



Кафедра технологии металлов
и ремонта машин

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

к практическим, лабораторным занятиям
и самостоятельной работе

Издание третье, исправленное и дополненное

Направления 35.03.06 Агроинженерия
подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
бакалавров: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
23.03.02 Наземные транспортно-технологические
комплексы
23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических
машин и комплексов

Уфа
Башкирский ГАУ
2019

УДК 378.148:669.015.8
ББК 74.58+34.2
М 34

Авторы:

М.Н. Фархшатов, Р.Н. Сайфуллин, Л.Ф. Исламов

Рецензент:

д.т.н., профессор кафедры механики и инженерной графики
ФГБОУ ВО «Башкирский ГАУ» *М.З. Нафиков*

М 34 Материаловедение. Технология конструкционных материалов
[Текст]: учебное пособие к практическим, лабораторным занятиям и
самостоятельной работе / М. Н. Фархшатов, Р. Н. Сайфуллин, Л.Ф. Исламов. –
Уфа : Изд-во БашГАУ, 2019. – 156 с.

В учебном пособии рассмотрены лабораторные работы и практические занятия, а также материал для самостоятельной работы. Приведена справочная информация для их выполнения, даны варианты заданий.

Учебное пособие составлено в соответствии с программой изучения дисциплины «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» для обучающихся по направлениям подготовки бакалавров: 35.03.06 Агроинженерия, 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, 23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы, 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

УДК 378.148:669.015.8
ББК 74.58+34.2

© Фархшатов М.Н., Сайфуллин Р.Н.,
Исламов Л.Ф., 2019

© Башкирский государственный
аграрный университет, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 Лабораторная работа. Измерение твердости металлов по методу Бринелля....	4
2 Лабораторная работа. Измерение твердости металлов по методу Роквелла...	10
3 Лабораторная работа. Микроструктурный анализ углеродистой стали.....	13
4 Лабораторная работа. Микроструктурный анализ чугуна.....	19
5 Практическое занятие. Анализ диаграмм состояния двойных сплавов.....	24
6 Практическое занятие. Анализ диаграммы состояния сплавов «железо-цементит».....	35
7 Лабораторная работа. Анализ свойств деталей машин, обработанных различными видами объемного и поверхностного упрочнения	43
8 Лабораторная работа. Термическая обработка стали.....	50
9 Лабораторная работа. Термическая обработка электротехнических материалов.....	55
10 Лабораторная работа. Изучение микроструктуры и свойств сплавов цветных металлов.....	60
11 Практическое занятие. Изучение микроструктуры и свойств антифрикционных подшипниковых материалов.....	67
12 Практическое занятие. Проводниковые металлы и сплавы.....	75
13 Практическое занятие. Свойства, маркировка и применение магнитных материалов.....	81
14 Практическое занятие. Электроизоляционные материалы.....	89
15 Лабораторная работа. Технологический процесс получения отливки.....	91
16 Лабораторная работа. Технологический процесс изготовления поковки....	107
17 Лабораторная работа. Технологический процесс холодной листовой штамповки.....	113
18 Практическое занятие. Разработка технологического процесса ручной электродуговой сварки.....	117
19 Лабораторная работа. Механизация и автоматизация процессов дуговой сварки.....	129
20 Практическое занятие. Изучение оборудования и технологии газовой сварки.....	136
21 Лабораторная работа. Контроль элементов сварного шва универсальным шаблоном сварщика.....	144
22 Лабораторная работа. Технология электроконтактной сварки.....	148
23 Лабораторная работа. Обработка заготовок и деталей с применением электроконтактного нагрева.....	154

Лабораторная работа № 1

ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ ПО МЕТОДУ БРИНЕЛЛЯ

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- 1.1 Ознакомиться с устройством автоматического рычажного пресса для определения твердости по методу Бринелля.
- 1.2 Овладеть методикой измерения твердости по методу Бринелля
- 1.3 Установить влияние содержания углерода на твердость отожженной углеродистой стали.

2 ЗАДАНИЕ

- 2.1 Ознакомиться с методом измерения твердости металлов по Бринеллю и устройством твердомера типа ТШ.
- 2.2 Произвести измерение твердости образцов или деталей (по указанию преподавателя).
- 2.3 Результаты измерений занести в тетрадь, сделать анализ полученных данных.

3 ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ И ИНСТРУМЕНТ

1. Твердомер типа ТШ.
2. Образцы из стали с разным содержанием углерода в отожженном или горячекатаном состоянии и детали машин в незакаленном состоянии.
3. Лупа для измерения диаметра отпечатка.

4 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Твердость – это свойство материала сопротивляться деформации при местном контактом воздействии на него, более твердого тела.

Твердость является одним из главных механических свойств металлов и сплавов и связана с другими механическими (прочностью, пластичностью, вязкостью), технологическими (штампуемостью, обрабатываемостью резанием) и эксплуатационными (износостойкостью, упругостью) свойствами.

Для пластичных материалов (черные и цветные металлы и их сплавы, пластмассы, композиты и т.д.) используются стандартные методы определения твердости: Бринелля, Виккерса, Роквелла, Шора. Для хрупких материалов (керамика горные породы, стекло и т.д.) получили распространения методы, предложенные Шрейнером, Бароном.

5 ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

Метод Бринелля основан на том, что в испытуемый материал под нагрузкой вдавливают стальной закаленный шарик и по величине (диаметру) полученного отпечатка (лунки) судят о его твердости (рисунок 1.1). Измерение твердости производят на твердомере Бринелля (твердомер типа ТШ – твердомер шариковый).

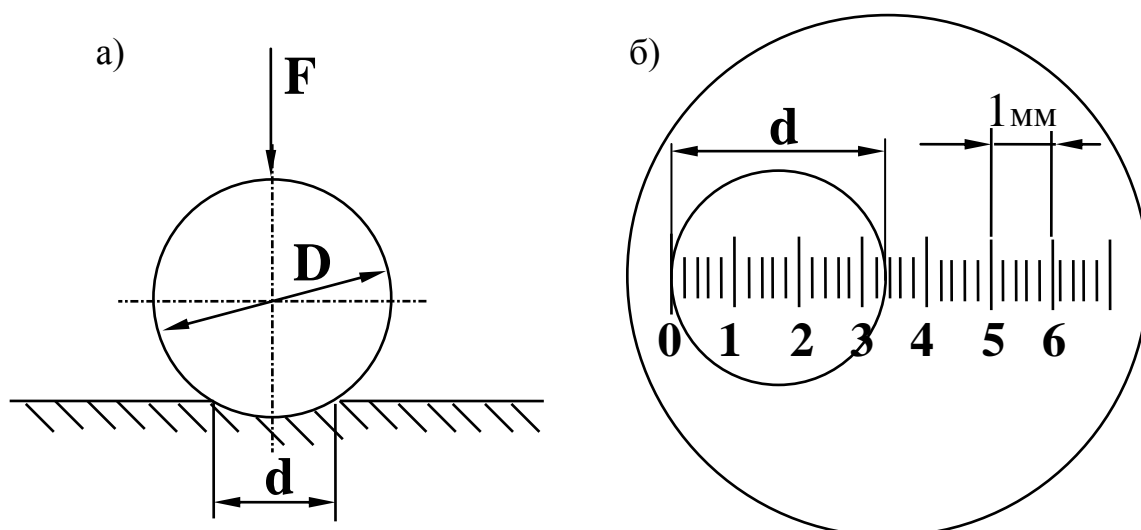


Рисунок 1.1 Схема измерения твердости по методу Бринелля

а) – схема вдавливания шарика в испытуемый металл: F – нагрузка, D – диаметр шарика, d – диаметр отпечатка;

б) – результат измерения лупой диаметра отпечатка (на рисунке $d=3,2$ мм).

Число твердости по Бринеллю HB выражается отношением приложенной нагрузки F к площади S сферической поверхности отпечатка (лунки) на измеряемой поверхности.

$$HB = \frac{F}{S} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad [МПа]$$

где F – нагрузка, Н; S – площадь сферической поверхности отпечатка, $мм^2$ (выражена через D и d); D – диаметр шарика, мм; d – диаметр отпечатка, мм

Величину нагрузки F , диаметр шарика D и продолжительность выдержки под нагрузкой τ , выбирают по таблице 1.1.

По вышеприведенной формуле, используя измеренный диаметр отпечатка, вычисляется число твердости HB . Число твердости в зависимости от диаметра полученного отпечатка можно также найти по таблицам.

При измерении твердости шариком диаметром $D=10,0$ мм под нагрузкой $F=29430$ Н (3000 кгс), с выдержкой под нагрузкой $\tau=10$ с – число твердости записывается так: $HB\ 2335$ или по старому обозначению $HB\ 238$ (в кгс/мм²). При других условиях измерения числа твердости дополняются числовыми индексами, например, $HB5/750/30-1835$, что означает: диаметр шарика 5,0 мм; нагрузка 7355 Н (750 кгс); выдержка под нагрузкой 30 с, число твердости по Бринеллю 1835 (187).

При измерении твердости по Бринеллю необходимо помнить следующее:

1) можно испытывать материалы с твердостью не более HB 4500, так как при большей твердости образца происходит недопустимая деформация самого шарика;

2) во избежание продавливания минимальная толщина образца должна быть не менее десятикратной глубины отпечатка;

3) расстояние между центрами двух соседних отпечатков должно быть не менее четырех диаметров отпечатка;

4) расстояние от центра отпечатка до боковой поверхности образца должно быть не менее $2,5d$;

5) измерение твердости одного и того же образца при использовании шариков разного диаметра необходимо производить при постоянном отношении F/D^2 , что обеспечивает выполнение условия подобия отпечатков, а диаметр отпечатка должен находиться в пределах $0,2D < d < 0,6D$. В противном случае результаты испытаний будут недействительны.

Таблица 1.1 Выбор диаметра шарика, нагрузки и выдержки под нагрузкой в зависимости от твердости и толщины образца

Материал	Интервал твердости в единицах Бринелля, МПа	Толщина испытываемого образца, мм	Диаметр шарика D, мм	Нагрузка F, Н (кгс)	Выдержка под нагрузкой τ , с
Черные металлы	1400...4500	более 6 6...3 менее 3	10 5 2,5	29430 (3000) 7355 (750) 1840 (187,5)	10
	менее 1400	более 6 6...3 менее 3	10 5 2,5	9800 (1000) 2450 (250) 613 (62,5)	
Цветные металлы и сплавы (медь, латунь, бронза, магниевые сплавы и др.)	350...1300	более 6 6...3 менее 3	10 5 2,5	9800 (1000) 2450 (250) 613 (62,5)	30
Цветные металлы и сплавы (алюминий, подшипниковые сплавы и др.)	80...350	более 6 6...3 менее 3	10 5 2,5	2450 (250) 613 (62,5) 153,2 (15,6)	60
Пластмассы	-	более 6 6...3 менее 3	10 5 2,5	2450 (250) 613 (62,5) 153,2 (15,6)	60

На рисунке 1.2 приведена схема рычажного прибора Бринелля. Образец устанавливают на предметный столик 4. Вращая маховик 3, винтом 2 поднимают образец до соприкосновения его с шариком 5 и далее до полного сжатия пружины 7, надетой на шпindel 6. Пружина создает предварительную нагрузку на шарик, равную 1 кН (100 кгс), что обеспечивает устойчивое положение образца во время нагружения. После этого включают электродвигатель 13 и через червячную передачу редуктора 12, шатун 11 и систему рычагов 8, 9, расположенных в корпусе 1 твердомера с грузами 10 создают заданную полную нагрузку на шарик. На испытуемом образце получается шаровой отпечаток. После разгрузки прибора образец снимают и определяют диаметр отпечатка специальной лупой. За расчетный диаметр отпечатка принимают среднее арифметическое значение измерений в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

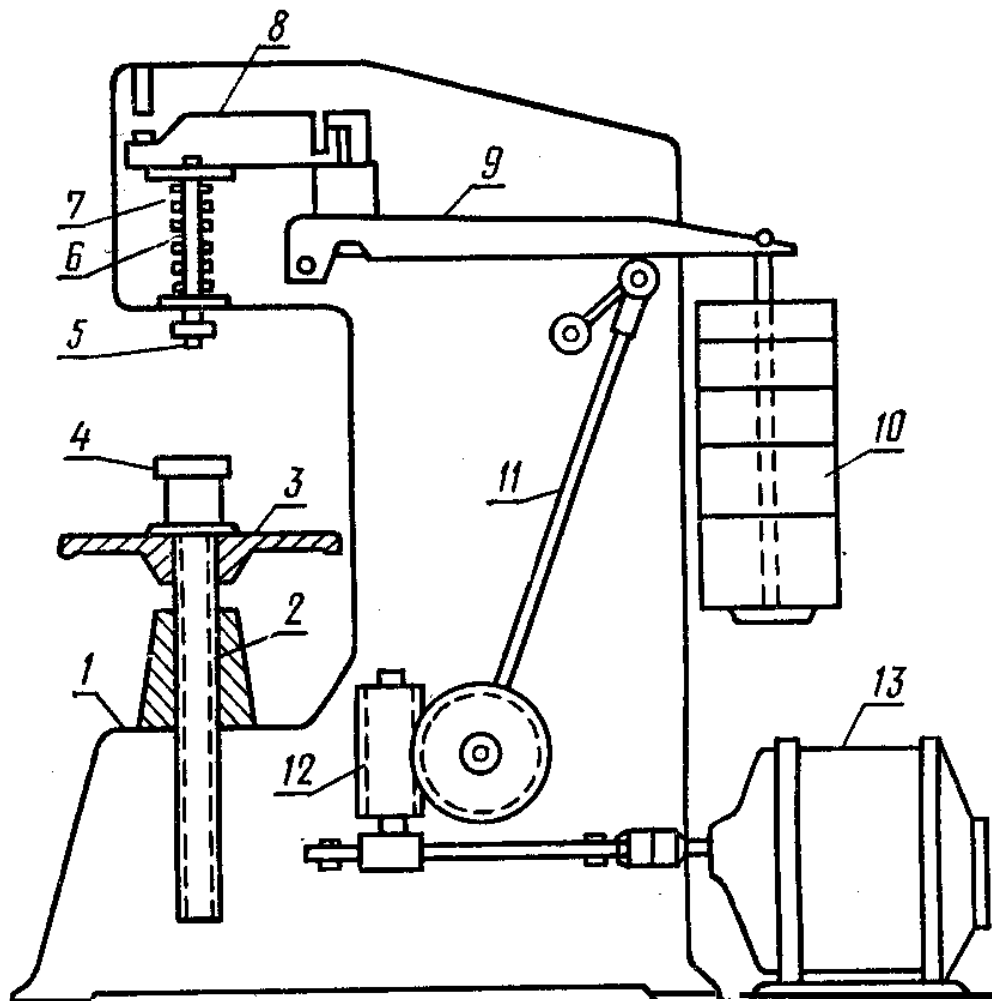


Рисунок 1.2 Схема прибора Бринелля

1 – корпус; 2 – винт; 3 – маховик; 4 – предметный столик; 5 – шарик; 6 – шпindel; 7 – пружина; 8, 9 – рычаги; 10 – грузы; 11 – шатун; 12 – редуктор; 13 – электродвигатель

Для измерения твердости крупногабаритных деталей используют переносные твердомеры ТШП-1 и ТШП-2. На них определяют твердость как наружных, так и внутренних поверхностей деталей.

Для различных металлов и сплавов между твердостью по Бринеллю (НВ) и пределом прочности при растяжении (σ_B) существуют следующие эмпирические зависимости (таблица 1.2).

Таблица 1.2 Зависимость σ_B от НВ

Материал		σ_B
Сталь с твердостью	НВ1250...1750	$0,34 \times \text{НВ}$
	НВ1750...4500	$0,35 \times \text{НВ}$
Медь, латунь, бронза	отожженные	$0,55 \times \text{НВ}$
	наклепанные	$0,40 \times \text{НВ}$
Серый чугун		$(\text{НВ} - 400/60)$
Дюралюминий	отожженный	$0,36 \times \text{НВ}$
	после закалки и старения	$0,35 \times \text{НВ}$
Алюминиевое литьё		$0,26 \times \text{НВ}$
Цинковые сплавы		$0,09 \times \text{НВ}$

Твердость углеродистых незакаленных сталей прямо пропорциональна содержанию углерода в них. На рисунке 1.3, показана зависимость твердости углеродистой стали в отожженном состоянии от содержания углерода. Используя этот график, можно по измеренному числу твердости определить примерное содержание углерода в испытуемом образце стали.

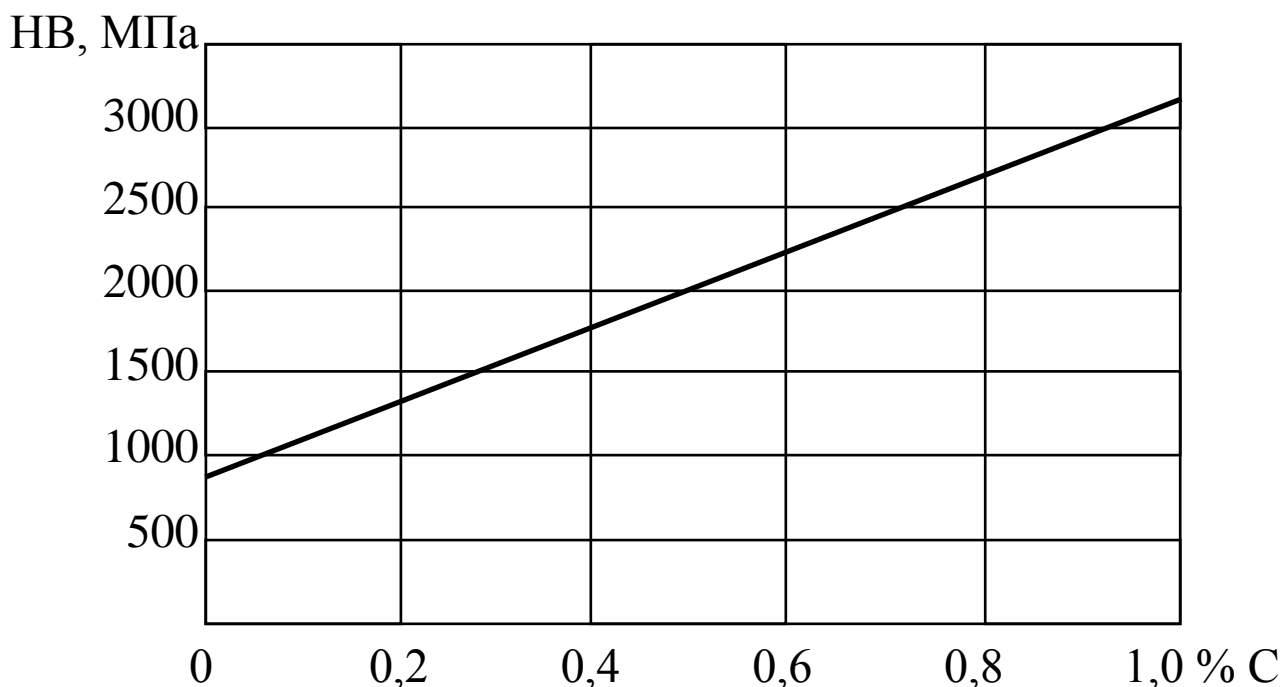


Рисунок 1.3 Зависимость твердости отожженной стали от содержания углерода.

6 ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ НА ТВЕРДОМЕРЕ БРИНЕЛЛЯ

6.1 Установить на подвеску грузы, соответствующие выбранной нагрузке.

6.2 Установить наконечник с шариком требуемого диаметра.

6.3 Поместить на столик прибора испытуемый образец так, чтобы центр получившегося отпечатка находился от края образца на расстоянии не менее двух диаметров шарика.

6.4 Вращением маховика поднять столик до упора.

6.5 Нажатием кнопки включить электродвигатель.

6.6 После снятия нагрузки и остановки электродвигателя опустить столик и снять образец.

6.7 Измерить полученный отпечаток (лунку) с помощью лупы Бринелля.

6.8 По измеренному диаметру отпечатка определить число твердости.

7 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА О РАБОТЕ

7.1 Привести описание сущности метода Бринелля, схему измерения и формулы определения чисел твердости с пояснениями.

7.2 Привести схему прибора Бринелля.

7.3 Указать условия и результаты измерения твердости и занести их в таблицу 1.3.

7.4 Построить график (см. рисунок 1.3) и определить с его помощью содержание углерода в образцах из отожженной стали, заполнить таблицу 1.4.

Таблица 1.3 Результаты измерения твердости

Материал образца	Толщина образца, мм	Диаметр шарика D, мм	Нагрузка F, Н	Диаметр отпечатка d, мм	Твердость НВ, МПа

Таблица 1.4 Свойства стали

Твердость НВ, МПа	Содержание углерода, %	Предполагаемая марка стали	Примерная прочность, $\sigma_{\text{в}}$, МПа

Лабораторная работа № 2

ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ ПО МЕТОДУ РОКВЕЛЛА**1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

- 1.1 Ознакомиться с устройством твердомера типа ТК.
- 1.2 Овладеть методикой измерения твердости по Роквеллу.

2 ЗАДАНИЕ

- 2.1 Ознакомиться с методом измерения твердости металлов по методу Роквелла и устройством твердомера типа ТК.
- 2.2 Произвести измерение твердости образцов или деталей (по указанию преподавателя).
- 2.3 Результаты измерений занести в тетрадь, сделать анализ полученных данных.

3 ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ И ИНСТРУМЕНТ

- 3.1 Твердомер типа ТК.
- 3.2 Образцы закаленной и незакаленной стали, детали машин, инструменты.

4 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Метод Роквелла основан на том, что в испытуемый металл вдавливаются алмазный конус (или стальной закаленный шарик диаметром 1,59 мм) и по глубине отпечатка судят о твердости (рисунок 2.1).

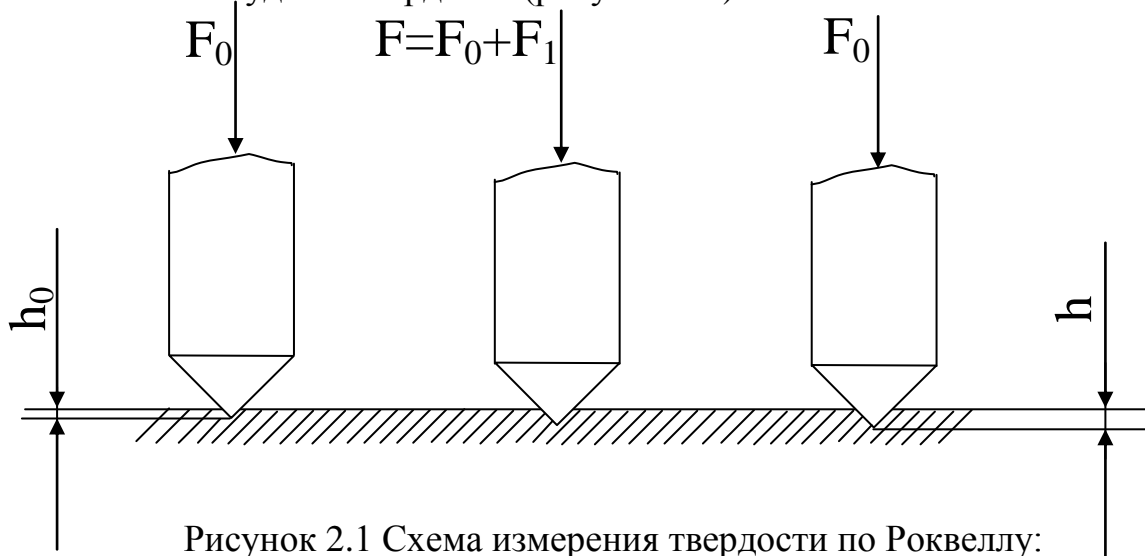


Рисунок 2.1 Схема измерения твердости по Роквеллу:

F_0 —предварительная нагрузка (100 Н); F —общая нагрузка; F_1 —основная нагрузка

Число твердости по Роквеллу HR измеряется в условных безразмерных единицах и определяется по формулам:

$$HRC(HRA) = 100 - \frac{h - h_0}{0,002} \quad \text{— при вдавливании алмазного конуса;}$$

$$HRB = 130 - \frac{h - h_0}{0,002} \quad \text{— при вдавливании стального шарика,}$$

где 100 — число делений черной шкалы $C(A)$;

130 — число делений красной шкалы B циферблата индикатора, измеряющего глубину вдавливания;

h_o – глубина вдавливания алмаза или шарика под действием предварительной нагрузки, мм;

h – глубина вдавливания алмаза или шарика под действием общей нагрузки, мм;

0,002 – цена одного деления шкалы циферблата индикатора (перемещение алмазного конуса при измерении твердости на 0,002 мм соответствует перемещению стрелки индикатора на одно деление), мм.

