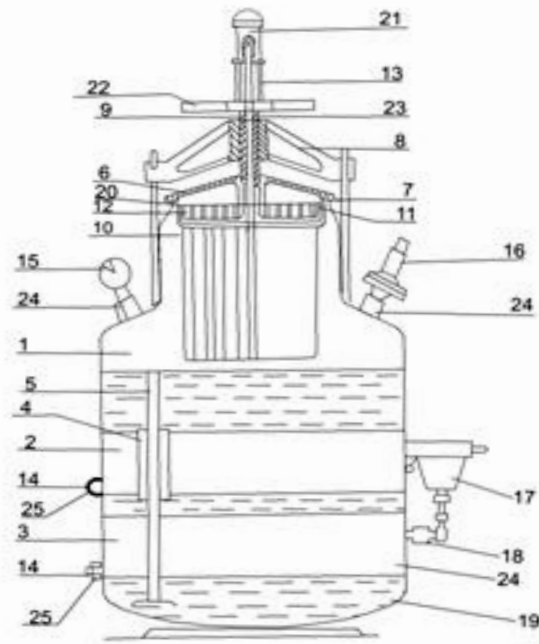


Рисунок 7.2 – Принципиальная схема ацетиленового генератора АСП-10.

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 -  
 штук, 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 штук 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 7.3) 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».

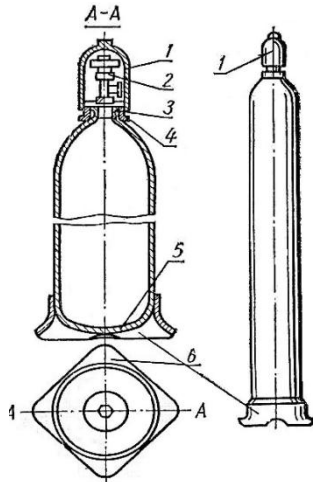


Рисунок 7.3 – Кислородный баллон:  
1 – колпак; 2 – вентиль; 3 – горловина; 4 – кольцо;  
5 – днище; 6 – башмак

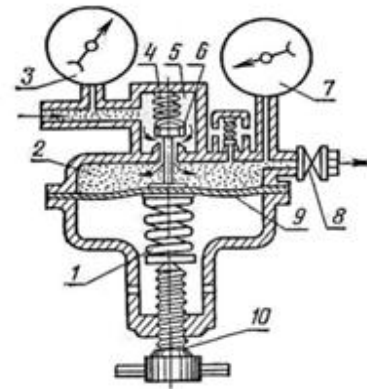


Рисунок 7.4 – Принципиальная схема  
кислородного редуктора:  
1, 4 – пружины; 2 – камера низкого давления; 3 – манометр  
высокого давления; 6 – клапан; 5 – камера высокого давлени-  
я; 7 – манометр низкого давления;  
9 – мембрана; 8 – кран; 10 – винт

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 7.4). 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 7.5) 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.

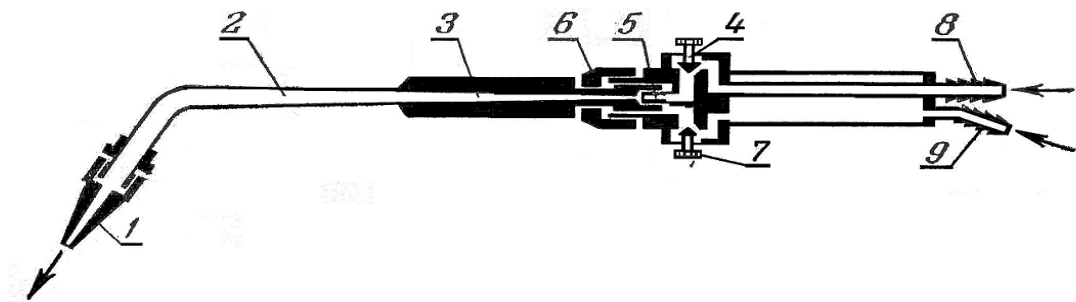


Рисунок 7.5 – Схема газовой горелки.

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 7.6). 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.