Вид наконечника и величина нагрузки F выбирается по таблице 2.1, в зависимости от твердости и толщины испытуемого образца.

Число твердости по Роквеллу (HR) является мерой глубины вдавливания индентора и выражается в условных единицах. За единицу твердости принята безразмерная величина, соответствующая осевому перемещению на 0,002 мм.

Число твердости по Роквеллу указывается непосредственно стрелкой на шкале С, А или В индикатора после автоматического снятия основной нагрузки.

Таблица 2.1 Зависимость вида наконечника и нагрузки от твердости испытуемого образца

Пределы измерения твёрдости образцов в единицах Бринелля, HB	Обозначение твёрдости по Роквеллу		Вид наконечника	Общая нагрузка F , Н (кгс)	Минимальная толщина образца, мм	Пределы измерения в единицах Роквелла
	Шкала	Числа твёрдости				
от 500 до 2300 (незакаленные стали, цветные металлы и их сплавы)	В	HRB	Стальной шарик	981 (100)	0,7	25...100 по шкале В
от 2000 до 7000 (закаленные стали)	С	HRC	Алмазный конус	1471 (150)	0,7	20...67 по шкале С
от 4000 до 9000 (детали подвергшиеся цементации или азотированию, твердые сплавы и др.)	А	HRA	Алмазный конус	588 (60)	0,4	70...85 по шкале А

Между числами твердости, определенными различными методами существует соответствие. Так, например, твердость одного и того же металла, выраженная различными единицами твердости составляет: HB 2070, HRC 18, HRA 60, HRB 95. В связи с изменением эталона измерения твердости по ГОСТ 8.064.79 шкала, по которой определяют твердость HRC, изменена и в измеряемые значения внесена поправка. В соответствии с этой поправкой твердость HRC обозначается HRC_{Σ} , значения которой больше. Так, при HRC 25, значения HRC_{Σ} 27, при HRC 60 значения HRC_{Σ} 61. При этом нет постоянного коэффициента пересчета HRC в HRC_{Σ} и для такого пересчета используют специальные таблицы.

Метод Роквелла отличается простотой и высокой производительностью, обеспечивает сохранение качественной поверхности после испытания,

позволяет испытывать металлы и сплавы, как низкой, так и высокой твердости. Этот метод не рекомендуется применять для сплавов с неоднородной структурой (чугуны серые, ковкие и высокопрочные, антифрикционные подшипниковые сплавы и др.).

5 ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ ПО РОКВЕЛЛУ

5.1 Установить требуемый наконечник (алмазный конус или стальной шарик) и соответствующую нагрузку, руководствуясь таблицей 2.1.

5.2 Поместить на столик прибора испытуемый образец.

5.3 Вращением рукоятки осторожно поднимать столик с образцом до тех пор, пока малая стрелка на шкале индикатора не установится против нанесенной на циферблате точки (большая стрелка при этом должна остановиться на нулевом делении черной шкалы с погрешностью не более ± 5 делений).

5.4 Перемещением рифленого полукольца совместить нулевую отметку черной шкалы с большой стрелкой.

5.5 Плавным нажатием на клавишу включить привод механизма нагружения.

5.6 После окончания цикла нагружения и снятия основной нагрузки произвести отсчет делений по шкале индикатора (черной или красной, в зависимости от наконечника и нагрузки), по показанию большой стрелки и записать полученный результат.

5.7 Вращением маховика против часовой стрелки опустить столик.

5.8 Дважды повторить измерения, передвигая образец после каждого измерения.

6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

6.1 Привести описание сущности метода Роквелла, схему измерения и формулы для вычисления чисел твердости с пояснениями.

6.2 Указать условия и результаты измерения твердости, заполнить таблицу 2.2.

6.3 Сравнить твердость различных образцов (деталей), построить (при необходимости) графические зависимости (например, изменение твердости по глубине закаленной детали), провести анализ результатов и сделать вывод.

6.4 Сравнить величины чисел твердости, определенной различными методами и заполнить таблицу 2.3.

Таблица 2.2 Условия и результаты измерения твердости

Номер измерения	Толщина образца (диаметр), мм	Тип индентора (наконечника)	Усилие, Н		Твердость по Роквеллу, HR
			предварительное F_0	основное, F_1	

Таблица 2.3 Результаты измерения твердости деталей машин

Материал (изделие)	Термо-обработка	HRC Измеренная величина	Перевод в другие единицы твердости		
			HRA	HRB	HB

Лабораторная работа № 3

МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ**1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Получить навыки в проведении микроанализа структур углеродистых сталей, определении по ним типа сплава, содержания углерода, примерной марки стали.

2 ЗАДАНИЕ

2.1 Изучить микроструктуру доэвтектоидных, эвтектоидных и заэвтектоидных сталей.

2.2 Зарисовать схемы микроструктур.

2.3 Определить по микроструктуре примерное содержание углерода в доэвтектоидной стали.

2.4 Установить значение механических свойств сталей.

3 ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ И ИНСТРУМЕНТ

1 Металлографические микроскопы МИМ-7.

2 Комплект микрошлифов углеродистых сталей.

3 Плакаты с изображением микроструктур углеродистых сталей.

4 Плакат «Диаграмма железо-цементит».

4 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Сплавы железа с углеродом, содержащие углерода до 0,025%, называют технически чистым железом. Его структура состоит из светлых зёрен феррита, разделённых границами тёмного цвета. Железоуглеродистые сплавы, содержащие углерод от 0,025 до 2,14%, называются сталями.

Микроструктура углеродистых сталей, полученная после медленного охлаждения (отжига), характеризуется равновесным состоянием, т.е. состоянием, при котором все диффузионные процессы в сплаве полностью завершены. Эта микроструктура может быть определена по левой нижней части диаграммы состояния «железо-цементит» (рисунок 3.1).

По структуре в равновесном (отожженном) состоянии в зависимости от содержания углерода стали делятся на доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные.

Доэвтектоидные стали содержат от 0,025 до 0,8% углерода и имеют структуру, состоящую из феррита (светлые зёрна) и перлита (тёмные зёрна). Количество перлита в стали изменяется пропорционально содержанию углерода, (рисунок 3.2).

Эвтектоидная сталь содержит 0,8% углерода. Структура стали, состоит из зёрен перлита (эвтектоида), а зёрна перлита (механическая смесь перлита и цементита) – из чередующихся пластинок феррита и цементита. Такой перлит называется пластинчатым в отличие от зернистого перлита, в котором кристаллики цементита имеют округлую форму (рисунок 3.2).

Заэвтектоидные стали содержат от 0,8 до 2,14% углерода. Структура стали, состоит из зёрен перлита, окружённых сеткой (оболочкой) вторичного цементита, имеющего белый цвет. Ширина цементитной сетки изменяется

пропорционально содержанию углерода. Выделение вторичного цементита по границам зерен перлита нежелательно, так как такая структура обладает повышенной хрупкостью и плохо обрабатывается резанием (рисунок 3.2).

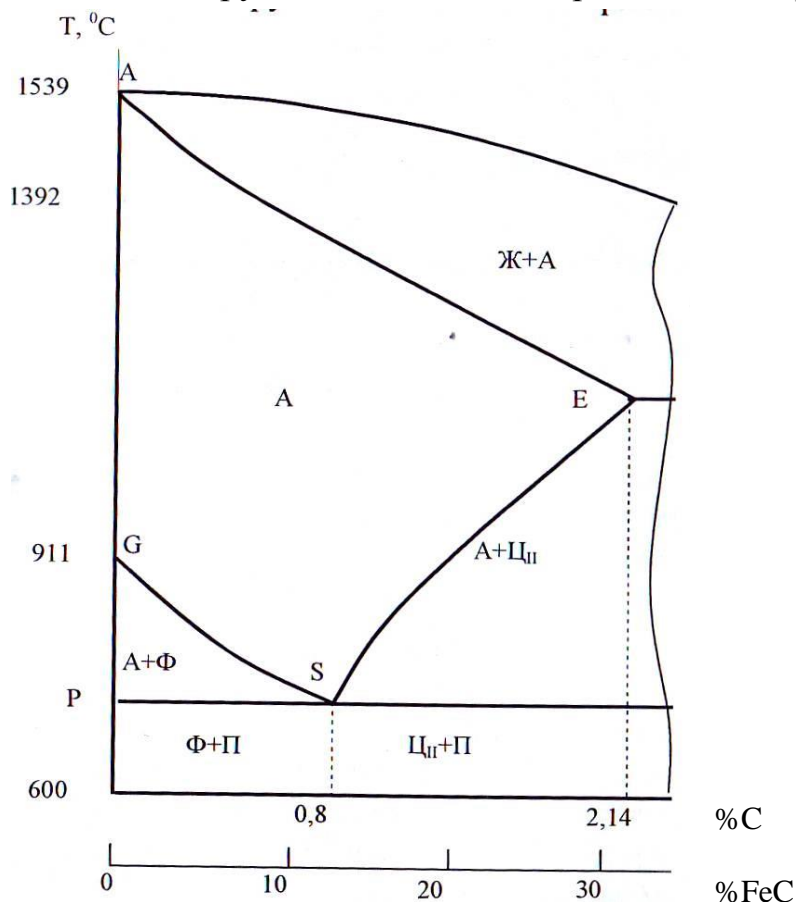


Рисунок 3.1 «Стальной» участок диаграммы состояния сплавов «железо-цементит» («железо-углерод»)

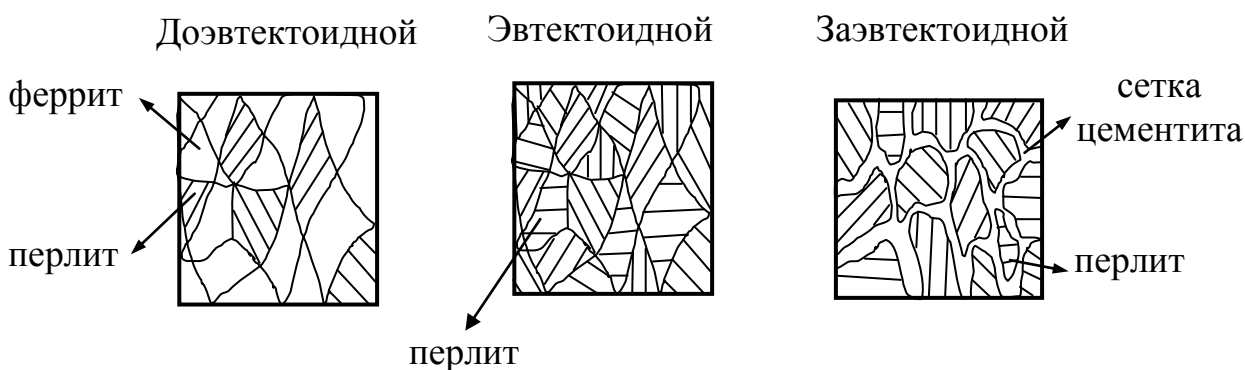


Рисунок 3.2 Схемы микроструктур углеродистых сталей в равновесном состоянии

По структуре стали, находящейся в равновесном состоянии, можно с достаточной, для практических целей точностью определить процентное содержание углерода, а затем установить примерную марку стали. Этот метод основан на определении величины площадей, занимаемых на микрошлифе ферритом, перлитом и цементитом с последующим расчетом процентного содержания углерода. Принимают содержание углерода в феррите равным нулю, в 100% перлита – 0,8%, а в 100% цементита – 6,67%.

Например, пусть в доэвтектоидной стали перлит занимает примерно 30% всей площади микрошлифа, а феррит – 70% (рисунок 3.2). Тогда содержание углерода в стали можно определить из пропорции:

$$\begin{array}{l} 100\% \text{ перлита} - 0,8 \% \text{ C,} \\ 30\% \text{ перлита} - x \% \text{ C.} \end{array} \quad x = \frac{30 \times 0,8}{100} = 0,24\% \text{ C}$$

Такое содержание углерода в среднем имеет углеродистая конструкционная, качественная сталь марки 25 (ГОСТ 1050-88). Марки углеродистой конструкционной и инструментальной стали и их химический состав приводятся в таблице 3.1 и 3.2. Определение содержания углерода по структуре заэвтектоидной стали приводит к большой погрешности вследствие трудности оценки величины площади, занимаемым вторичным цементитом.

Таблица 3.1 Марки и химический состав углеродистой конструкционной качественной стали по ГОСТ 1050-88.

Марка стали	Содержание элементов, в %			
	Углерод	Кремний	Марганец	Хром, не более
05кп	Не более 0,06	Не более 0,03	Не более 0,40	0,10
08кп	0,05-0,11	Не более 0,03	0,25-0,50	0,10
08пс	0,05-0,11	0,05-0,17	0,35-0,65	0,10
08	0,05-0,11	0,17-0,37	0,35-0,65	0,10
10кп	0,07-0,14	Не более 0,07	0,25-0,50	0,15
10пс	0,07-0,14	0,05-0,17	0,35-0,60	0,15
10	0,07-0,14	0,17-0,37	0,35-0,60	0,15
15кп	0,12-0,19	Не более 0,07	0,25-0,50	0,25
15пс	0,12-0,19	0,05-0,17	0,35-0,60	0,25
15	0,12-0,19	0,17-0,37	0,35-0,60	0,25
20кп	0,17-0,24	Не более 0,07	0,25-0,50	0,25
20пс	0,17-0,24	0,05-0,17	0,35-0,60	0,25
20	0,17-0,24	0,17-0,37	0,35-0,60	0,25
25	0,22-0,30	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25
30	0,27-0,35	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25
35	0,32-0,40	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25
40	0,37-0,45	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25
45	0,42-0,50	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25
50	0,47-0,50	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25
55	0,52-0,60	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25
58(55пп)	0,55-0,63	0,10-0,30	Не более 0,20	0,15
60	0,57-0,65	0,17-0,37	0,50-0,80	0,25

Примечания:

1. В обозначении марки стали цифры означают среднее содержание углерода в сотых долях процента. По степени раскисления сталь обозначают: **кп** – кипящая, **пс** – полуспокойная, **без индекса** – спокойная.

2. В стали всех марок содержание серы допускается не более 0,040%, фосфора – не более 0,035%.

Таблица 3.2 Марки и химический состав углеродистой инструментальной стали по ГОСТ 1435-74.

Марка стали	Содержание элементов, в %				
	Углерод	Кремний	Марганец	Сера	Фосфор
				Не более	
У7	0,65-0,74	0,20-0,40	0,15-0,35	0,030	0,035
У8	0,75-0,84	0,20-0,40	0,15-0,35	0,030	0,035
У8Г	0,80-0,90	0,35-0,60	0,15-0,35	0,030	0,035
У9	0,85-0,94	0,15-0,35	0,15-0,35	0,030	0,035
У10	0,95-1,04	0,15-0,35	0,15-0,35	0,030	0,035
У11	1,05-1,14	0,15-0,35	0,15-0,35	0,030	0,035
У12	1,15-1,24	0,15-0,35	0,15-0,35	0,030	0,035
У13	1,25-1,35	0,15-0,35	0,15-0,35	0,030	0,035
У7А	0,65-0,74	0,15-0,30	0,15-0,35	0,020	0,030
У8А	0,75-0,84	0,15-0,30	0,15-0,35	0,020	0,030
У8ГА	0,80-0,90	0,35-0,60	0,15-0,35	0,020	0,030
У9А	0,85-0,94	0,15-0,30	0,15-0,35	0,020	0,030
У10А	0,95-1,04	0,15-0,30	0,15-0,35	0,020	0,030
У11А	1,05-1,14	0,15-0,30	0,15-0,35	0,020	0,030
У12А	1,15-1,24	0,15-0,30	0,15-0,35	0,020	0,030
У13А	1,25-1,35	0,15-0,30	0,15-0,35	0,020	0,030

Примечания:

1. К группе качественных сталей относятся марки стали без буквы А.

К группе высококачественных сталей, более чистых по содержанию серы и фосфора, а также примесей других элементов - относятся марки стали с буквой А.

2. Буквы и цифры в обозначении марок означают:

У – углеродистая, следующая за ней цифра – среднее содержание углерода в десятых долях процента.

Г – повышенное содержание марганца.

С изменением содержания углерода в сталях изменяется и количественное соотношение различных фаз. С повышением содержания углерода в стали, увеличивается количество цементита и уменьшается

количество феррита. Так, в эвтектоидной стали (0,8% С) содержится 88% феррита и 12% цементита, а в стали с 2,14% С – 68,5% феррита и 31,5% цементита.

Феррит (почти чистое железо) – мягкая и пластичная фаза, имеющая следующие механические свойства: $HV\ 800$; $\sigma_b = 300\text{ МПа}$ ($\approx 30\text{ кгс/мм}^2$), $\delta = 40\%$, $KCU = 2,5\text{ МДж/м}^2$ ($25\text{ кгс}\cdot\text{м/см}^2$).

Цементит (карбид железа Fe_3C), содержащий 6,67% С имеет высокую твёрдость – $HV > 8000$, но очень хрупок (пластичность и вязкость практически равны 0). Поэтому с повышением содержания углерода в стали, вследствие увеличения количества твёрдой фазы в структуре и уменьшения количества мягкой фазы, повышается твёрдость и прочность и снижается пластичность и вязкость.

Однако механические свойства определяются не только количеством различных фаз, но и качественным показателем – характером взаимного расположения фаз и структурных составляющих. Так, снижение прочности стали с повышением содержания углерода более 0,8% объясняется образованием вокруг зёрен перлита (структурная составляющая, имеющая высокую прочность $\sigma_b = 900\ldots 1000\text{ МПа}$), хрупкой сетки (оболочки) вторичного цементита.

Различие в механических и технологических свойствах сталей с различным содержанием углерода определяет их различное назначение (применение) на практике.

5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.1 Настроить металлографический микроскоп на требуемое увеличение (в пределах от 100 до 300 раз), установив соответствующие объектив и окуляр.

5.2 Просмотреть под микроскопом протравленные микрошлифы отожженной углеродистой стали с различным содержанием углерода (2...3 микрошлифа доэвтектоидной стали, микрошлифы эвтектоидной стали и заэвтектоидной).

5.3 Определить структурные составляющие, указать класс стали (доэвтектоидные, эвтектоидные, заэвтектоидные).

5.4 Зарисовать схемы микроструктур.

5.5 По структуре подсчитать содержание углерода.

5.6 Определить механические свойства стали, используя график на рисунке 3.3

6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА О РАБОТЕ

6.1 Привести «стальной» участок диаграммы состояния «железо-цементит» и указать, как влияет увеличение содержание углерода на структуру и механические свойства стали.

6.2 Описать строение и свойства структурных составляющих.

6.3 Зарисовать каждую микроструктуру в кругах диаметром 40 мм или квадратах размером 40x40 мм. При зарисовке следует не копировать видимое под микроскопом изображение структуры, а схематично, но достаточно точно показать особенности её строения (форму и размер зёрен, соотношение и

взаимное расположение структурных составляющих и фаз). Под каждой зарисованной микроструктурой необходимо указать наименование стали, наименование структуры и увеличение.

6.4 Подсчитать по микроструктуре процентное содержание углерода в стали и примерную марку стали. Найденное содержание углерода и примерную марку стали привести рядом с рисунком микроструктуры.

6.5 С помощью графика зависимости механических свойств стали от содержания углерода (рисунок 3.3) определить для каждой исследованной стали значения твёрдости, прочности, пластичности и вязкости, записав примерные величины этих свойств с указанием размерности рядом с рисунком схем микроструктур.

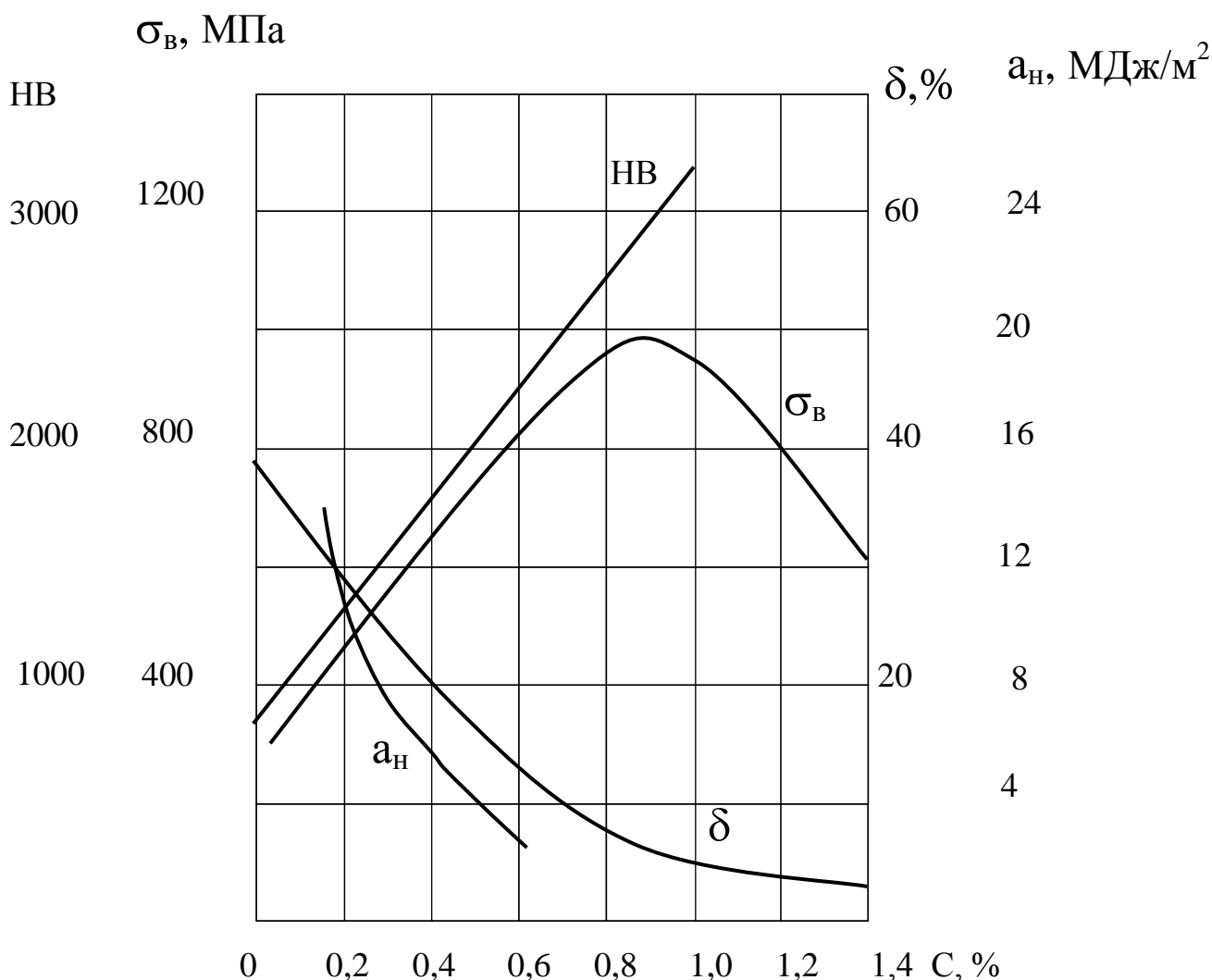


Рисунок 3.3 Влияние содержание углерода на механические свойства отожжённой углеродистой стали (HB – твёрдость по Бринеллю; σ_B – предел прочности; δ – относительное удлинение; a_H – ударная вязкость)

Лабораторная работа № 4

МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ЧУГУНА**1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Получить навыки определения по микроструктуре вида чугуна (белый, серый, ковкий, высокопрочный), структуры его металлической основы, возможные марки, оценить приближенно его механические свойства и установить область применения.

2 ЗАДАНИЕ

2.1 Изучить микроструктуру серого, ковкого и высокопрочного чугуна.