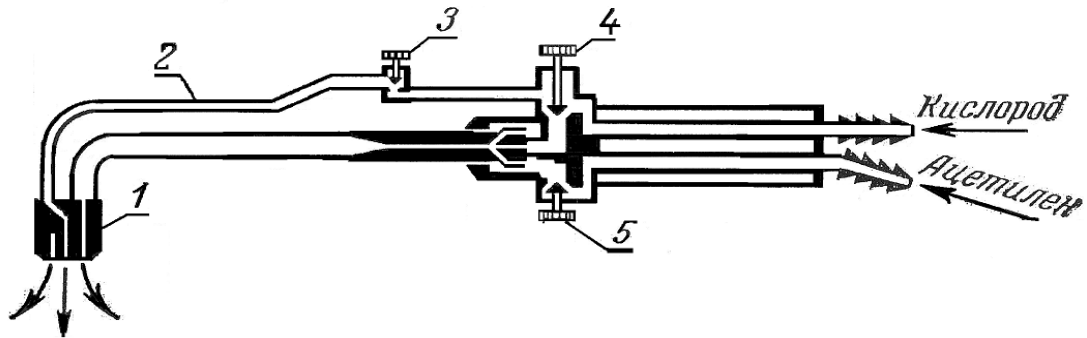


Рисунок 7.6 – Схема устройства ручного резака инжекторного типа:  
1 – головка резака, 2 – трубка; 3, 4, 5 – вентили.

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 7.7). 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.

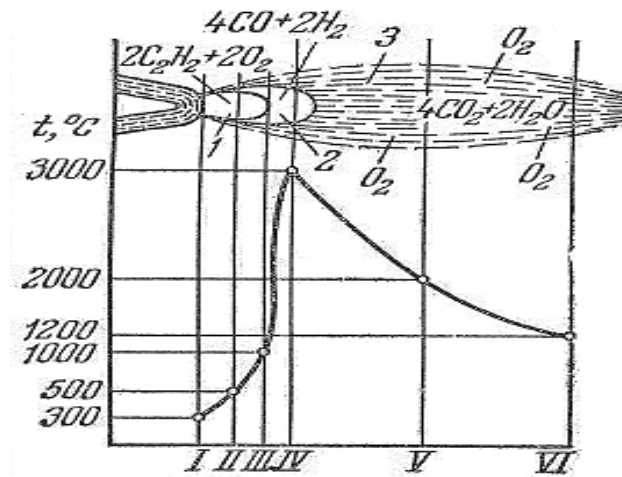


Рисунок 7.7 – Сварочное пламя:

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 7.8). 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.

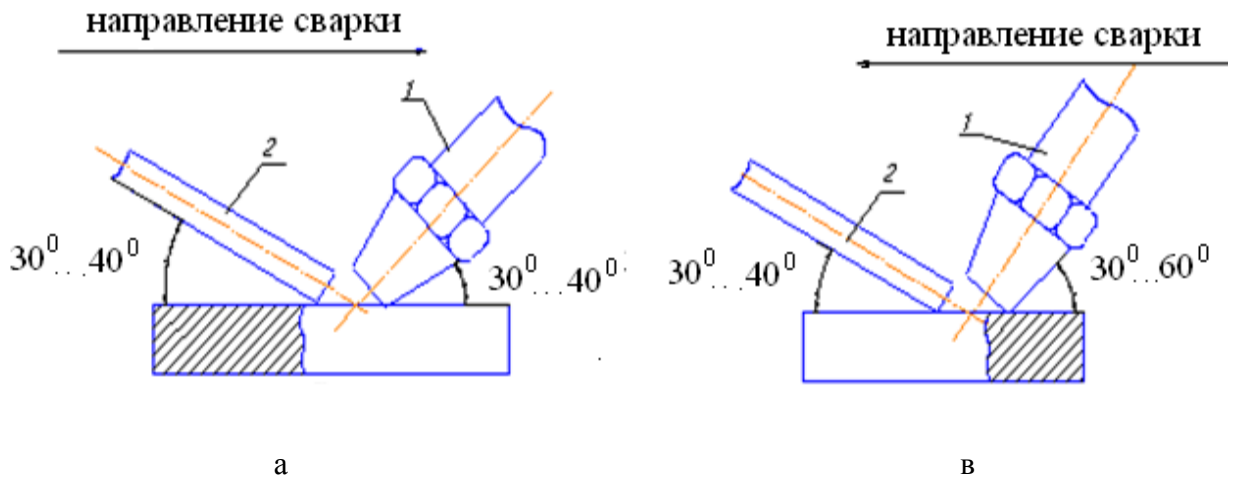


Рисунок 7.8 – Способы газовой сварки металла и углы наклона горелки и присадочного прутка:  
а – правый способ; б – левый способ; 1 - присадочный пруток; 2 – горелка

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:

$$M_r = As, \quad (7.1)$$

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 7.1).

Таблица 7.1 – 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:

$$t = ks, \quad (7.2)$$

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.

## 7.5 Порядок и методика выполнения работы

7.5.1 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.

7.5.2 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 7.1:

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

По справочной таблице 7.2 выбирается горелка ГС-3 с наконечником №5 (в зависимости от толщины свариваемого металла).

Таблица 7.2 – 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 7.2

$$7 \text{ мм} - 660 \text{ л/ч,}$$

$$8 \text{ мм} - M_r \text{ л/ч,}$$

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

Расход кислорода определяется методом интерполяции данных справочной таблице 7.2. 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 7.3 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 7.3 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 7.3 –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 7. 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

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

7.5.4 Выполнить кислородную резку металла из малоуглеродистой стали.

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

7.5.6 Составить отчет.

## 7.6 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.

## 7.7 Контрольные вопросы

- 7.7.1 Объясните сущность процесса газовой сварки и область ее применения.
- 7.7.2 Какие горючие газы применяются при газосварке? Их краткая характеристика.
- 7.7.3 Зачем применяют кислород, флюсы, присадочный материал?
- 7.7.4 В чем различие горелок инжекторной и безинжекторной? Их достоинства и недостатки. Зачем нужны различные наконечники?
- 7.7.5 Объясните по схеме принцип работы ацетиленового генератора.
- 7.7.6 Объясните по схеме принцип работы редуктора.
- 7.7.7 Объясните по схеме принцип работы водяного затвора.
- 7.7.8 В чем сущность кислородной резки металла? При соблюдении, каких условий возможна кислородная резка металла?
- 7.7.9 Объясните по схеме принцип работы резака. Зачем нужны сменные мундштуки?
- 7.7.10 Какие правила техники безопасности следует строго соблюдать при выполнении газосварочных работ?

## 8 КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ШВОВ

(Практическое занятие)

### 8.1 Цель работы

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

### 8.2 Задание

8.2.1 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.

8.2.2 Ознакомиться с правилами техники безопасности при выполнении данной работы.

8.2.3 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.

8.2.4 Составить отчёт.

### 8.3 Оборудование рабочего места

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

### 8.4 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 надёжности 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 8.1, 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.

## 8.5 Порядок и методика выполнения работы

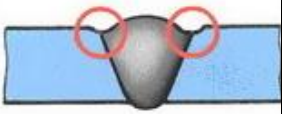
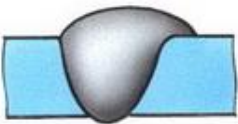

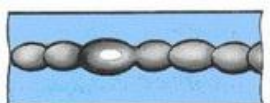

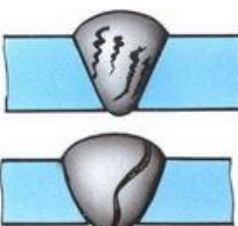

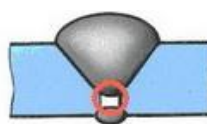
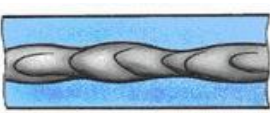
8.5.1 Получить у преподавателя или у учебного мастера опытное сварное соединение.

8.5.2 Внешним осмотром с помощью справочной таблицы 15.1 определить тип сварного соединения и виды дефектов (подрезы, наплавы, непровары, прожоги, трещины, кратеры, газовые поры, шлаковые включения, раковины и др.).

8.5.3 Описать выявленные дефекты, дать их схемы, указать причины образования и способы предупреждения и устранения. Результаты исследования сварного соединения занести в таблицу 8.2 и дать заключение.

8.5.4 Составить отчет.

Таблица 8.1 – 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. Наплавить 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 8.1 – Основные виды дефектов при сварке

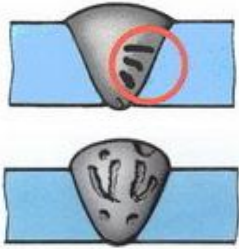
Вид дефекта	Описание дефекта	Схема дефекта	Причины образования дефекта	Способы предупреждения или устранения дефекта
Газовые поры, шлаковые включения, раковины		Пустоты мелкие и неметаллические включения по всему сечению шва. Пустоты единичные.	Металл пересыщен газами. Наличие влаги, ржавчины. Плохая 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 8.2 – Результаты исследований качества сварного соединения

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

## 8.6 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.

## 8.7 Вопросы для контроля

8.7.1 Какие факторы влияют на качество сварки?

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

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

8.7.4 Что входит в понятие «Контроль качества сварки»?

8.7.5 Каково назначение предварительного, текущего и окончательного этапов контроля?

8.7.6 Назовите методы окончательного контроля качества сварных швов?



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

8.7.8 Показатели качества сварных соединений, определяемые механическими испытаниями.

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

8.7.10 Основные методы и приборы для контроля качества сварных соединений.

## 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 и практическим работам

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

Подписано в печать \_\_\_\_\_ Формат \_\_\_\_\_  
Усл. печ.л. – 8,8. Уч. изд. л. – 5,2  
Тираж \_\_\_ экз. Заказ № \_\_\_\_\_

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