2.2 Зарисовать схемы микроструктур.

2.3 Определить по структурным составляющим структуру металлической основы.

2.4 Указать особенности строения, свойств и применения изученных чугунов.

3 ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ И ИНСТРУМЕНТ

1 Металлографические микроскопы МИМ-7.

2 Комплект микрошлифов чугунов.

3 Плакаты с изображением микроструктур чугунов.

4 Плакат «Диаграмма железо-цементит».

4 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Железоуглеродистые сплавы, содержащие углерод от 2,14 до 6,67%, называются чугунами. Чугуны содержат также большее, по сравнению со сталями, количество кремния, марганца, серы и фосфора. Чугун обладает более низкими механическими свойствами, чем сталь. Однако, его хорошие технологические свойства (литейные, обрабатываемость резанием, износостойкость, антифрикционные свойства и т. д.) делают чугун пригодным для изготовления различных деталей машин.

Классификация чугуна осуществляется по следующим признакам:

1) По состоянию углерода - (свободный или связанный), серый, половинчатый (отбеленный) и белый чугун.

2) По форме включений графита – серый чугун с пластинчатым графитом (СЧ), чугун с вермикулярным (червеобразным) графитом (ЧВГ), высокопрочный чугун с шаровидным графитом (ВЧ), ковкий чугун с хлопьевидным графитом (КЧ).

3) По типу структуры металлической основы (матрицы) – ферритный, перлитный, бейнитный, мартенситный и аустенитный чугуны, а также чугуны со смешанной структурой: ферритно-перлитные, перлитно-карбидные.

4) По химическому составу – нелегированные чугуны (общего назначения) и легированные чугуны (специального назначения).

Таким образом, в соответствии с приведённой классификацией, в зависимости от состояния углерода в чугуне, различают два основных вида чугуна:

- **белые** (по цвету излома), или цементитные чугуны, в которых весь углерод находится в связанном состоянии (входит в состав карбида железа Fe_3C , называемого цементитом);

- **графитизированные** (серые по цвету излома) чугуны, в которых весь углерод или большая его часть находится в свободном состоянии – в виде графита. Различают **серые, ковкие** и **высокопрочные** графитизированные чугуны.

Белые чугуны в зависимости от содержания углерода и структуры делятся на *доэвтектические, эвтектические* и *заэвтектические*.

Доэвтектические чугуны содержат от 2,14 до 4,3% углерода и имеют структуру, состоящую из перлита и эвтектики - механической смеси перлита и цементита, называемой ледебуритом. *Эвтектический* чугун содержит 4,3% углерода и имеет структуру ледебурита. *Заэвтектические* чугуны содержат от 4,3 до 6,67% углерода и имеют структуру, состоящую из крупных кристаллитов цементита и участков ледебурита.

Белые чугуны имеют очень высокую твёрдость – HB 7000 и более и весьма низкую пластичность. Вследствие большой хрупкости и плохой обрабатываемости режущим инструментом белые чугуны на практике применяются крайне редко (дробильные шары). Они обычно идут на переделку в сталь и для получения ковкого чугуна.

При повышенном содержании в чугуне элементов – C, Si, Al, Ni, Cu, а также химических соединений - SiO_2 , CaO, Al_2O_3 , AlN и при медленном охлаждении происходит выделение из жидкого сплава углерода в свободном состоянии, в виде графита. Этот процесс называется **графитизацией**, а способствующие ему элементы – **графитизаторами**.

В **графитизированных** чугунах различают графитные (неметаллические) включения и металлическую основу, или матрицу (основную, металлическую часть чугуна).

Механические свойства графитизированных чугунов зависят, главным образом, от формы, размеров и характера распределения графитных включений, а также от структуры металлической основы. Вид и характер структуры определяется, в основном, химическим составом чугуна.

Серый чугун (СЧ) – с пластинчатым графитом (рисунок 4.1,а) наиболее широко распространен в машиностроении. Отливки из серого чугуна составляют до 80% общего объёма чугунного литья. ГОСТ 1412-85 устанавливает девять основных марок серого чугуна – от СЧ10 до СЧ35, где буквы СЧ – означают «серый чугун», а числа означают предел прочности при растяжении (в кгс/мм²). Металлическая основа (матрица) серого чугуна может быть перлитной, перлитно-ферритной и ферритной (таблица 4.1).

Ковкий чугун (КЧ) - с хлопьевидным графитом (рисунок 4.1,б) может также иметь перлитную, перлитно-ферритную и ферритную матрицу. ГОСТ 1215-79 устанавливает 11 марок ковкого чугуна (таблица 4.2). Первое число в марке после букв КЧ (ковкий чугун) обозначают предел прочности при растяжении σ_b (в кгс/мм²), а второе – относительное удлинение δ (в %). ГОСТ регламентирует также твёрдость HB.

Высокопрочный чугун (ВЧ) – с шаровидным графитом (рисунок 4.1, в) может иметь перлитную, перлитно-ферритную и ферритную матрицу. ГОСТ 7293-85 устанавливает 8 марок высокопрочного чугуна и регламентирует их прочность (σ_b и σ_T), пластичность (δ) и твердость НВ (таблица 4.3). Чугун маркируется буквами ВЧ и двузначным числом, обозначающим предел прочности при растяжении (в кгс/мм²).

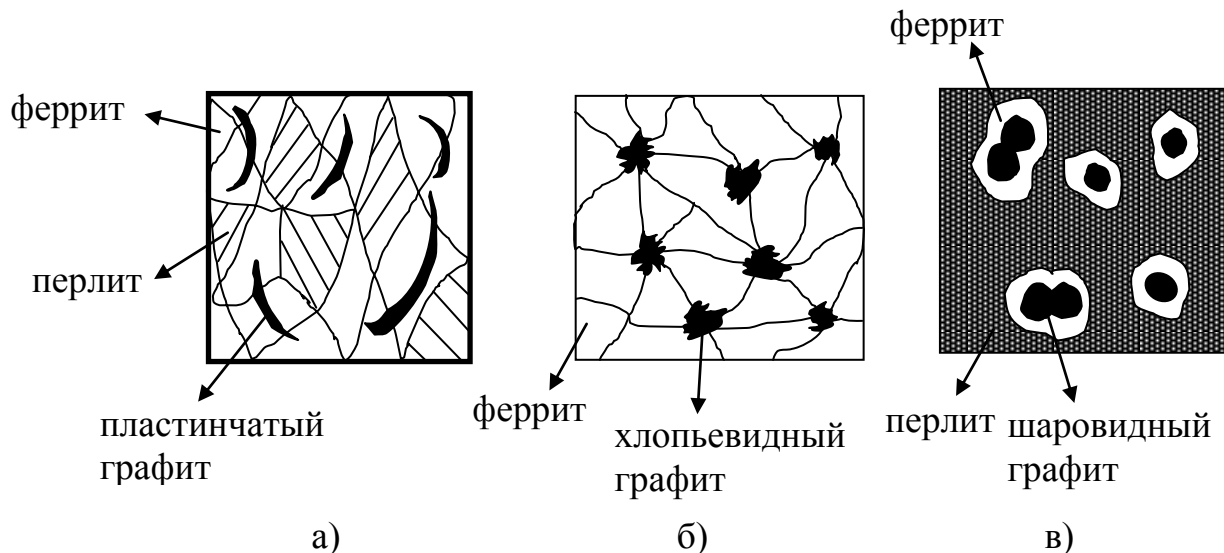


Рисунок 4.1 Схемы микроструктур чугуна после травления:

а – перлитно-ферритный чугун с пластинчатым графитом; б – ковкий ферритный чугун с хлопьевидным графитом; в – высокопрочный перлитно-ферритный чугун с шаровидным графитом

5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.1 Настроить металлографический микроскоп на требуемое увеличение (в пределах от 100 до 300 раз), установив соответствующие объектив и окуляр.

5.2 Просмотреть под микроскопом микрошлифы чугуна с различными формами графита и структурами металлической основы. Это выполняется в следующей последовательности:

- вначале просматриваются нетравленные микрошлифы чугунов с целью определения формы, размеров и характера распределения графитных включений;

- затем эти микрошлифы травятся реактивами и просматриваются в травленном состоянии с целью определения типа структуры металлической основы.

5.3 Каждую просмотренную микроструктуру схематично зарисовать с указанием наименования чугуна.

5.4 На каждой нарисованной структуре стрелками указать структурные составляющие.

5.5. Для каждого изученного чугуна указать примерную марку используя таблицы 4.1, 4.2, 4.3, привести расшифровку марок, указать химический состав и значения механических свойств.

Таблица 4.1 Механические свойства и рекомендуемый химический состав серого чугуна по ГОСТ 1412-85

Марки чугуна	Механические свойства			Средний химический состав, %		
	σ_B , МПа (кгс/мм ²)	НВ, МПа	δ , %	С	Si	Mn
Ферритные чугуны						
СЧ10	98(10)	1430...2290	0,2...1	3,6	2,4	0,5-0,8
СЧ15	147(15)	1630...2290	0,2...1	3,6	2,2	0,5-0,8
Перлитно-ферритные чугуны						
СЧ18	176(18)	1700...2410	0,4...0,6	3,5	2,1	0,6
СЧ20	196(20)	1700...2410	0,4...0,6	3,4	1,8	0,8
СЧ21	206(21)	1700...2410	0,4...0,6	3,4	1,8	0,8
СЧ24	235(24)	1700...2410	0,4...0,6	3,3	1,8	0,8
Перлитные чугуны						
СЧ25	245(25)	1800...2500	0,6...0,9	3,3	1,8	0,9
СЧ30	294(30)	1810...2550	0,6...0,9	3,1	1,2	0,9
СЧ35	343(35)	1970...2690	0,6...0,9	3,0	1,1	1,0

Примечание: Чугуны марки СЧ25 и выше обычно модифицируют FeSi.

Таблица 4.2 Механические свойства и рекомендуемый химический состав ковкого чугуна по ГОСТ 1215-79

Марки чугуна	Механические свойства			Средний химический состав, %		
	σ_B , МПа (кгс/мм ²)	НВ, МПа	δ , %	С	Si	Mn
Ферритные чугуны						
КЧ30-6	294(30)	1000...1630	6	2,8	1,3	0,5
КЧ33-8	323(33)	1000...1630	8	-//-	-//-	-//-
КЧ35-10	333(35)	1000...1630	10	2,7	1,2	0,4
КЧ37-12	362(37)	1100...1630	12	2,5	1,3	0,3
Перлитные чугуны						
КЧ45-7	441(45)	1500...2070	7	2,7	1,2	0,7
КЧ50-5	490(50)	1700...2300	5	-//-	-//-	-//-
КЧ55-4	539(55)	1920...2410	4	-//-	-//-	-//-
КЧ60-3	588(60)	2000...2690	3	-//-	-//-	-//-
КЧ65-3	637(65)	2120...2690	3	2,6	1,3	0,7
КЧ70-2	686(70)	2410...2850	2	-//-	-//-	-//-
КЧ80-1,5	784(80)	2700...3200	1,5	-//-	-//-	-//-

Таблица 4.3 Механические свойства и рекомендуемый химический состав высокопрочного чугуна с шаровидным графитом по ГОСТ 7293-85

Марки чугуна	Механические свойства				Средний химический состав, %		
	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	НВ, Мпа	δ , %	C	Si	Mn
Ферритные чугуны							
ВЧ35	350	220	1400...1700	22	2,7...3,8	0,8...2,9	0,2...0,6
ВЧ40	400	250	1400...2020	15	2,7...3,8	0,5...2,9	0,2...0,6
Перлитно-ферритные чугуны							
ВЧ45	450	310	1400...2250	10	2,7...3,8	0,5...2,9	0,3...0,7
ВЧ50	500	320	1530...2450	7	2,7...3,9	0,8...2,9	0,3...0,7
Перлитные чугуны							
ВЧ60	600	370	1920...2770	3	3,0...3,6	2,4...2,8	0,4...0,7
ВЧ70	700	420	2280...3020	2	3,0...3,6	2,6...2,9	0,4...0,7
ВЧ80	800	480	2480...3510	2	3,2...3,6	2,6...2,9	0,4...0,7
Бейнитный чугун							
ВЧ100	1000	700	2700...3600	2	*	3,0...3,8	0,4...0,7

* - В бейнитных чугунах содержание углерода ГОСТ не предусматривает.

Практическое занятие № 5

АНАЛИЗ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ ДВОЙНЫХ СПЛАВОВ**1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Изучение основных типов диаграмм фазового равновесия реальных двойных систем, приобретение практических навыков их использования для изучения превращений, происходящих в сплавах, анализа и расчета фазового состава и состава твердых растворов системы при заданной температуре.

2 ЗАДАНИЕ

2.1 Получить у преподавателя индивидуальное задание.

2.2 Начертить в масштабе анализируемую диаграмму состояния (приложение 5.1).

2.3 Дать буквенные обозначения всем линиям диаграммы состояния.

2.4 Определить, к какому типу относится диаграмма состояния.

2.5 Провести фазовый и структурный анализы диаграммы состояния.

2.6 Определить процентный и количественный состав сплавов, рассчитать составы твердых растворов (при их наличии в системе), используя правило отрезков.

2.7 Написать практическую часть отчета о работе в соответствии с вышеуказанными пунктами задания.

3 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Компонент — составная часть, в данном случае химический элемент, образующий сплав.

Конода — горизонтальный отрезок, концы которого ограничены равновесными сосуществующими фазами и содержанием в них компонентов; характеризует состав фаз, находящихся в равновесии.

Ликвидус — геометрическое место точек начала затвердевания бинарных сплавов с различным содержанием компонентов на диаграмме состояния.

Линии фигуративных точек — вертикальные линии на диаграмме состояния, соответствующие определенному химическому составу сплава.

Линия предельной растворимости — линия на диаграмме состояния бинарных сплавов, характеризующая изменение растворимости компонента с изменением температуры.

Перитектика — структурная составляющая сплава, представляющая собой механическую смесь фаз, образующуюся за счет ранее выделившейся твердой фазы и закристаллизовавшейся жидкой части сплава определенного состава.

Раствор твердый — однофазный в твердом состоянии сплав, в котором соотношение компонент может быть переменным и один из компонентов (растворитель) сохраняет свою кристаллическую решетку, а атомы другого (или других) компонента располагаются в решетке этого компонента, изменяя ее размеры (периоды решетки).

Система (гетерогенная) — макроскопически неоднородная термодинамическая система, состоящая из различных по физическим свойствам или химическому составу частей (фаз).

Соединение химическое — фаза, кристаллическая решетка которой отличается от решеток компонентов, ее образующих.

Солидус — на диаграмме состояния геометрическое место точек конца затвердевания бинарных сплавов с различным содержанием компонентов.

Составляющая структурная — часть сплава (однофазная или многофазная), имеющая характерную (однообразную) структуру и отделенная от остальных частей сплава поверхностями раздела.

Состав фазовый — количественная характеристика содержания в сплаве различных фаз.

Состав химический — количественная характеристика содержания в сплаве химических элементов.

Строение — совокупность устойчивых связей вещества, обеспечивающих его целостность и тождественность самому себе, т.е. сохранение основных свойств.

Микроструктура — форма, размеры, количество и характер взаимного распределения фаз гетерогенной системы, наблюдаемые с помощью оптического или электронного микроскопа.

Фаза — термодинамически равновесное состояние вещества, характеризующееся агрегатным состоянием, атомным (молекулярным) составом и строением, а также отделенное пространственными границами от других возможных равновесных состояний (фаз) того же вещества.

Эвтектика — структурная составляющая сплава, представляющая собой механическую смесь фаз, образующуюся при одновременной кристаллизации двух (или более) фаз из расплава.

Эвтектоид — структурная составляющая сплава, представляющая собой механическую смесь фаз, образующуюся при одновременной вторичной кристаллизации двух (или более) фаз из твердого раствора.

4 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Диаграммы состояния представляют собой графические изображение превращений в металлических сплавах в зависимости от температуры и концентрации компонентов.

При выборе материалов для изготовления различного рода изделий, использующихся в широком диапазоне условий эксплуатации, необходима оценка их физико-химических, механических и технологических свойств и возможностей изменения последних. Рациональный подход к такой оценке дают знание диаграмм фазового равновесия и умение их анализировать.

К настоящему времени изучено около 10 тыс. диаграмм состояния двойных систем, и число их продолжает расти.

Превращения в сплавах происходят в равновесных состояниях (при очень медленном нагреве или охлаждении), когда практически отсутствует перенагрев или переохлаждение. Поэтому диаграммы состояния называют также диаграммами равновесия.

Диаграммы состояния показывают процесс кристаллизации сплавов рассматриваемой системы. Процесс кристаллизации, а, следовательно, характер кривых нагрева и охлаждения зависит от того, какие фазы образуются в сплаве. Так, например, плавление и кристаллизация сплава Pb-Sb эвтектической концентрации происходит при постоянных температурах, а сплавов системы Cu-Ni в интервале температур. В первом случае структура сплава при нормальной температуре представляет собой механическую смесь кристаллов Pb и Sb, а во втором – кристаллы твердого раствора Cu и Ni. Существенно различаются по внешнему виду и диаграммы состояния систем Pb-Sb и Cu-Ni.

Многообразие типов диаграмм состояния объясняется различным характером взаимодействия компонентов, образующих сплавы. Атомы компонентов могут отталкиваться, притягиваться и не взаимодействовать друг с другом. Вследствие этого образуются механические смеси, твердые растворы замещения и внедрения, химические соединения.

Химический состав и структура определяют свойства металлического сплава. Структура в свою очередь зависит от характера взаимодействия компонентов, входящих в состав сплава, что и отражают диаграммы состояния. Следовательно, между диаграммами состояния и полученными свойствами сплавов существует определенная зависимость, которая впервые была изучена Н.С. Курнаковым (см. приложение 5.2).

Для построения диаграммы состояния берут несколько сплавов из одной системы с различным соотношением масс входящих компонентов. Сплавы помещают в тигли и нагревают в печи. После расплавления медленно охлаждают и фиксируют скорость охлаждения (с помощью термопары и секундомера). В результате получают серию кривых охлаждения, а по ним строят диаграмму состояния (рисунок 5.1).

Правило отрезков может быть использовано только для тех областей диаграммы, в которых сплавы находятся в двухфазном состоянии. Например, определить состав фаз для сплава в точке *a* при температуре t_1 (рисунок 5.1). Для этого через т. *a* надо провести горизонтальную линию до пересечения с линиями диаграммы состояния, ограничивающими данную двухфазную область (линия *bc*) точки пересечения *b* и *c* проецируется на ось концентраций. Проекция т.с -т.с' покажет состав жидкой фазы (Pb-30%, Sb-70%), а т. *b* - т. *b'* - твердой фазы (для данной системы это чистая сурьма). Чем меньше температура, тем больше Pb. При 246°C – эвтектика (Sb-13%, Pb-87%) – во всех сплавах данной системы будет такой состав эвтектики.

Если принять, что отрезок *bc* выражает количество всего сплава, то количество выделившейся избыточной сурьмы соответствует отрезку *ca*, жидкой фазы – отрезку *ab*. Для определения относительного количества фаз пользуются отношением: $Q_{ж}/Q_{с}=ab/bc$, $Q_{Sb}/Q_{с}=ca/bc$, $Q_{ж}/Q_{Sb}=ab/ca$,

где $Q_{ж}$ – количество жидкого расплава; Q_{Sb} – количество кристаллов сурьмы; $Q_{с}$ – количество всего сплава

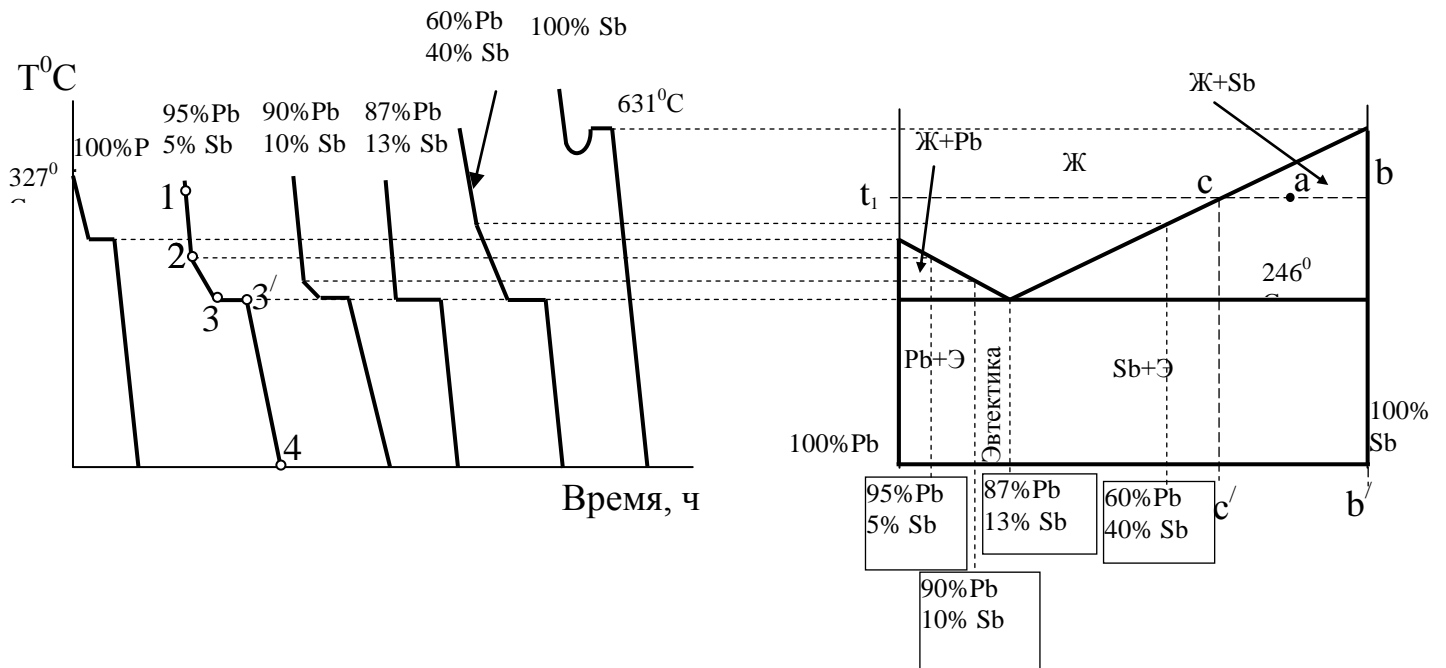
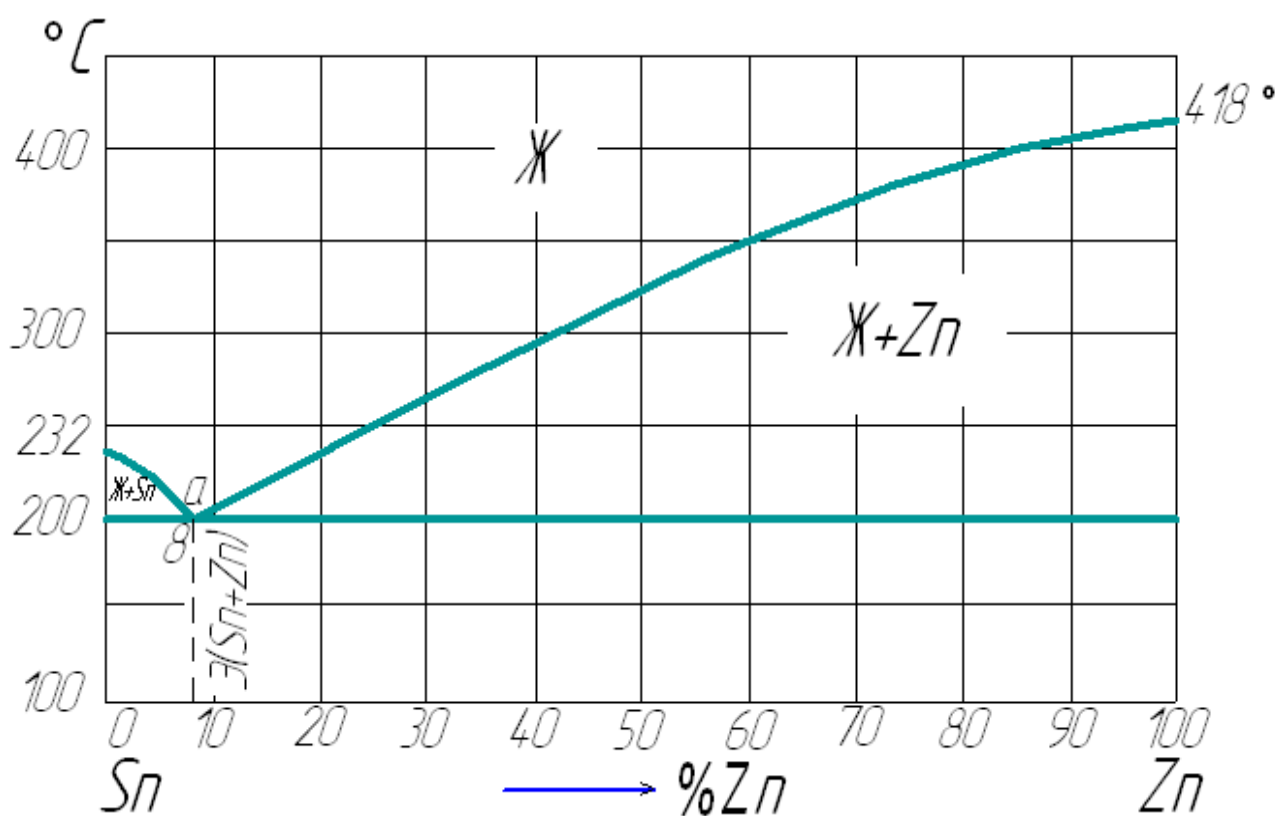
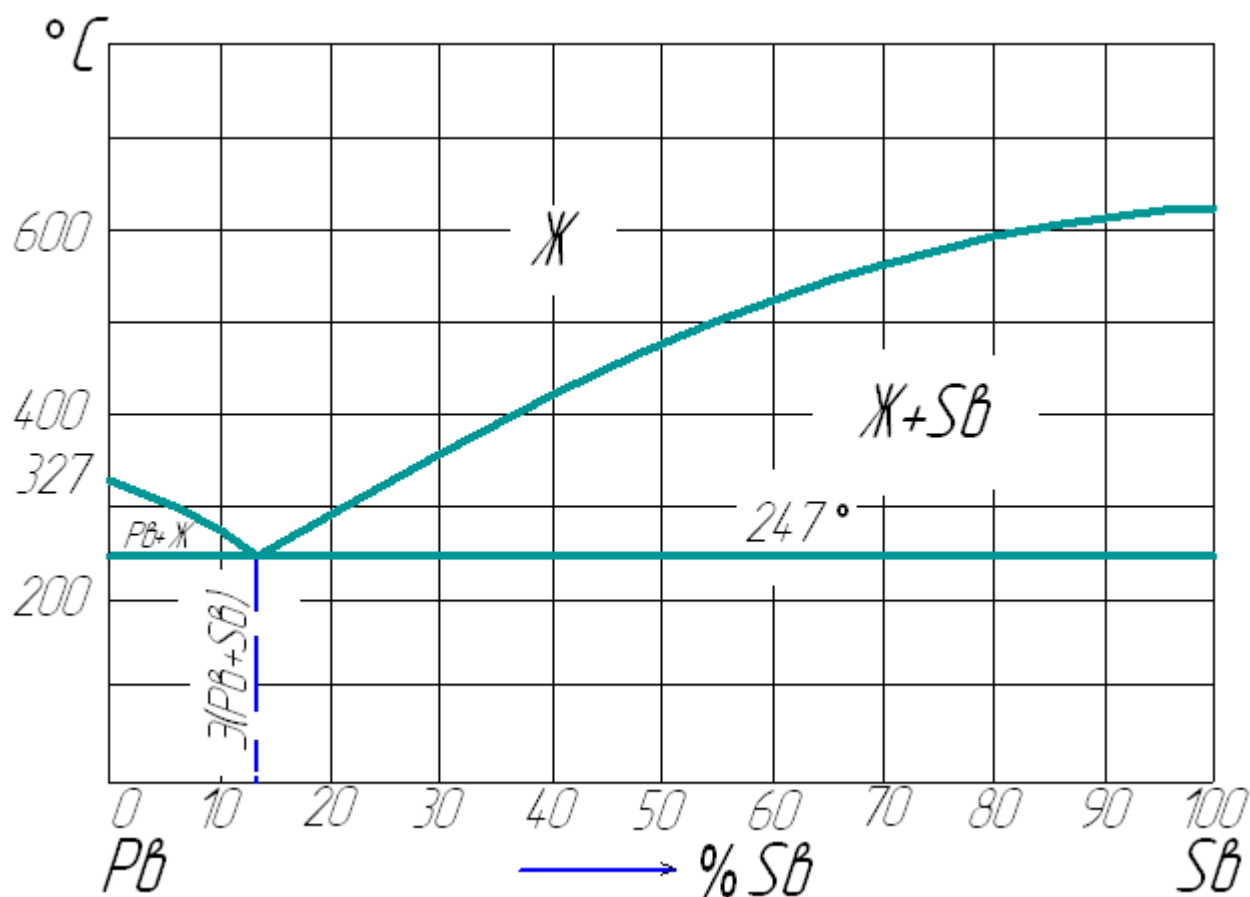


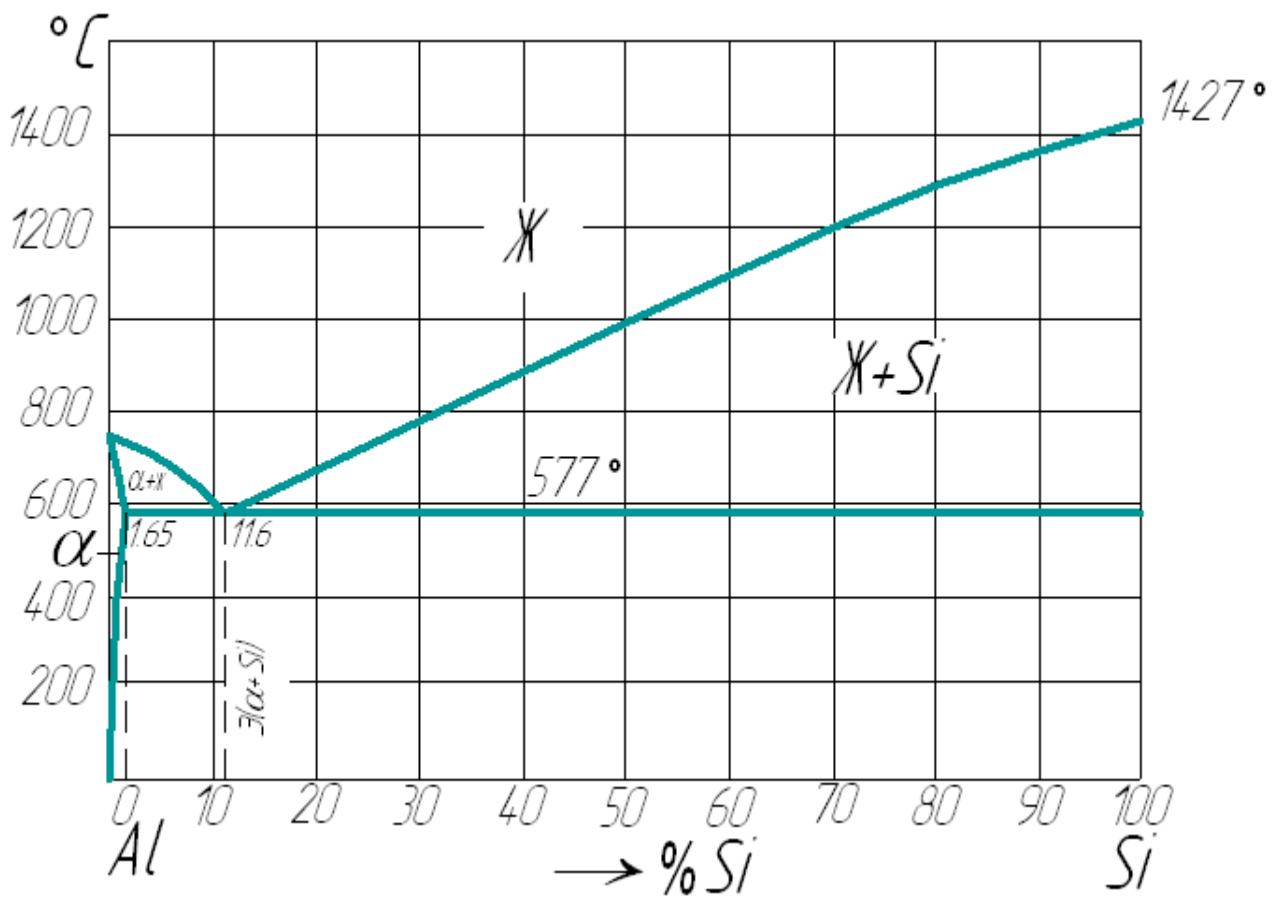
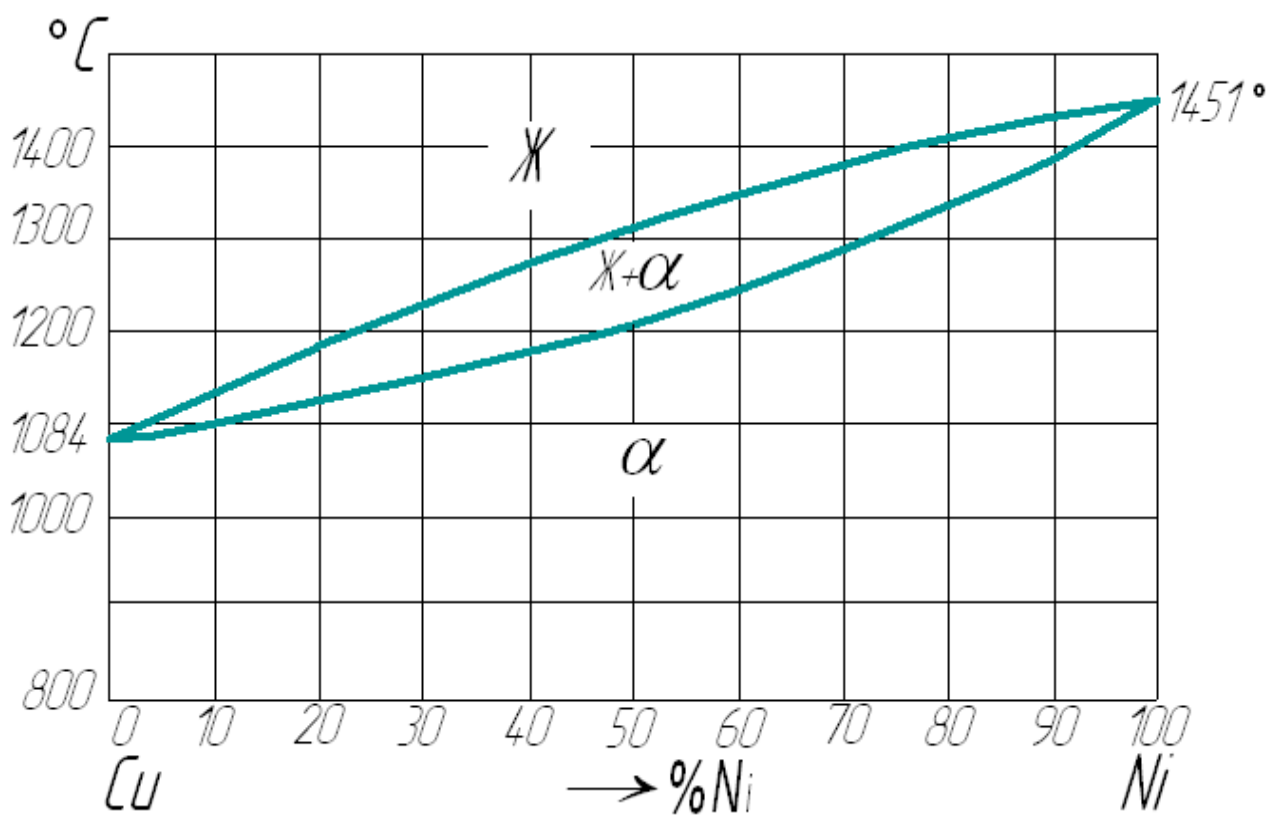
Рисунок 5.1 Построения диаграммы и правило отрезков

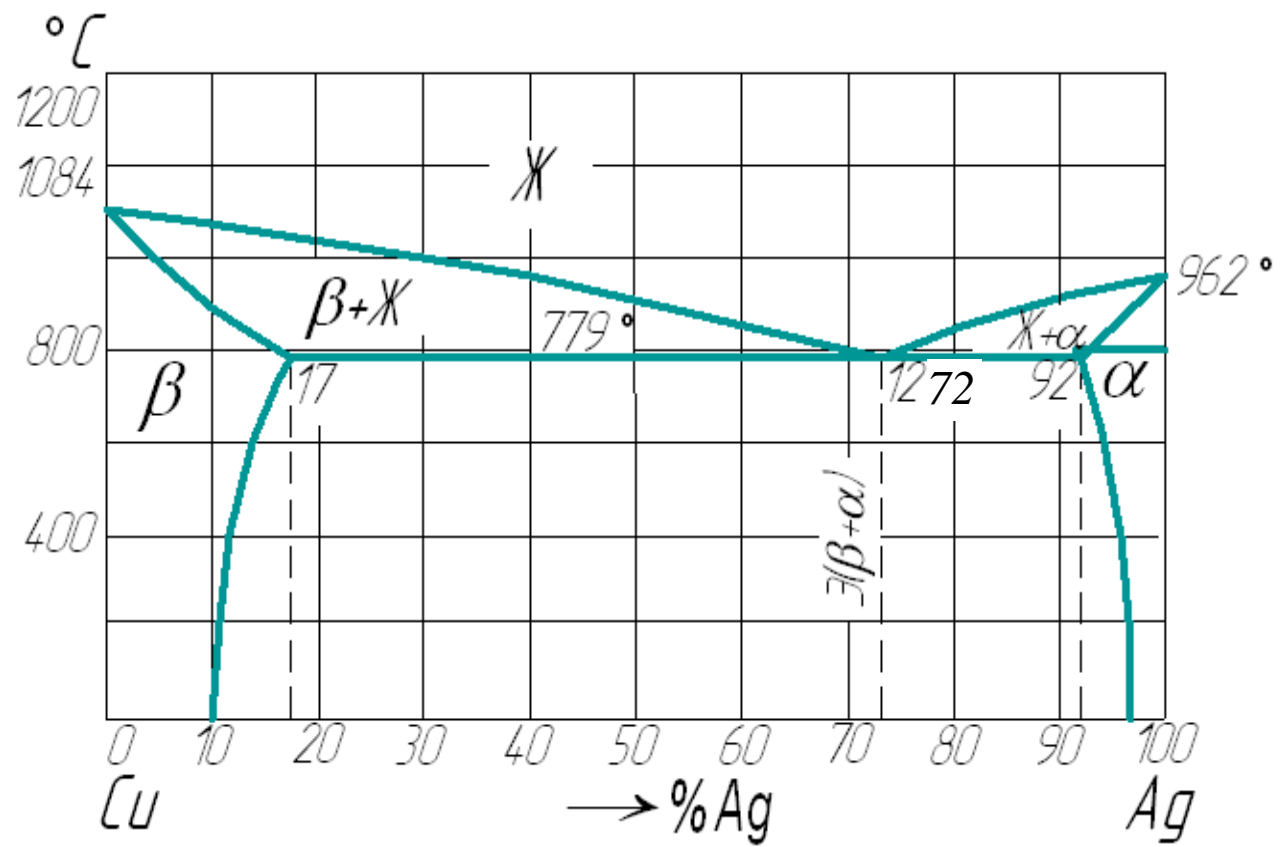
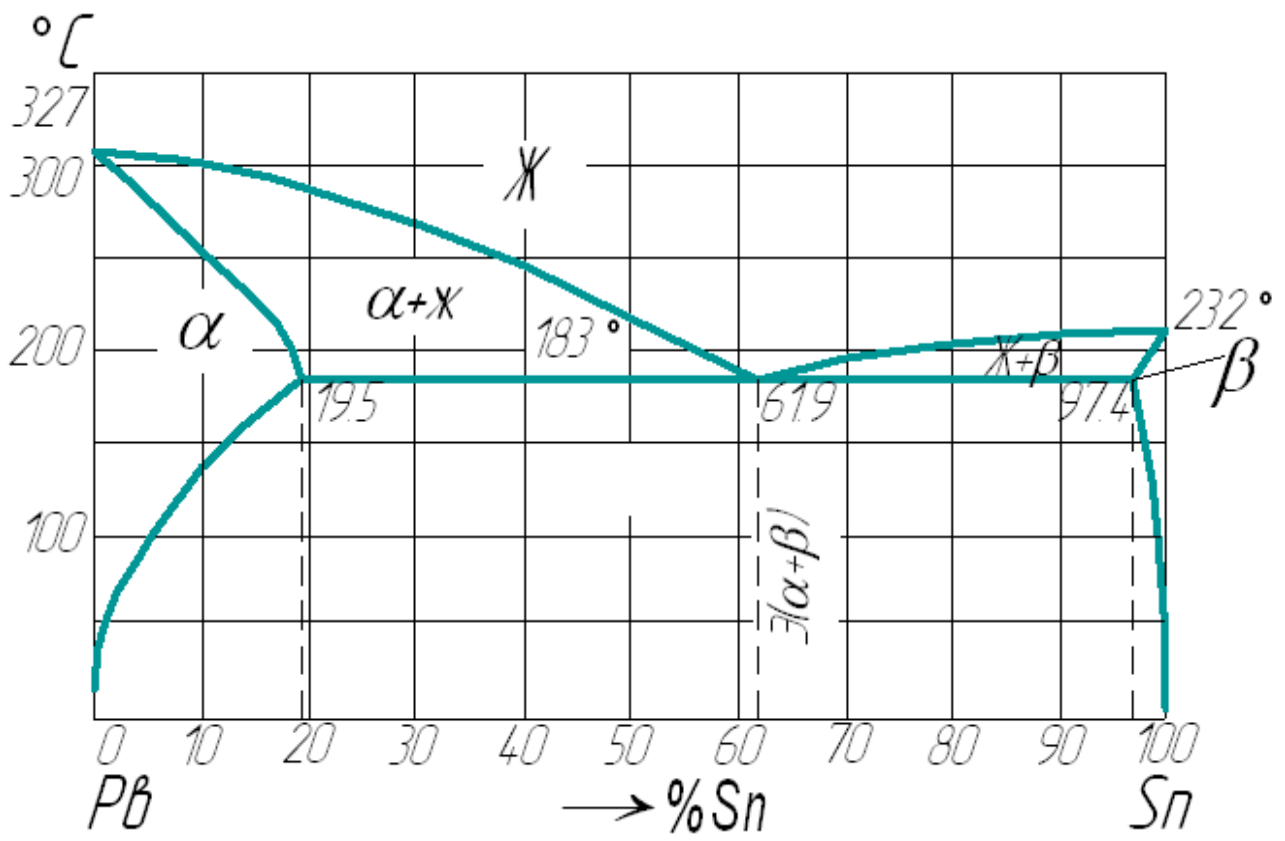
Рассмотрим охлаждение сплава (95% Pb, 5% Sb):

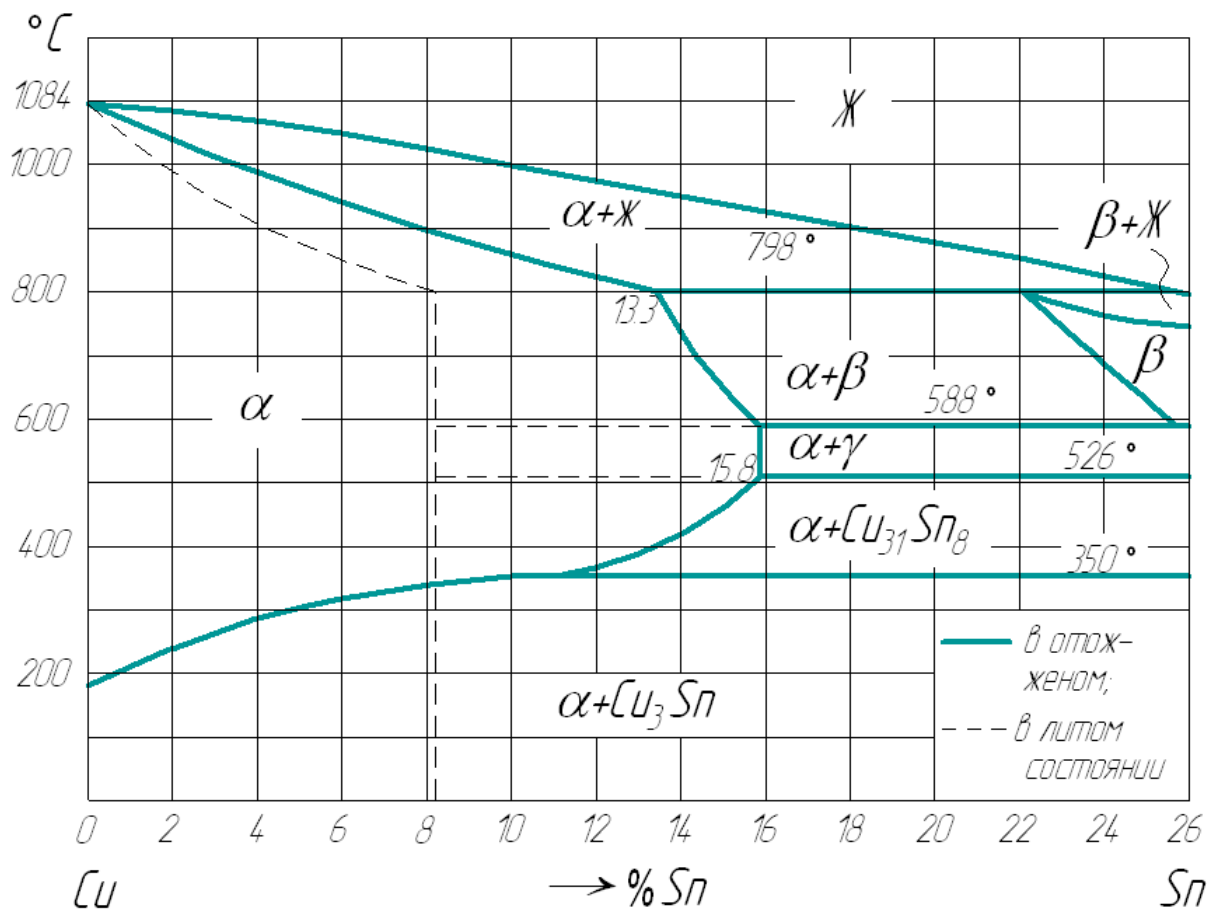
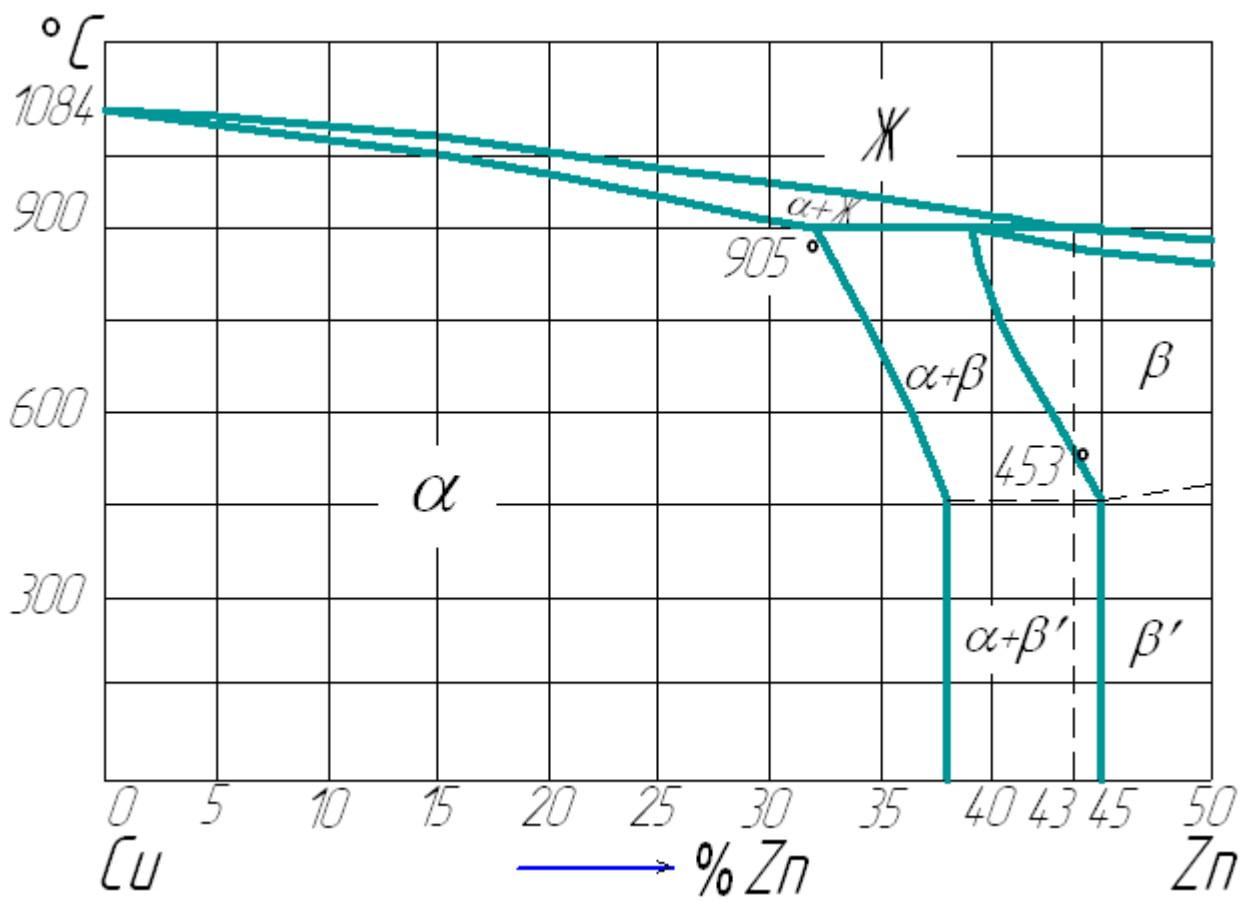
Состояния в характерных точках	Процессы
Т. 1 – сплав в жидком состоянии	1-2 – охлаждение жидкости
Т. 2 – начало кристаллизации кристаллов Pb	2-3 – кристаллизация кристаллов Pb
Т. 3 – конец кристаллизации кристаллов Pb и начало образования эвтектики (механической смеси кристаллов Pb и Sb)	3-3' - кристаллизация эвтектики (кристаллы Pb + кристаллы Sb)
Т. 3' - конец образования эвтектики	3'-4 – охлаждение сплава
Т. 4 – сплав при комнатной температуре	

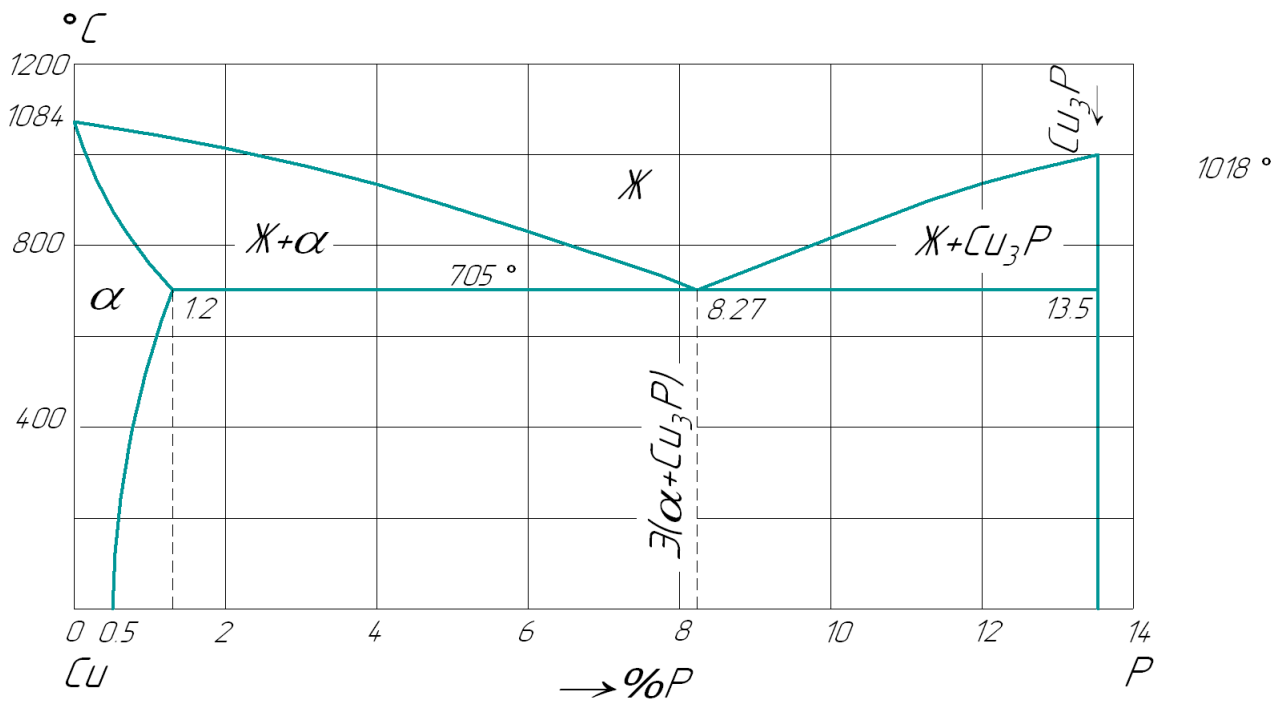
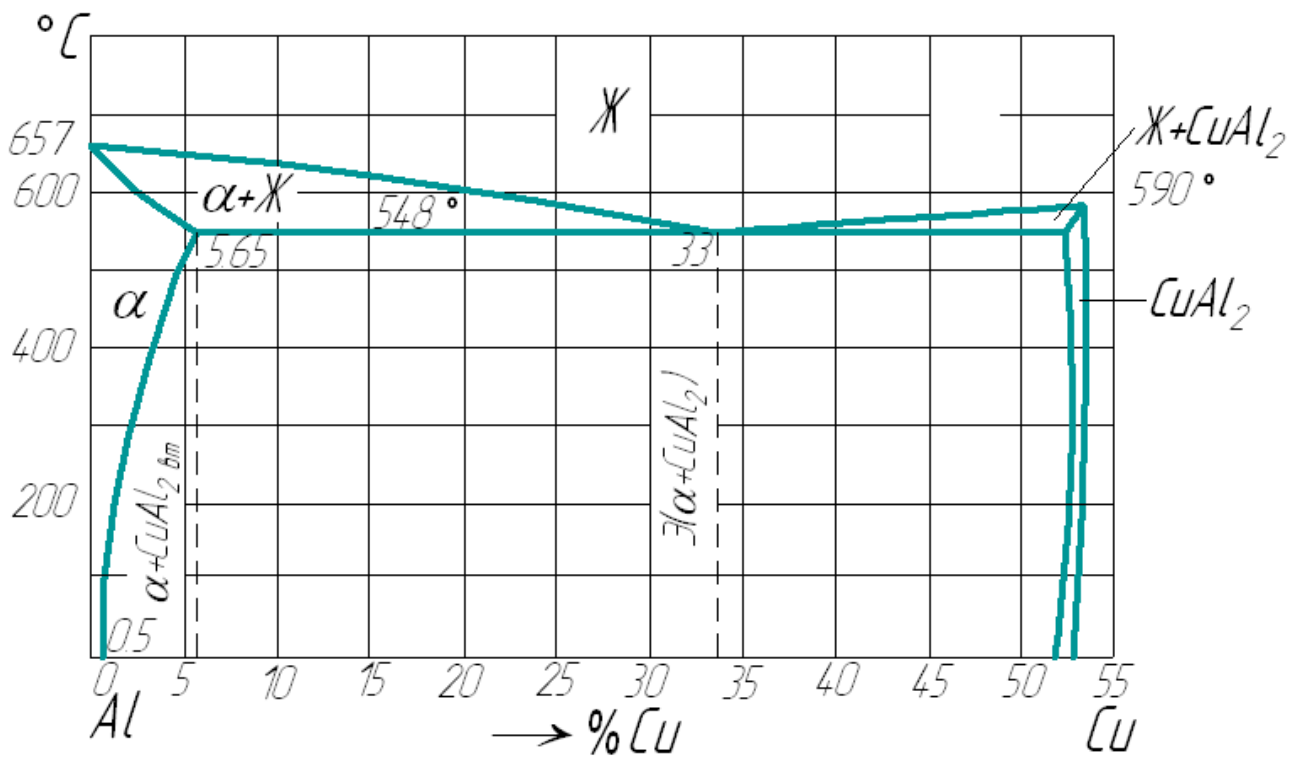
ПРИЛОЖЕНИЕ 5.1 Диаграммы состояния двойных сплавов

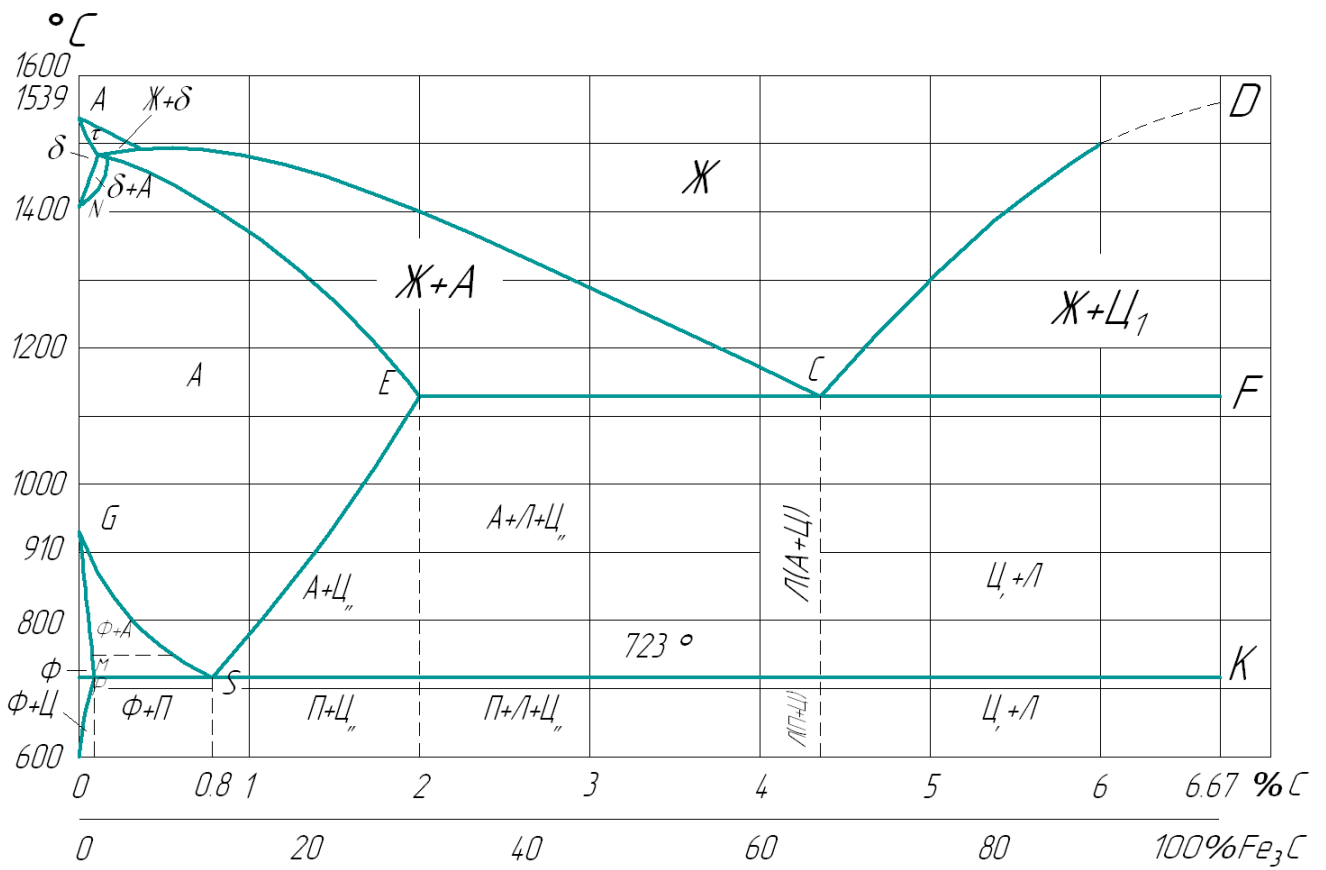
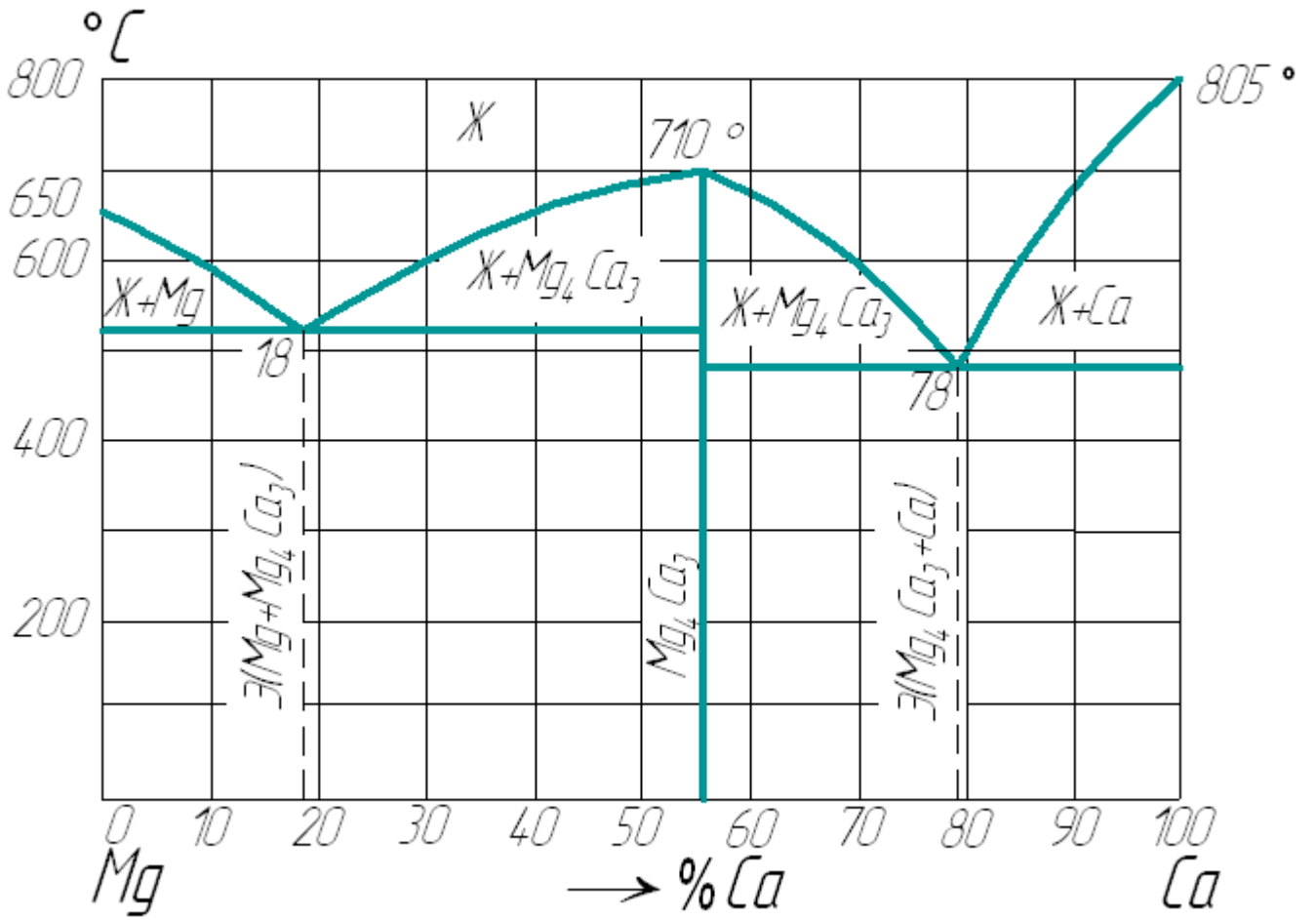




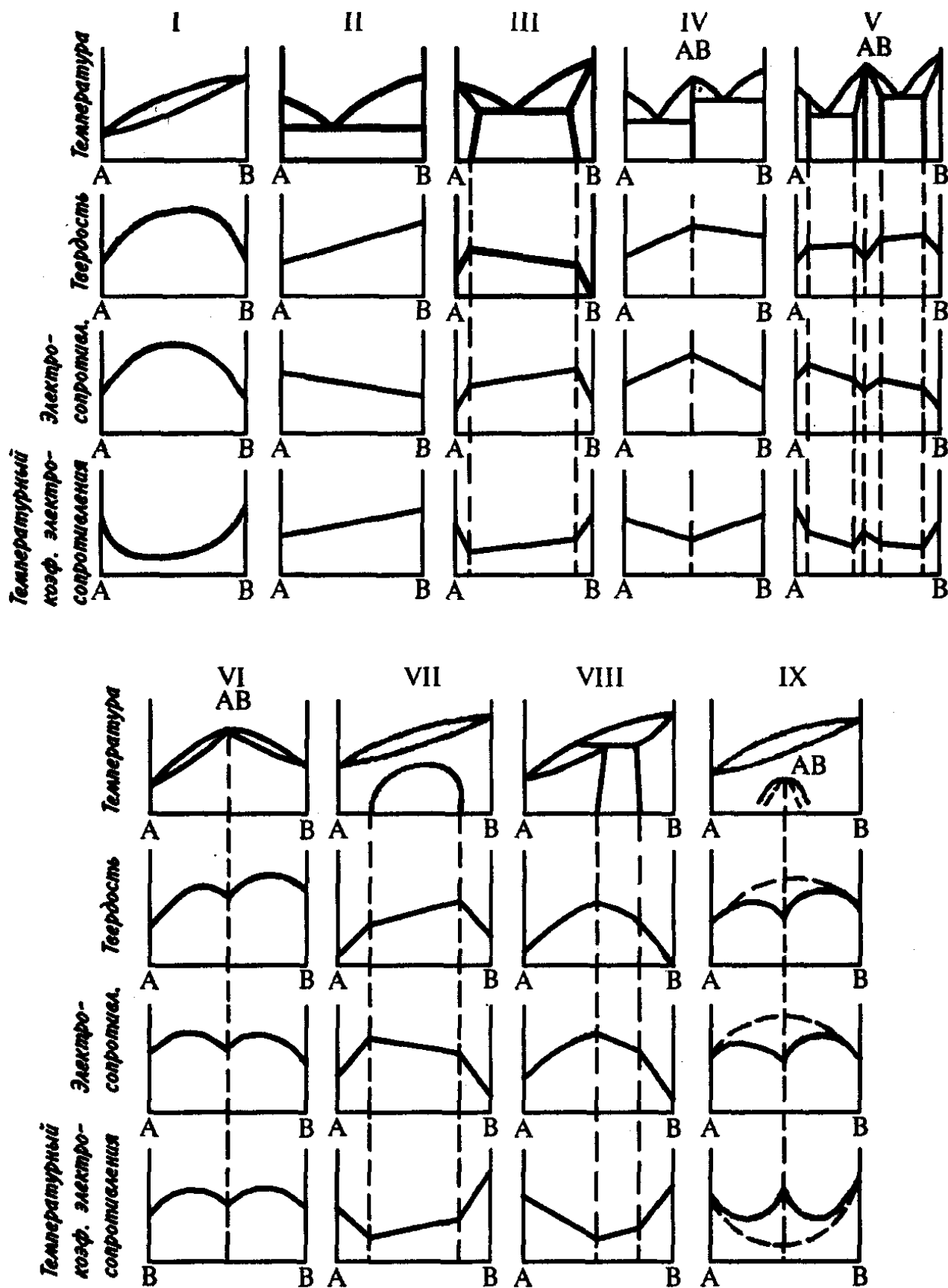








ПРИЛОЖЕНИЕ 5.2 Связь между свойствами сплавов и типом диаграммы состояния



Практическое занятие № 6

**АНАЛИЗ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ
«ЖЕЛЕЗО-ЦЕМЕНТИТ»****1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Изучить линии, точки и области диаграммы железо-цементит, ее фазы и структуры, превращения в сплавах с различным содержанием углерода при нагревании и охлаждении, применение правила отрезков.

2 ЗАДАНИЕ

2.1 Изучить структурные составляющие диаграммы железо-цементит по содержанию углерода, числу фаз, кристаллическим решеткам и свойствам.

2.2 Изучить структурные превращения железоуглеродистых сплавов по диаграмме железо-цементит при нагреве и охлаждении.

2.3 Научиться определять процентный и количественный состав сплавов.

2.4 Построить кривые охлаждения для указанных сплавов.

3 ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ И ИНСТРУМЕНТ

Плакаты: диаграмма железо-цементит, кривая охлаждения чистого железа, кривые охлаждения сплавов с различным содержанием углерода, строение структурных составляющих сплава.

4 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Железоуглеродистые сплавы — стали и чугуны — составляют до 90% металлофонда в экономике России, являясь основными конструкционными металлами. Фазовый состав и структура промышленных сплавов, полученных при медленном охлаждении до комнатной температуры, хорошо согласуются с диаграммой состояния «железо — цементит», что предопределило ее широкое использование для выбора оптимальных режимов производства и термообработки железоуглеродистых сплавов на протяжении почти полутора веков.

5 ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

Железо — металл переходной группы серебристо-серого цвета, с плотностью $7,8 \text{ т/м}^3$, температурой плавления 1539°C . При изменении температуры изменяется строение кристаллической решетки железа ($\text{Fe}_{\delta(\alpha)}$ - $1539\dots1392^\circ\text{C}$, Fe_{γ} - $1392\dots911^\circ\text{C}$, $\text{Fe}_{\beta(\alpha)}$ - $911\dots768^\circ\text{C}$, Fe_{α} - менее 768°C).

Углерод — неметаллический элемент с плотностью $2,5 \text{ т/м}^3$, температурой плавления 2500°C . Углерод имеет две аллотропические формы: графита и алмаза.

Аустенит (А) — твердый раствор внедрения углерода в γ -железе; предельная растворимость углерода в γ -железе - 2,14% ($\sigma_{\text{в}}=600 \text{ МПа}$, $\delta=30\%$, $\text{HB}1800\dots2000$).

Ледебурит (Л) — структурная составляющая (эвтектика) железоуглеродистых сплавов, главным образом чугунов, представляющая собой механическую смесь кристаллов аустенита и цементита, образующихся в

сплавах, содержащих от 2,0 до 6,67% углерода ($\sigma_{\text{в}}=1000$ МПа, $\delta=1...2\%$, HB4500...5000).

Перлит (П) — структурная составляющая (эвтектоид) железоуглеродистых сплавов, представляющая собой механическую смесь чередующихся пластинок феррита и цементита, образующихся при распаде аустенита во всех сплавах системы с концентрацией углерода более 0,02% при $t = 727^{\circ}\text{C}$ ($\sigma_{\text{в}}=600$ МПа, $\delta=20\%$, HB2000).

Сталь — железоуглеродистый сплав, содержащий 0,02 - 2,14% углерода. По содержанию углерода и наличию структурных составляющих различают: доэвтектоидные (углерода 0,02 - 0,83%), эвтектоидные (углерода 0,83%), заэвтектоидные (углерода 0,83 - 2,14%) стали.

Феррит (Ф) — твердый раствор внедрения углерода в α -железе. Различают низкотемпературный α -феррит с растворимостью углерода до 0,02 % и высокотемпературный δ -феррит с предельной растворимостью углерода 0,1% ($\sigma_{\text{в}}=300$ МПа, $\delta=40\%$, HB800...1000).

Цементит Fe_3C (Ц) — химическое соединение железа с углеродом (карбид железа) с концентрацией углерода 6,67% ($\sigma_{\text{в}} = 20000$ МПа, $\delta=0\%$, HB8000).

Чугун — железоуглеродистый сплав, содержащий более 2,14% углерода. По содержанию углерода и наличию структурных составляющих различают чугуны: доэвтектические (углерода 2,14 - 4,3%), эвтектические (углерода 4,3%) и заэвтектические чугуны (углерода 4,3 - 6,67%).

Чугуны белые — чугуны, кристаллизующиеся подобно углеродистым сталям по метастабильной диаграмме состояния Fe - Fe_3C (углерод находится в химически связанном состоянии в виде цементита; имеет белый блестящий излом).

Основными компонентами сталей и чугунов являются железо и углерод. Углерод может находиться в равновесии с жидкой фазой и с твердыми растворами на основе железа в виде цементита (метастабильное равновесие) или графита (стабильное равновесие) в зависимости от внешних условий. Это обстоятельство определяет два варианта диаграммы состояния «железо — углерод» (рисунок 6.1). Большее практическое значение имеет метастабильная диаграмма состояния. С помощью этой диаграммы объясняют не только превращения, происходящие в сталях и белых чугунах. Она является основой для выбора оптимальных режимов термообработки железоуглеродистых сплавов.

Наряду с основными компонентами в этих сплавах имеются постоянные технологические примеси, которые могут оказывать существенное влияние на их свойства и формирование структуры.

В системе Fe — Fe_3C различают следующие фазы: жидкий раствор, твердые растворы — феррит и аустенит, а также цементит (в том числе первичный, вторичный и третичный).

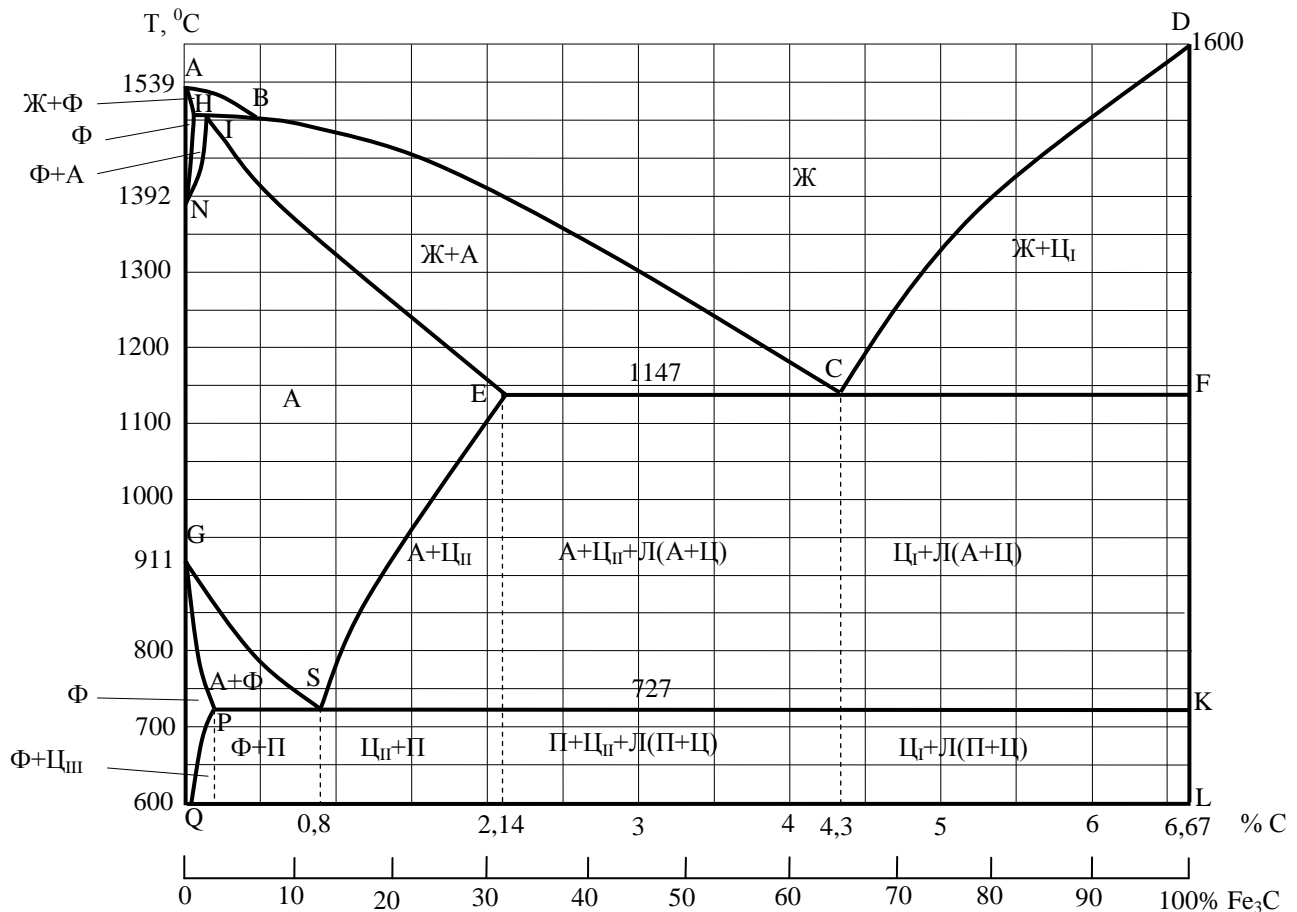


Рисунок 6.1 Диаграмма состояния железо-цементит.

К структурным составляющим в системе Fe — Fe₃C, наряду с перечисленными выше фазами, относятся ледебурит и перлит.

Таблица 6.1 Фазовые превращения на линиях диаграммы железо-цементит

Обозначение линий	Фазовые превращения на линиях (при охлаждении)	Перечень фаз	Кол-во фаз
AC	Начало выделения аустенита из жидкости	Аустенит+жидкость	2
AE	Конец выделения аустенита из жидкости	Аустенит+жидкость	2
EC	Конец выделения аустенита из жидкости и образование ледебурита	Аустенит+цементит+жидкость	3
CD	Начало выделения цементита (первичного) из жидкости	Жидкость+цементит	2
CF	Конец выделения цементита (первичного) из жидкости и образование ледебурита из жидкости	Жидкость+цементит+аустенит	3
ECF	Образование ледебурита из жидкости	Жидкость+аустенит+цементит	3
GS	Начало выделения феррита из аустенита	Аустенит+феррит	2
PS	Конец выделения феррита из аустенита и образование перлита из аустенита	Аустенит+феррит+цементит	3
PSK	Образование перлита из аустенита	Аустенит+феррит+цементит	3
SE	Начало выделения цементита (вторичного) из аустенита	Аустенит+цементит	2
SK	Конец выделения цементита (вторичного) из аустенита и образование перлита из аустенита	Аустенит+цементит+феррит	3
PQ	Начало выделения цементита (третичного) из феррита	Феррит+цементит	2

Каждая характерная точка диаграммы характеризует строго определенный состав сплава при соответствующей температуре (таблица 6.2).

Таблица 6.2 Фазовые превращения в точках диаграммы железо — цементит

Обозначение точек	Фазовые превращения в точках (при нагревании и охлаждении)	Содержание углерода, %	Соответствующая точкам темп., °C	Перечень фаз	Кол-во фаз
A	Температура плавления и затвердевания чистого железа	0	1539	Жидкость+кристаллы железа	2
D	Температура плавления и затвердевания цементита	6,67	1600	Жидкость+цементит (первичный)	2
C	Плавление и образование ледебурита	4,30	1147	Жидкость+цементит+аустенит	3
N	Аллотропическое превращение $\delta(\alpha)$ -железа в γ -железо и обратно	0	1401	γ -железо+ $\delta(\alpha)$ -железо	2
E	Максимальное растворение углерода в аустените	2,14	1147	Жидкость+аустенит+цементит	3
S	Минимальное растворение углерода в аустените	0,80	727	Аустенит+феррит+цементит	3
G	Превращение γ -железа в α -железо или α -железа в железо	0	911	γ -железо+ α -железо	2
P	Максимальное растворение углерода в α -железе	0,025	727	Аустенит+феррит+цементит (вторичный)	3
Q	Минимальное растворение углерода в α -железе	0,006	0	Феррит+цементит (третичный)	2
K	Нет фазовых превращений	6,67	727	Цементит (первичный)	1
F	Нет фазовых превращений	6,67	1147	Цементит (первичный)	1
M	Магнитное превращение	0	768	Чистое железо	1

Составы и количества фаз в системе «железо-цементит» можно определить с помощью правила отрезков.

Правилом отрезков, или правилом рычага, пользуются для определения процентного и весового состава жидкой и твердой фаз или двух различных твердых фаз (количество структурных составляющих и их концентраций). Для этого, например, из точки b (рисунок 6.2) проводят горизонталь до линий GP и GS. Проекция точки a на ось концентраций показывает содержание углерода в феррите, а содержание точки c — содержание углерода в аустените при определенной температуре. Для определения количественного соотношения аустенита и феррита необходимо составить обратно пропорциональное отношение отрезков: $Q_{\text{ф}}/Q_{\text{ау}}=bc/ab$, где $Q_{\text{ф}}$ — количество феррита; $Q_{\text{ау}}$ — количество аустенита для температуры, соответствующей точке b. Пусть в точке b масса всего сплава составляет 100 г, тогда $Q_{\text{ф}}/(100 - Q_{\text{ф}})=bc/ab$. Подставляя значения отрезков bc и ab, взятые из диаграммы состояния, можно определить количество феррита, а затем и количество аустенита.

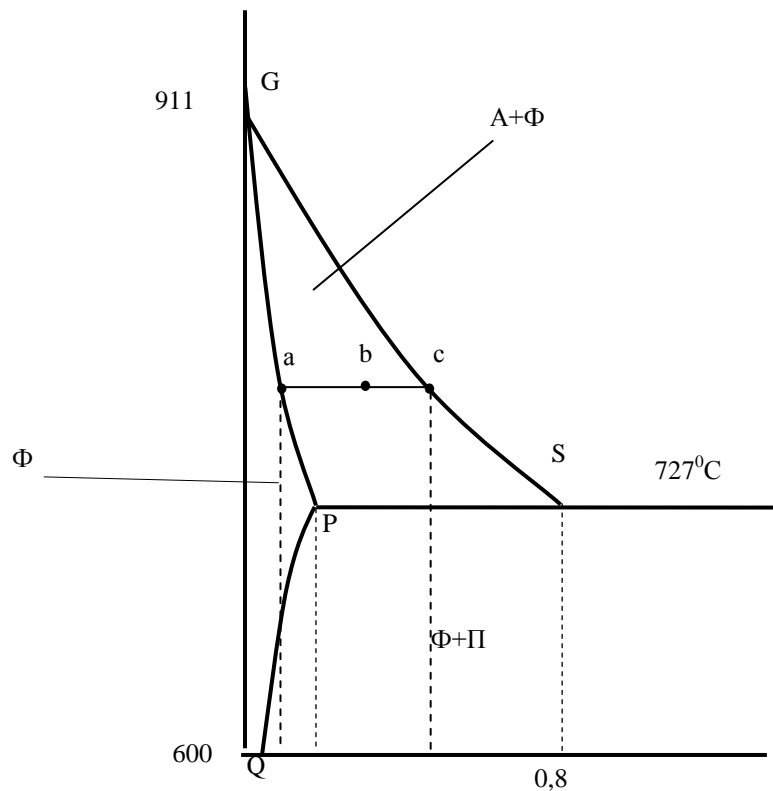


Рисунок 6.2 Схема применения правила отрезков

6.1. АНАЛИЗ ПРЕВРАЩЕНИЙ В СПЛАВАХ «ЖЕЛЕЗО-ЦЕМЕНТИТ»

Формирование структур в сплавах можно изучить, анализируя по диаграмме процессы, происходящие в них при охлаждении или нагревании. Рассмотрим области диаграммы, которые отвечают равновесным состояниям сплавов системы.

В процессе эвтектического превращения жидкий раствор затвердевает в виде ледебурита. Во всех сплавах системы с концентрацией углерода более 0,02% при температуре 727°C (линия PSK) происходит эвтектоидное превращение, причиной которого является полиморфное превращение $Fe_\gamma \rightarrow Fe_\alpha$. В результате эвтектоидного превращения происходит распад аустенита, приводящий к образованию перлита. Цементит может образовываться из жидкой и твердой фаз при различных температурах. Цементит, выделяющийся за счет изменения растворимости при понижении температуры из жидкой фазы, называют первичным, из аустенита — вторичным, а из феррита — третичным.

Фазовые превращения в сплавах при охлаждении могут быть проанализированы с помощью экспериментальных или теоретических температурных кривых охлаждения, построенных в координатах «температура - время».

Выбрав требуемый состав сплава (процентное содержание углерода) и отметив соответствующую этому составу точку на оси концентрации проводим вертикальную линию, пересекающую все линии диаграммы (рисунок 6.3). Точки пересечения вертикали с линиями диаграммы обозначает цифрами 1, 2, 3 и т.д. (сверху - вниз). Через эти точки проводим горизонтальные линии до

координат «температура - время». Соединяем горизонтальные линии ломанной кривой, показывающей охлаждение сплава, учитывая при этом, что в интервале температур фазовых превращений скорость охлаждения замедленна вследствие теплового: эффекта выделения скрытой теплоты кристаллизации (перекристаллизации).

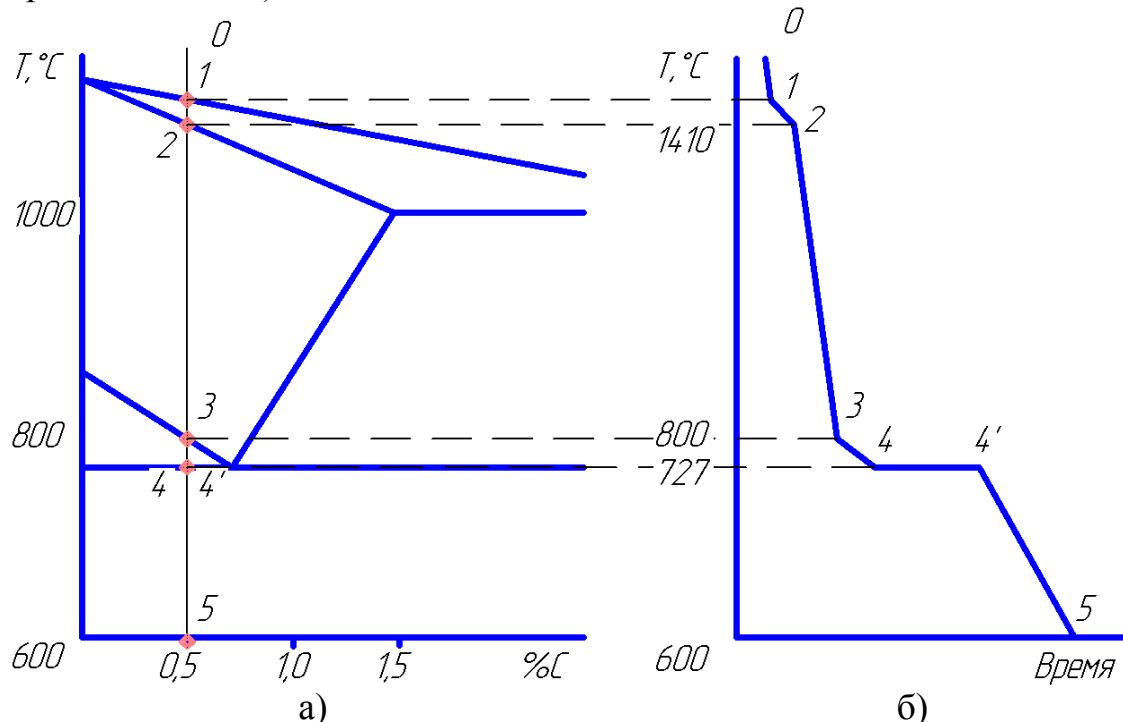


Рисунок 6.3 «Стальной» участок диаграммы состояния сплавов Fe - Fe₃C и теоретическая кривая охлаждения доэвтектоидной стали с 0,5 % углерода

Анализ кривой охлаждения заключается в рассмотрении фазовых превращений при охлаждении заданного сплава от жидкого состояния до комнатной температуры. Так, при охлаждении доэвтектоидной стали с содержанием 0,5% углерода происходят следующие превращения:

- 0-1 – охлаждение жидкого сплава;
- 1-2 – кристаллизация аустенита;
- 2-3 – охлаждение твердого сплава в состоянии аустенита;
- 3-4 – вторичная кристаллизация: выделение из аустенита феррита;
- 4-4' – вторичная кристаллизация: эвтектоидное (перлитное) превращение $A_{0,8\%} \rightarrow P(\Phi + \Psi)$;
- 4'-5 – охлаждение сплава со структурой феррит и перлит.

7 ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ ЖЕЛЕЗО-ЦЕМЕНТИТ

Диаграмма состояния сплавов Fe - Fe₃C используется, для нахождения и теоретического обоснования оптимального температурного режима обработки стали и чугуна (рисунок 6.4).

В металлургическом и литейном производстве устанавливаются температуры плавления и кристаллизации стали и чугуна с различным процентным содержанием углерода.

В кузнечно - штамповочном и прокатном производстве при горячей обработке стали давлением устанавливается рациональный интервал температур такой обработки, а также границы температур "пережога" стали.

В термическом производстве устанавливается температура нагрева при отжиге, закалке и отпуске изделий из стали и чугуна.

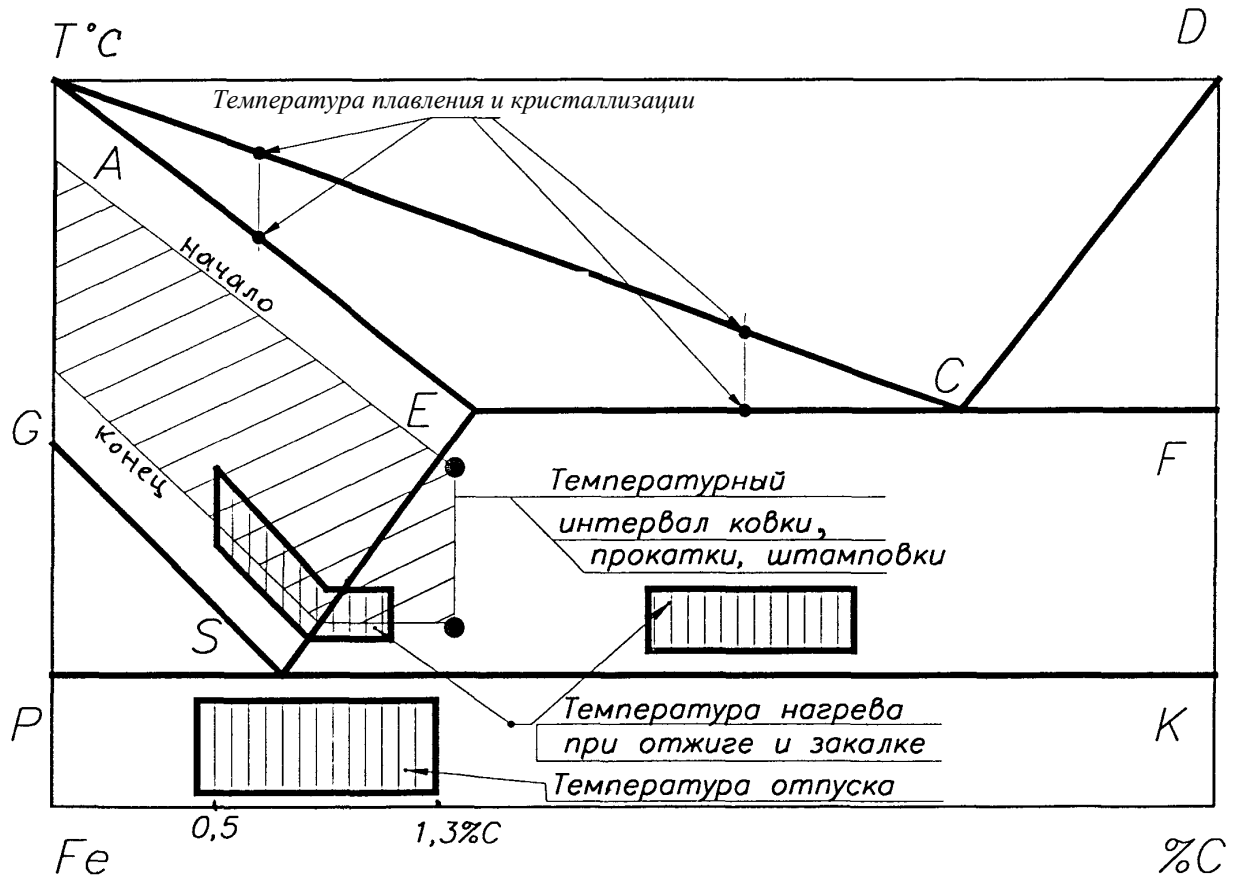


Рисунок 6.4 Температурный режим обработки изделий из стали и чугуна.

8 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

8.1 Ознакомится с материалом, изложенным в методическом указании (вычертить диаграмму Fe - Fe₃C с указанием температур превращений и концентраций углерода для характерных точек, указать фазы и структурные составляющие в различных областях диаграммы).

8.2 Построить теоретические кривые охлаждения, определить составы и весовое количество (в %) фаз и структурных составляющих при температурах для варианта, указанного преподавателем.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6.1 Варианты индивидуальных заданий

Номер варианта	Содержание углерода, %	Темпера- тура, 'C	Номер варианта	Содержание углерода, %	Темпера- тура, °C
1	0,05	820	13	1,6	900
		700			600
2	0,12	1480	14	2,3	1200
		650			800
3	0,16	1520	15	2,5	1300
		600			600
4	0,20	1470	16	2,8	1250
		650			800
5	0,35	1520	17	3,0	1200
		700			1000
6	0,40	750	18	3,5	1200
		600			600
7	0,50	1470	19	3,8	1170
		650			850
8	0,60	750	20	4,2	1150
		600			800
9	0,80	1450	21	4,5	1150
		650			700
10	1,0	1400	22	5,0	1200
		600			1000
11	1,2	760	23	5,5	1300
		700			600
12	1,4	800	24	6,0	1400
		650			800

Лабораторная работа № 7

**АНАЛИЗ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, ОБРАБОТАННЫХ
РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ОБЪЕМНОГО И
ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ****1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

1.1 Ознакомиться с условиями работы типовых деталей тракторов и автомобилей.

1.2 Изучить макроструктуру поверхностно упрочненных деталей машин.

1.3 Выбрать марку стали и установить вид термической обработки целесообразный для заданной детали.

2 ЗАДАНИЕ

2.1 Ознакомиться с типовыми условиями работы деталей тракторов и автомобилей.

2.2 Произвести измерение твердости поверхностно упрочненных деталей машин на различном расстоянии от поверхности, определить толщину упрочненного слоя.

2.3 Зарисовать макроструктуру шлифов образцов деталей машин.

2.4 Результаты измерений занести в тетрадь, сделать анализ полученных данных.

3 ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ И ИНСТРУМЕНТ

3.1 Твердомер типа ТК.

3.2 Образцы макрошлифов поверхностно упрочненных деталей машин.

3.3 Детали машин тракторов и автомобилей.

3.4 Плакаты по конструкции тракторов и автомобилей.

4 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Ниже приводится описание условий работы некоторых характерных деталей тракторов и автомобилей. Эти примеры охватывают практически все виды нагружений различных деталей тракторов, автомобилей и других машин.

При выполнении домашнего задания, пункта «Анализ условий работы деталей» можно использовать описание условий работы аналогичных деталей, приведенное ниже.

4.1 Кривошипно-поршневой узел (рисунок 7.1) двигателя внутреннего сгорания служит для преобразования поступательно-возвратного движения поршня в цилиндре двигателя во вращательное движение коленчатого вала с помощью кривошипно-шатунного механизма.

В кривошипно-поршневой узел входят: поршень с поршневыми кольцами, поршневой палец, шатун с втулкой и вкладышами, коленчатый вал.

Поршни работают в условиях высоких тепловых циклических нагрузок. Их изготавливают из деформируемых и литейных алюминиевых сплавов.

Поршневой палец служит для шарнирного соединения поршня с шатуном. При работе поршневой палец подвергается воздействию больших механических нагрузок, переменных по значению и направлению, поэтому он

должен быть прочным и жестким. Кроме этого поршневой палец должен быть износоустойчивым. Для получения твердого износостойкого верхнего слоя металла пальца и вязкой сердцевины, способной работать в условиях ударных нагрузок, палец подвергают поверхностной упрочняющей обработке. Если палец изготовлен из малоуглеродистой стали его подвергают цементации или нитроцементации, если из среднеуглеродистой – поверхностной закалке с нагревом токами высокой частоты, для уменьшения трения наружная поверхность пальцев полируется.

Шатун соединяет поршень с коленчатым валом и передает усилия, действующие на поршень коленчатому валу. Шатун должен быть прочным,

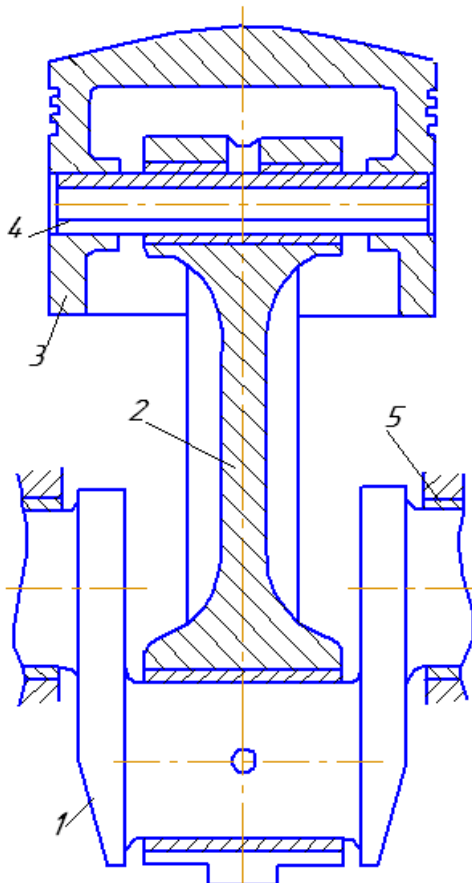


Рисунок 7.1 Кривошипно-поршневой узел двигателя

1-коленчатый вал, 2-шатун, 3-поршень, 4-поршневой палец, 5-подшипник скольжения коренной шейки коленчатого вала.

жестким и легким. Он имеет верхнюю и нижнюю цилиндрические головки, в отверстиях которых устанавливаются бронзовые втулки и вкладыши подшипников скольжения, стержень двутаврового сечения. При работе шатуны подвергаются нагрузке вдоль оси, а также поперечной изгибающей нагрузке от сил инерции. Эти нагрузки знакопеременны и носят ударный характер, поэтому шатуны должны обладать высокой усталостной и динамической прочностью. Шатуны штампуют из качественной и высококачественной углеродистой или легированной стали и подвергают термообработке. Такие же требования по прочности предъявляют к **шатунным болтам**, крепящим нижнюю крышку шатуна.

Коленчатый вал воспринимает через шатун усилия, действующие на поршни и передает их механизмам трансмиссии. От него приводятся в действие и различные механизмы двигателя.

При работе двигателя коленчатый вал нагружен периодически действующими силами от давления газов (передаваемых через шатун) и силами инерции возврата – поступательного движущихся и вращающихся частей. Под действием этих сил в коленчатом вале возникают циклически меняющиеся напряжения кручения и изгиба. Между поверхностями шеек вала возникают силы трения, вызывающие износ шеек. Вследствие того, что коленчатый вал подвергается многократным знакопеременным нагрузкам его служебная долговечность определяется прежде всего усталостной (циклической) прочностью (выносливостью).

Коленчатые валы штампуют из качественных углеродистых и низколегированных улучшаемых сталей или отливают из магниевого чугуна.

Для повышения твердости и износостойкости коренные и шатунные шейки стальных валов подвергают поверхностной закалке токами высокой частоты.

4.2 Клапанный механизм распределения (рисунок 7.2) обеспечивает впуск в цилиндры горючей смеси и выпуск отработанных газов.

Клапаны работают в условиях значительных механических и тепловых нагрузок. При поступательно-возвратном движении, клапана на его стержень и тарелку действуют циклические растягивающие нагрузки, конусный пояс тарелки, поверхность стержня в направляющей втулке и торец стержня подвергаются трению и изнашиванию. Во время работы двигателя впускные клапаны нагреваются до 300...400, а выпускные до 400...900. Клапаны изготавливают штамповкой из сталей удовлетворяющих следующим требованиям: достаточная прочность, твердость и износостойкость при высоких температурах; хорошая сопротивляемость термической и механической усталости; высокая окалиностойкость (для выпускных клапанов).

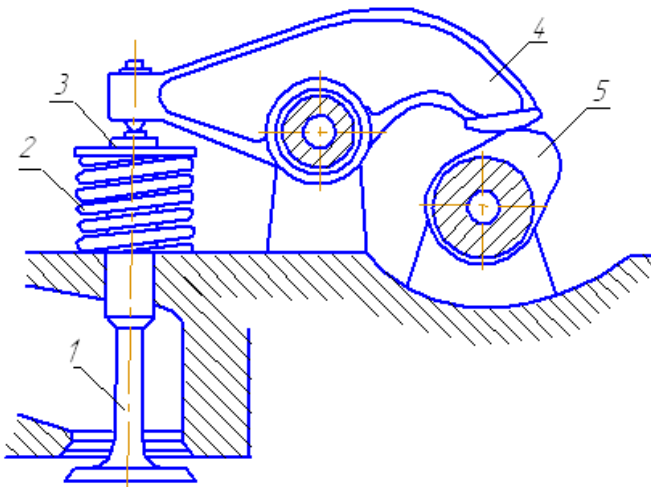


Рисунок 7.2 Клапанный механизм газораспределения

1-клапан, 2-пружина клапана, 3-направляющая втулка, 4-коромысло, 5- кулачек распределительного вала

По конструкции клапаны бывают цельными, сварными, с наплавкой специальным сплавом. Для впускных клапанов применяют конструкционные легированные или жаропрочные стали. Выпускные клапаны изготавливают из жаропрочных сталей различных марок (в зависимости от рабочих температур). Требуемые свойства клапанов достигаются термической обработкой.

Пружины клапанов испытывают при работе циклические напряжения расширения и сжатия. Для изготовления пружин применяют углеродистую и легированную конструкционную сталь высокой прокаливаемости. Пружины после термической обработки должны обладать высокими значениями пределов упругости и усталостной прочности при достаточной вязкости.

Для повышения выносливости и долговечности пружина после термической обработки может подвергаться поверхностному наклепу путем дробеструйной обработки.

Коромысла клапанов работают в условиях высоких удельных нагрузок, а именно поверхность, соприкасающаяся с кулачком распределительного вала, которая испытывает сильное трение.

Коромысла изготавливают штамповкой из углеродистых конструкционных сталей а также литьем из ковкого перлитного чугуна.

Распределительные валы при помощи кулачков через коромысла открывают и закрывают клапана. Поверхность кулачков испытывает при

вращении вала сильное трение и изнашивание в условиях больших контактных нагрузок и при недостатке смазки, которая выдавливается из зоны контакта между кулачком и коромыслом. В результате в зоне контакта происходит кратковременный нагрев, достигающей температуры 300...600С, что может вызвать изменение структуры и снижение твердости, а также термическую усталость металла. Опорные шейки распределительных валов также подвергаются изнашиванию при трении в подшипниках скольжения, а сами валы испытывают нагрузки изгиба и кручения.

Распределительные валы изготавливают из конструкционных углеродистых улучшаемых или легированных цементируемых сталей, а также литьем из стали или чугуна. Применяются такие чугунные валы с отбеленными кулачками, не требующие термической обработки.

4.3 Коробка передач преобразует крутящий момент по величине и направлению для подачи его от двигателя к ведущему мосту автомобиля или трактора. Механическая коробка передач состоит из шестерен, валов с опорами и уплотнениями, механизма переключения передач. Шестерни, валы, подшипники (рисунки 7.3 и 7.4) коробок передач несут большие нагрузки.

Шестерни коробок передач при работе испытывают ударные нагрузки, а поверхность зубьев – трение при больших контактных нагрузках. Шлицы посадочных отверстий шестерен испытывают сминающие нагрузки, а у шестерен, перемещаемых по валам также сминающие и изнашивание. Изнашиванию подвергаются поверхность кольцевых выточек шестерен, в которые входят вилки переключения и концы вилок. Шестерни коробки передач изготавливают штамповкой из легированных конструкционных цементируемых сталей.

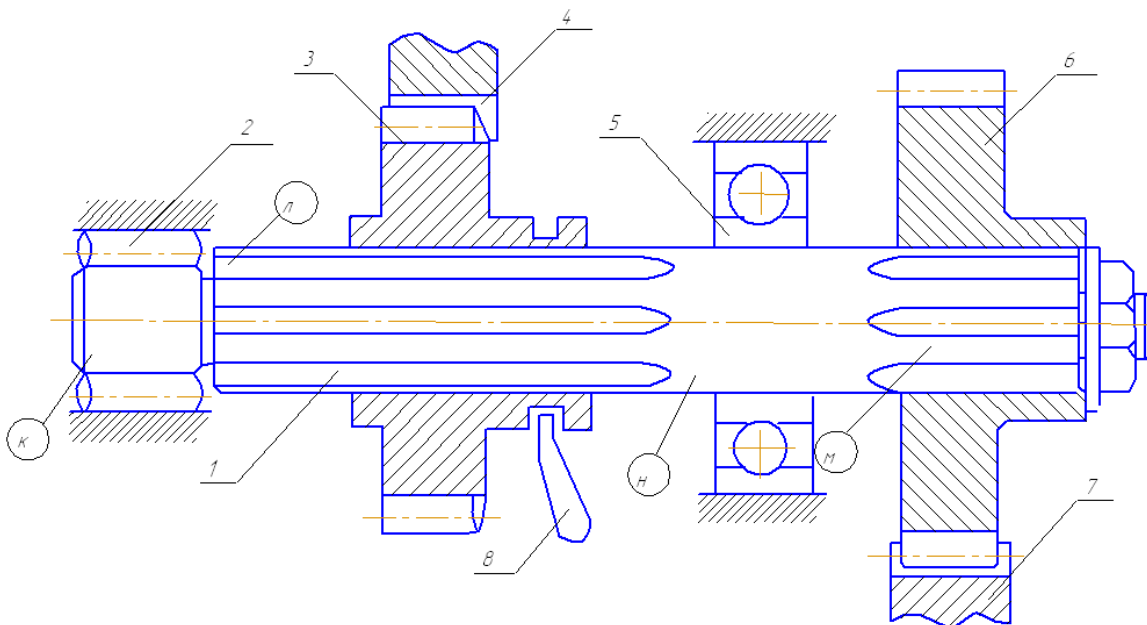


Рисунок 7.3 Узел коробки перемены передач (КПП)

1-шлицевой вал, 2-ролик подшипника, 3-подвижная шестерня, 4-шестерня, 5-шарикоподшипник, 6-неподвижная шестерня, 7-шестерня, 8-вилка переключения

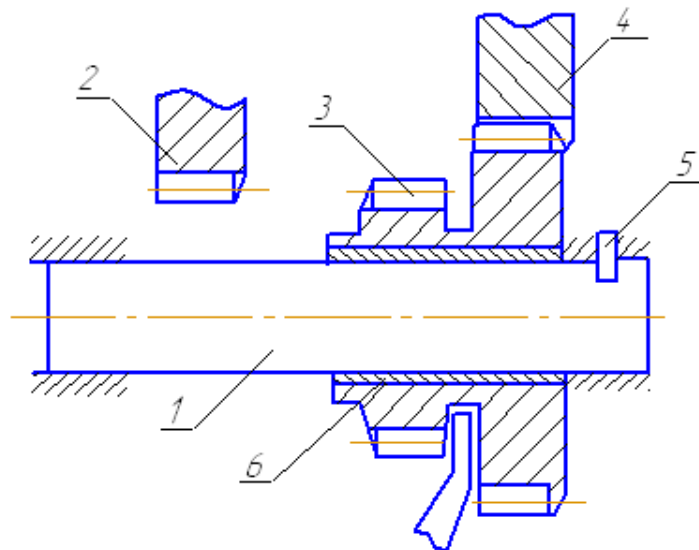


Рисунок 7.4 Узел коробки перемены передач (КПП)
1-ось; 2-шестерня; 3-блок шестерен; 4-шестерня; 5-фиксатор;
6-подшипниковая втулка.

Валы коробок передач часто имеют шлицы для соединения с шестернями, установленными на них. Валы в основном двухопорные, на шариковых или роликовых подшипниках качения. При работе, вал испытывает напряжения изгиба и кручения, поверхность шлицов работает на смятие и испытывает трение. Валы должны иметь высокую жесткость, так как деформация ведет к нарушению правильного зацепления шестерен, быстрому их износу и разрушению подшипников.

Валы коробок передач изготавливают из проката легированной или углеродистой конструкционной улучшаемой или цементируемой стали и подвергают термической или химико-термической обработке. Для некоторых валов по условиям их работы требуется различная твердость разных участков вала. Так поверхность «К» шлицевого вала требует очень высокой твердости вследствие больших контактных нагрузок от роликов подшипников качения, а поверхности «Л», «Н», и «М» должны иметь меньшую твердость.

Подшипники качения шариковые или роликовые испытывают при работе значительные статические нагрузки при очень больших контактных нагрузках, изготавливаются штамповкой и прокаткой из шарикоподшипниковой стали и подвергаются термической обработке на высокую твердость.

4.4 Узел поддерживающего ролика (рисунок 7.5) входит в ходовую часть (гусеничный движитель) трактора. Ролики уменьшают и препятствуют боковому смещению гусеницы.

Ролик подвергается сильному трению о поверхность гусеницы и абразивному изнашиванию. Изготавливается литьем из углеродистой стали и поверхностно закаливается.

Ось поддерживающего ролика испытывает значительные изгибающие нагрузки, так как закреплена консольно в корпусе. Ось изготавливают из проката углеродистой конструкционной улучшаемой стали.

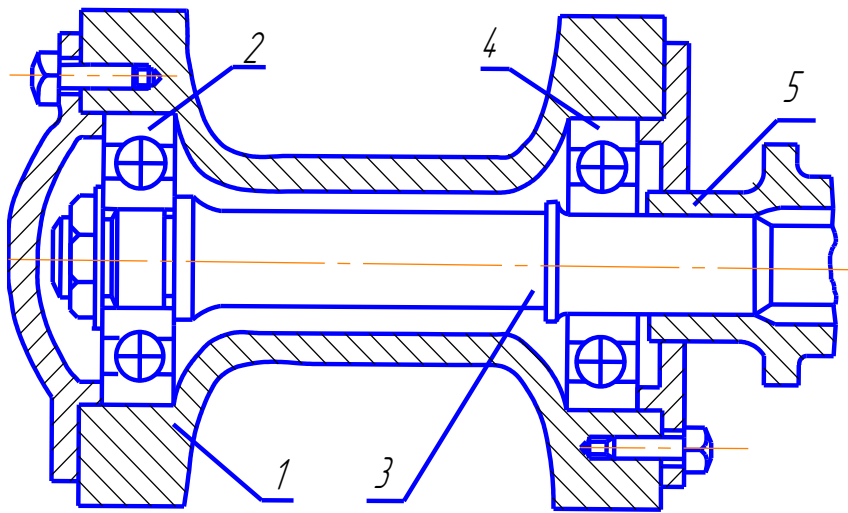


Рисунок 7.5 Узел поддерживающего ролика

1-поддерживающий ролик, 2, 4-шарикоподшипники, 3-ось, 5-кронштейн.

Классификация деталей машин по условиям работы, применяемым сталям и видам упрочняющей обработки.

В зависимости от условий работы деталей различных машин их можно разделить на следующие группы:

1 Детали, подвергающиеся только статическим или динамическим нагрузкам (изгиб, растяжение, кручение без ударов либо с ударами) - оси, шатуны, рычаги, пружины, рессоры.

Группа сталей - *улучшаемые* (0,35...0,55%С), марки – 35, 40, 45, 50, 55, 35Х, 38ХС, 40Х, 40Г, 45Х, 40ХН, 40ХНМА и др.; структура – сорбит отпуска, твердость HRC30.

Группа сталей - *рессорно-пружинные* (0,5...0,8%С) , марки – 65, 70, 75, 80, 85, 65Г, 50ХФА, 50ХГ, 70С2 А и др.; структура – троостит отпуска, твердость HRC45.

Стали этих групп должны иметь полную прокаливаемость.

2 Детали, подвергающиеся статическим или динамическим нагрузкам с одновременным трением скольжения.

2.1 Детали простой геометрической формы: валы (гладкие и шлицевые), пальцы, кулачки, крестовины дифференциалов, зубчатые колеса постоянного зацепления, коленчатые валы и др.

Группа сталей – *закаливаемые* (улучшаемые (0,4...0,6% С) с низкой прокаливаемостью, марки – 40, 45, 50, 55, 60, 40Х, 40Г, 50Х, 50Г и др.; структура: поверхность (после поверхностной закалки) – отпускаемый мартенсит, твердость HRC55...58; сердцевина – феррит + перлит или сорбит отпуска, твердость HRC25...30.

2.2 Детали сложной геометрической формы: зубчатые колеса переменного зацепления, червяки, крестовины карданов и др.

Группа сталей – цементируемые (0,1...0,3%С), марки - 20, 25, 30, 20Х, 18ХГТ, 20ХГНР и др.; структура: поверхность – отпускаемый мартенсит + карбиды, твердость HRC60; сердцевина – отпускаемый мартенсит, твердость HRC30...40.

3 Детали, подвергающиеся высоким контактными нагрузкам, при трении качения или трении скольжения «сталь по стали», входящие в узлы и агрегаты с высокими требованиями по точности и надежности.

3.1 Детали простой геометрической формы: валы, пальцы, зубчатые колеса, кулачки и др.

Группа сталей – поверхностно-закаливается с пониженной прокаливаемостью (0,55...0,60% С), марки – 55пп, 60пп.; структура: поверхность - отпускаемый мартенсит, твердость HRC60; сердцевина – феррит + перлит или сорбит, твердость HRC25...30.

Группа сталей – шарикоподшипниковые, с глубокой прокаливаемостью (1% С, ≈1,5% Cr), ШХ15, ШХ15СГ; структура: отпускаемый мартенсит + карбиды, твердость HRC60...65.

3.2 Детали сложной геометрической формы: шестерни переменного зацепления, крестовины карданов, червяки, ролики червяков, гильзы цилиндров, коленчатые валы и др.

Группа сталей – цементируемые (0,1...0,3% С), марки – 18ХГТ, 12Х2Н4А, 20Х2Н4А, 20ХН3А и др.; структура: поверхность – отпускаемый мартенсит + карбиды, твердость HRC>60, сердцевина – низкоуглеродистый отпускаемый мартенсит, твердость HRC30...40.

Группа сталей – азотируемые (0,35...0,40% С), марки – 38ХМЮА, 38ХНЗМА;...40ХНМА и др.; структура: поверхность – слой нитридов, твердость HRC70, сердцевина – сорбит отпуска, твердость HRC30.

5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.1 Ознакомится с материалом, изложенным в методическом указании (привести классификацию деталей машин по условиям работы, применяемым сталям и видам упрочняющей обработки).

5.2 Измерить твердости поверхностно упрочненных деталей машин на различном расстоянии от поверхности; результаты занести в таблицу 7.1.

5.3 Зарисовать макроструктуру шлифов образцов деталей машин.

5.4 Указать особенности макроструктуры рассмотренных сплавов, их относительные свойства (по долговечности, ударной стойкости, экономической эффективности), привести дополнительные примеры их рационального применения.

Таблица 7.1 Результаты измерения твердости

Материал (изделие)	Термообработка	Расстояние от поверхности, мм	Твердость, HRC

Лабораторная работа № 8

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛЕЙ**1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

- 1.1 Изучить теоретическую часть работы.
- 1.2 Выбрать различные операции термической обработки в зависимости от требуемых свойств изделия.
- 1.3 Установить режим термической обработки для выбранных операций.

2 ЗАДАНИЕ

- 2.1 Провести термическую обработку заданных образцов.
- 2.2 Провести оценку влияния термической обработки на структуру и свойства углеродистой стали.

3 ОСНОВЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Термической обработкой стали называется технологический процесс, состоящий из нагрева стальных заготовок, деталей или инструментов до определенных температур, выдержки и последующего охлаждения с заданной скоростью. Целью термической обработки является изменение структуры стали и получение требуемых свойств.

Термическая обработка основана на вторичных фазовых превращениях в структуре стали при её нагреве и охлаждении. Вторичные фазовые превращения (превращения в твердом состоянии) вызываются аллотропией железа, то есть способностью железа при нагреве и охлаждении изменять строение кристаллической решетки $\text{Fe}_\alpha \rightleftharpoons \text{Fe}_\gamma$

3.1 ВИДЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Основные виды термической обработки стали – отжиг, нормализация, закалка и отпуск.

Отжиг и нормализация относятся к операциям предварительной обработки. Такой термической обработке подвергаются заготовки (поковки, отливки, сварные заготовки) с целью снижения твердости и улучшения обрабатываемости на металлорежущих станках.

Закалка и отпуск относятся к операциям окончательной термической обработки, применяемой для готовых деталей или инструментов. Целью закалки является получение высокой твердости, прочности и износостойкости. Отпуск служит вспомогательной операцией после закалки с целью уменьшения хрупкости закаленной стали или получения требуемого комплекса свойств (высокой упругости, высокой вязкости в сочетании с достаточно высокой прочностью и др.)

3.2 РЕЖИМ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ.

Любой режим термической обработки определяется двумя факторами: температурой и временем и может быть представлен графически в координатах «время-температура». Температура нагрева для отжига, нормализации и закалки определяется положением критических точек A_1 , A_3 и A_{cm} . При изменении времени охлаждения (скорости охлаждения) изменяется характер фазовых (структурных превращений) стали, обуславливающих получение

разных структур, имеющих различные свойства. При отжиге и нормализации изделия охлаждаются медленно (соответственно в печи и на воздухе), а при закалке – быстро (в воде или масле). Температура нагрева при отпуске не превышает нижней критической точки A_1 .

Графическое изображение основных операций термической обработки показано на рисунке 8.1.

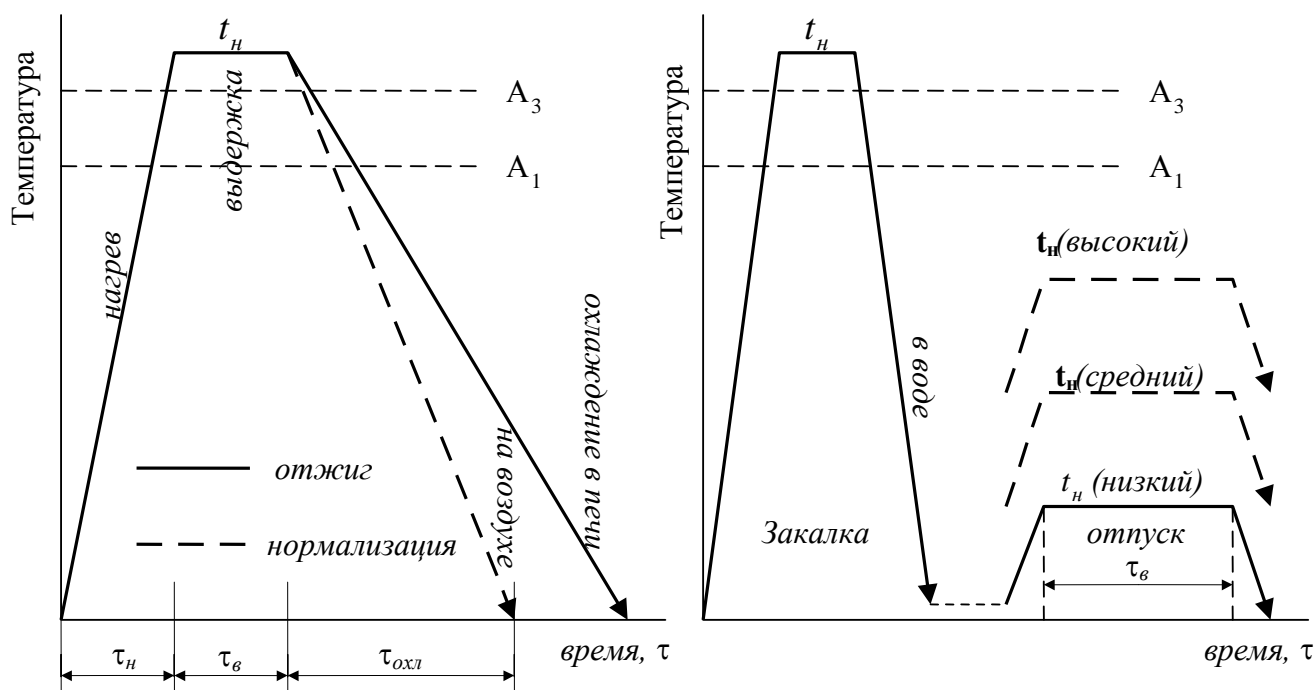


Рисунок 8.1 Графическое изображение отжига, нормализации, закалки и отпуска: t_n – температура нагрева; τ_n , $\tau_в$ и $\tau_{охл}$ – время нагрева, выдержки и охлаждения, соответственно.

3.3 ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

При термической обработке стальных заготовок, деталей или инструментов могут происходить следующие фазовые превращения:

3.3.1 При нагреве выше критических точек A_1 и A_3 $Fe_\alpha + Fe_3C \rightarrow Fe_\gamma(C)$, то есть превращение ПЕРЛИТА, состоящего из механической смеси кристаллов ФЕРРИТА и ЦЕМЕНТИТА, в АУСТЕНИТ.

3.3.2 При медленном охлаждении $Fe_\gamma(C) \rightarrow Fe_\alpha + Fe_3C$, то есть диффузионное превращение АУСТЕНИТА в ПЕРЛИТ.

3.3.3 При быстром охлаждении $Fe_\gamma(C) \rightarrow Fe_{\alpha т}(C)$, то есть бездиффузионное превращение АУСТЕНИТА в МАРТЕНСИТ.

3.3.4 При нагреве закаленной стали не выше нижней точки A_1

$Fe_{\alpha т}(C) \rightarrow Fe_\alpha + Fe_3C$, то есть превращение МАРТЕНСИТА в ПЕРЛИТ.

3.4 ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Разработка технологического процесса термической обработки заключается в выборе оборудования и назначении режимов обработки: температуры нагрева, времени нагрева и выдержки, скорости охлаждения.

3.5 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ

Применяемое оборудование, прежде всего, нагревательное устройство, зависит от вида термической обработки – предварительной (отжиг, нормализация) или окончательной (закалка и отпуск).

Отжигу и нормализации подвергаются заготовки с целью снижения твердости и улучшения обрабатываемости, а также для подготовки структуры стали для окончательной термообработки. В этом случае, при нагреве не требуется защита поверхности заготовок от окисления и обезуглероживания, так как после термообработки проводится механическая обработка заготовок, при которой с поверхности снимается слой металла на глубину значительно превышающую глубину возможных дефектов, вызванных длительным нагревом.

Закалке с отпуском подвергаются готовые изделия – детали и инструменты, а, следовательно, необходимо защитить рабочие поверхности от окисления и обезуглероживания, чтобы избежать снижения эксплуатационных свойств изделий (твердости, износостойкости и выносливости). Нагревательные устройства в этом случае должны обеспечить защиту поверхности изделий от возможных дефектов вызванных нагревом.

3.6 РЕЖИМ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

3.6.1 Температура нагрева при отжиге, нормализации и закалке изделий из углеродистой стали приближенно выбирается по диаграмме состояния «железо-углерод» в зависимости от процентного содержания углерода в стали, а более точно – по справочным данным.

Для доэвтектоидных сталей температура нагрева t_n ($^{\circ}\text{C}$) определяется по формуле

$$t_n = A_{c3} + (30 \dots 50)^{\circ}\text{C},$$

где A_{c3} – критическая точка стали при нагреве, соответствующая линии GS диаграммы «железо-углерод».

Для эвтектоидных и заэвтектоидных сталей температура нагрева t_n ($^{\circ}\text{C}$) определяется по формуле

$$t_n = A_{c1} + (30 \dots 50)^{\circ}\text{C},$$

где A_{c1} – критическая точка стали, соответствующая линии PSK диаграммы «железо-углерод».

3.6.2 Температура нагрева при отпуске после закалки устанавливается по справочным данным в зависимости от требуемых по условиям работы изделия свойств и, в первую очередь, твердости. При этом можно использовать также графики изменения твердости в зависимости от температуры отпуска для соответствующих марок сталей. Для деталей и инструментов из углеродистой стали разных марок, температура нагрева в зависимости от выбранного вида отпуска устанавливается в следующих пределах:

- для низкотемпературного отпуска $170 \dots 200^{\circ}\text{C}$;
- для среднетемпературного отпуска $400 \dots 450^{\circ}\text{C}$;
- для высокотемпературного отпуска $550 \dots 650^{\circ}\text{C}$.

3.6.3 Время нагрева в минутах и выдержки при отжиге, нормализации и закалке зависит от способа нагрева, среды нагрева, формы изделий и других факторов и приближенно определяется по формуле

$$\tau = (0,7 \dots 1,0) \bullet D,$$

где τ – время нагрева и выдержки, мин.;

D – диаметр или толщина изделия, мм.

Продолжительность отпуска устанавливается в зависимости от размеров изделия в пределах 1 ... 3 часа.

3.6.4 Скорость охлаждения обуславливается видом операции термической обработки.

При отжиге она минимальная и составляет 0,05 ... 0,1 °C/с (охлаждение вместе с печью).

При нормализации – 1 ... 10 °C/с (охлаждение на спокойном воздухе).

При закалке в масле – 50 ... 100 °C/с, а при закалке в воде – 350 ... 500 °C/с, что превышает критическую скорость закалки.

Критическая скорость закалки $V_{кр}$ (°C/с) – минимальная скорость охлаждения, при которой образуется только мартенситная структура, определяется по формуле:

$$V_{кр} = \frac{Ar_1 - t_{min}}{1,5 \times \tau_{min}}$$

где Ar_1 – температура критической точки, °C;

t_{min} – температура минимальной устойчивости аустенита, °C;

τ_{min} – время минимальной устойчивости аустенита, с.

Все эти величины для каждой заданной марки стали можно установить по соответствующей диаграмме изотермического или термокинетического превращения аустенита.

На рисунке 8.2 приведена схема диаграммы изотермического превращения аустенита углеродистой стали с содержанием углерода 0,8%.

Скорость охлаждения при отпуске изделий из углеродистой стали не лимитируется.

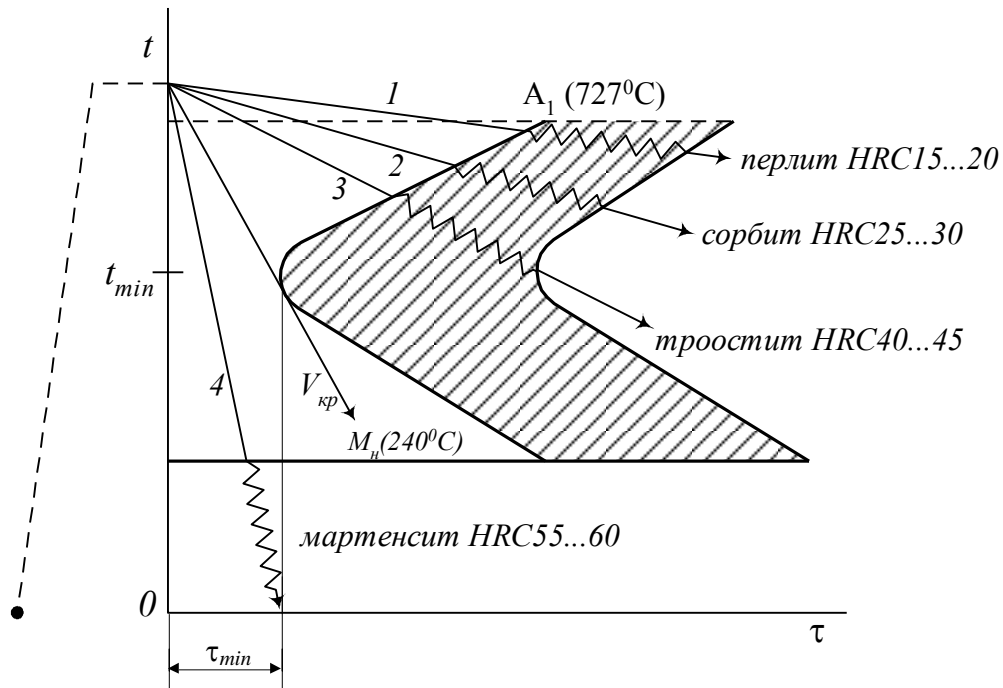


Рисунок 8.2 Схема диаграммы изотермического превращения аустенита
1 – отжиг; 2 – нормализация; 3 – закалка в масле; 4 – закалка в воде

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

4.1 В соответствии с заданием преподавателя выбрать вид и режим термической обработки для конкретного изделия. На образцах из стали разных марок установить влияние различных видов термической обработки на структуру и механические свойства стали, для чего:

- измерить исходную твердость образцов;
- провести термическую обработку по установленным режимам (см. пункт 3.6);
- измерить твердость образцов после термической обработки;
- по справочным данным установить структуру стали в образцах до и после термической обработки, ориентируясь по величине твердости, а также другие механические свойства.

4.2 Занести в протокол данные о виде и режиме термической обработки, а также результаты измерения твердости и оценки структуры и механических свойств стали.

4.3 По результатам работы сделать выводы, в которых необходимо отметить следующее:

- какие механические, технологические и эксплуатационные свойства можно получить в результате применения различных видов термической обработки;
- какие конкретные изделия (заготовки и детали автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных машин, технологического оборудования, а также инструменты для обработки заготовок) необходимо подвергать тем или иным видам (операциям) термической обработки для получения нужных механических, технологических и эксплуатационных свойств.

Лабораторная работа № 9

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

1.1 Ознакомиться с технологией термической обработки электротехнических материалов;

1.2 Проанализировать происходящие превращения в структуре металлов и сплавов;

1.3 Установить влияние термической обработки на механические, электрические и магнитные свойства металлов и сплавов, применяемых в электротехнике.

2 МАТЕРИАЛЬНОЕ ОСНАЩЕНИЕ

2.1 Электродпечь сопротивления;

2.2 Термоэлектрический пирометр;

2.3 Твердомер Роквелла;

2.4 Пресс (механический или гидравлический) с усилием до 30 кН;

2.5 Стенд для измерения электросопротивления «методом двойного моста», или «методом амперметра-вольтметра»;

2.6 Набор образцов из электропроводниковых меди и алюминия; электродной бронзы, постоянных магнитов.

3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

К электротехническим металлическим материалам, подвергаемым термической обработке, относятся следующие:

1) **Проводниковые материалы высокой проводимости:** медь, алюминий, ряд их сплавов с низким удельным электрическим сопротивлением, электротехническая сталь.

2) **Магнитные материалы:** *магнитомягкие* — для магнитопроводов трансформаторов и электрических машин и *магнитотвердые* — для постоянных магнитов.

Термическая обработка указанных материалов проводится с целью:

1) Придать электротехническому материалу необходимые *физические* — *электрические* или *магнитные* свойства.

2) Придать электротехническому материалу необходимые *механические*, *технологические* или *эксплуатационные* свойства.

4 ВИДЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В зависимости от вида электротехнического материала и необходимости получения требуемых физических или механических свойств на практике применяют следующие операции термической обработки:

1) **Рекристаллизационный отжиг** — для устранения наклепа, возникшего при холодной обработке давлением (волочение, холодная листовая прокатка и т.п.) и повышения технологической пластичности.

2) **Закалка** (дисперсионно-твердеющих сплавов), **старение** или **отпуск** для повышения прочности, твердости, упругости и износостойкости.

3) **Закалка** (сплавов с полиморфным превращением), **отпуск** — для получения мартенситной структуры с требуемыми магнитными свойствами.

Все указанные виды термической обработки отличаются друг от друга как технологией проведения, так и механизмом превращений, происходящих в структуре материалов.

5 НАЗНАЧЕНИЕ И РЕЖИМ РАЗЛИЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

5.1 **Рекристаллизационному** отжигу подвергаются следующие электро-технические материалы:

- проволока из меди, алюминия и других проводниковых материалов и сплавов (сплавы для резисторов; термоэлектродов термопар; нагревательных элементов и др.), требующая по условиям монтажа электрических изделий и оборудования высокой технологической пластичности (обмоточные провода, проволочные электронагревательные элементы и др.);

- листы и лента из магнитомягкой электротехнической стали, структура которой после этого становится крупнозернистой, что обуславливает для магнитопроводов трансформаторов и сердечников статоров и роторов электромашин высокую магнитную проницаемость и низкую коэрцитивную силу. Температура рекристаллизационного отжига зависит от температуры плавления металла или сплава:

для металлов высокой чистоты

$$T_{\text{рекр}}^{\text{абс}} = (0,1 \dots 0,2) \times T_{\text{плав}}^{\text{абс}},$$

для металлов технической чистоты

$$T_{\text{рекр}}^{\text{абс}} = (0,3 \dots 0,4) \times T_{\text{плав}}^{\text{абс}};$$

для сплавов

$$T_{\text{рекр}}^{\text{абс}} = (0,6 \dots 0,8) \times T_{\text{плав}}^{\text{абс}};$$

где $T_{\text{плав}}^{\text{абс}} = t_{\text{плав}}^{\circ} C + 273^{\circ}$; $T_{\text{рекр}}^{\text{абс}} = t_{\text{рекр}}^{\circ} C + 273^{\circ}$.

Некоторые температурные характеристики проводниковых металлов технической чистоты, подвергаемые рекристаллизационному отжигу, приведены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 Температурные характеристики проводниковых металлов

Металл	Температура плавления, °C	Температура рекристаллизации, °C	Температура рекристаллизационного отжига, °C
Железо	1539	460	600-700
Медь	1083	270	460-600
Алюминий	667	60	260-460

В некоторых случаях проводится двукратный рекристаллизационный отжиг. Так, полный цикл получения и термической обработки магнитомягкой электротехнической стали заключается в следующем:

- Выплавка стали в электропечах.
- Горячая прокатка сляба до толщины листа 2,5 мм.
- Рекристаллизационный отжиг при 800 °C.

2) Холодная прокатка до толщины листа 0,35...0,50 мм,

3) Отжиг при 1100...1200°C в атмосфере водорода для устранения наклепа и укрупнения зерна с охлаждением после отжига со скоростью менее 50°C/ч.

5.2. Закалке и старению или закалке и отпуску подвергаются медные и алюминиевые сплавы высокой проводимости для повышения прочности и твердости, что обеспечивает такие эксплуатационные свойства как:

-надежность токонесущих проводов воздушных линий электропередач от обрывов;

-прочность на смятие электродов машин контактной сварки;

-упругость и износостойкость разрывных и скользящих контактов.

К ним относятся такие сплавы как АД31 (Al-Mg-Si), БрБ2 (Cu-Be) и др. Структура данных сплавов представляет собой ограниченный твердый раствор второго компонента и легирующих добавок в основном компоненте с уменьшающейся при снижении температуры растворимостью и образованием избыточных фаз (см. схему диаграммы состояния сплавов Cu-Be). Эти сплавы характеризуются способностью к дисперсионному твердению, т.к. выделяющаяся избыточная фаза отличается большой твердостью.

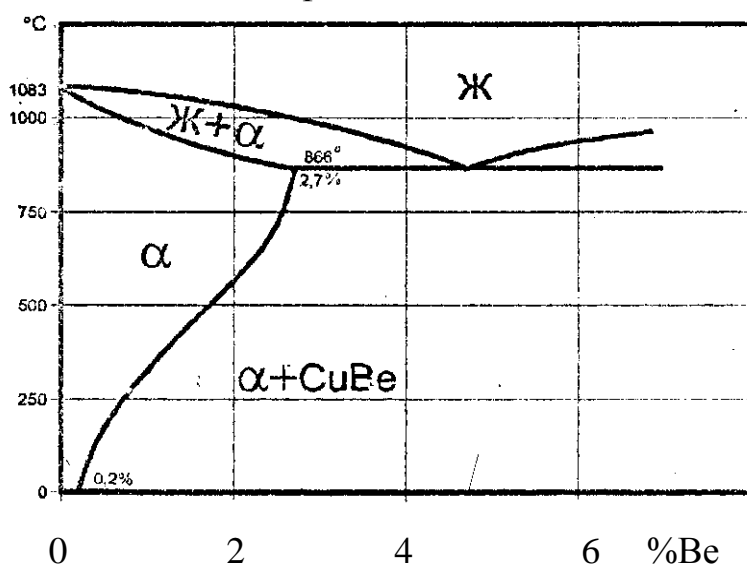


Рисунок 9.1 Схема диаграммы состояния сплавов Cu-Be

Термическая обработка изделий (электроды контактных машин и др.) из бериллиевой бронзы БрБ2 (2% Be, ост. Си) заключается в следующем:

1) Закалка при 800 °C в воде (смягчение).

2) Искусственное старение при 300...350 °C (твердение).

После закалки сплав приобретает следующие механические свойства:

НВ 1000; $\sigma_b = 500$ МПа, $\delta = 30\%$, а после старения: НВ 3700, $\sigma_b = 1200$ МПа, $\delta = 4\%$. Электропроводность бериллиевой бронзы составляет около 30% от электропроводности химической чистой меди.

Термическая обработка изделий (провода воздушных линий электропередач) из сплава АД31 (0,3...0,5% Mg, 0,4...0,7 % Si, 0,2...0,3% Fe, ост. Al), называемого «альдрей», заключается в следующем:

1) Закалка катанки в воде при температуре 510...550 °C.

2) Волочение до требуемого диаметра проволоки.

3) Искусственное старение при 150 °С.

Вследствие выделения дисперсных твердых частиц Mg_2Si повышается прочность сплава: $\sigma_B = 350$ МПа, $\delta = 6\%$. Физические свойства сплава после термической обработки:

удельное электрическое сопротивление $\rho = 0,0317$ мкОм×м, температурный коэффициент электрического сопротивления $\alpha_p(TK_p) = 0,0036$ °С⁻¹ плотность $\gamma = 2,7$ т/м³.

5.3 Закалке и отпуску подвергаются постоянные магниты из легированной стали с целью создания мартенситной структуры и получения высокой коэрцитивной силы и высокой остаточной индукции.

Термическая обработка стали для постоянных магнитов, на примере стали EX3 (0,9... 1,10% С; 2,8... 3,6% Cr, ост. Fe), заключается в следующем:

- 1) Нормализация (1-я воздушная закалка) при 1050 °С.
- 2) Нагрев до температуры 840... 860 °С с закалкой (2-й) в воде или масле.
- 3) Обработка холодом при температуре 70 °С.
- 4) Отпуск при 100 °С.

Магнитные свойства стали EX3 после термической обработки: остаточная магнитная индукция $B_r = 0,95$ Тл, коэрцитивная сила $H_c = 4800$ А/м, максимальная удельная магнитная мощность $W_{max} = 1,2$ кДж/м³.

Для постоянных магнитов из сплавов типа «алнико» ЮНДК15 (20%Ni, 9% Al, 15%Co, 4% Si, ост. Fe) применяется закалка в магнитном поле. Полный цикл такой термомагнитной обработки заключается в следующем:

- 1) Нагрев до 1300°С.
- 2) Помещение изделия между полюсами электромагнита при напряженности поля $H \geq 120000$ А/м.
- 3) Быстрое охлаждение (закалка) до 500 °С.
- 4) Дальнейшее охлаждение на воздухе.
- 5) Отпуск при 625°С.

После такой обработки магнитные свойства сплава становятся анизотропными, его магнитные характеристики (B_r , H_c , $B_r \times H_c$) сильно возрастают в направлении приложенного магнитного поля (магнитная текстура) и составляют: $B_r = 0,75$ Тл, $H_c = 50000$ А/м, $W_{max} = 6,0$ кДж/м³.

6 СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Работа выполняется в аудитории, в часы занятий по расписанию и во внеурочное время, самостоятельно и состоит из двух частей - аналитической и экспериментальной.

При выполнении аналитической части необходимо:

1) Ознакомиться с видами термической обработки электротехнических материалов, используя настоящие методические указания и рекомендованную литературу.

2) Изобразить графически, в координатах «время – температура» основные операции термической обработки электротехнических материалов – отжиг, закалка, отпуск или искусственное старение, указав температурные и другие параметры режима.

3) Провести анализ фазовых превращений, происходящих при различных операциях термической обработки, указав природу и характерные особенности образовавшихся фаз, используя материал лекций и учебную литературу по предмету.

При выполнении экспериментальной части необходимо:

1) Установить тип, марку (точно или примерно), химический состав и назначение металлов и сплавов, взятых в качестве образцов.

2) Оценить способность данных металлов и сплавов изменять структуру и свойства при термообработке, используя проведенный ранее анализ (см. пункт 3 аналитической части).

3) Выбрать и обосновать вид термической обработки образцов, установить режим отдельных операций (используя данные методические указания, рекомендуемую литературу, справочные материалы).

4) Измерить исходные физические и механические свойства образцов (твердость HRB, электросопротивление и др.).

5) Провести термическую обработку под руководством преподавателя или лаборанта.

6) Измерить физические и механические свойства образцов после термической обработки.

7) Оформить протокол работы (таблица 9.1) и сделать выводы о влиянии различных операций термической обработки на структуру, физические, механические и технологические свойства электротехнических материалов.

7 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА О РАБОТЕ

1 Цель работы.

2 Краткое содержание разделов «Общие положения» и «Виды термической обработки электротехнических материалов».

3 Графики - схемы основных операций термической обработки.

4 Анализ фазовых превращений при термической обработке.

5 Результаты практической части работы, включая протокол и выводы по работе.

Таблица 9.1 Протокол результатов термической обработки электротехнических материалов

№	Вид материала, название изделия	Характеристика материала		Вид и название термической обработки	Наименование операции и режим термической обработки	Свойства материала		
		Марка, ГОСТ	Хим. состав или содержан. примесей			Физические	Механические	Технологические

Примечание: 1) В графе "Свойства материала*" указываются электропроводность (ρ , мкОм·м), твердость (HRB или HRC), технологические свойства - число перегибов проволоки и др.

2) В числителе указываются величины свойств до термообработки, в знаменателе - после термообработки.

Лабораторная работа № 10

**ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СПЛАВОВ
ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ****1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Изучить особенности микроструктуры сплавов цветных металлов, их свойства и области применения.

2 ЗАДАНИЕ

2.1 Изучить микроструктуру сплавов цветных металлов.

2.2 Зарисовать схемы микроструктур.

2.3 Указать особенности строения, свойства и применение изученных материалов.

3 ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ И ИНСТРУМЕНТ

3.1 Металлографические микроскопы МИМ-7.

3.2 Твердомер Роквелла, типа ТК.

3.3 Наборы микрошлифов сплавов цветных металлов.

3.4 Плакаты по разделу «Сплавы цветных металлов».

3.5 Образцы и натурные детали из сплавов цветных металлов

4 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Сплавы цветных металлов - медные: Cu-Zn, Cu-Sn, Cu-Pb, Cu-Al, Cu-Be и др.; алюминиевые: Al-Mg, Al-Mn, Al-Cu, Al-Si, а также оловянные, свинцовые, цинковые и др. образуют, как правило, диаграммы состояния III типа - с ограниченной растворимостью компонентов и диаграммы IV типа - с образованием устойчивого химического соединения.

Сплавы цветных металлов практически не применяются для изготовления нагруженных деталей машин вследствие более низкой, по сравнению со сталями и чугунами, прочности. Вместе с тем они обладают рядом характерных свойств, определяющих области их применения.

4.1 Свойства сплавов цветных металлов.

- Высокие литейные свойства: низкая температура плавления, высокая жидкотекучесть, относительно малая величина усадки.
- Высокая теплопроводность, особенно алюминиевых сплавов.
- Малая плотность у сплавов на основе магния, алюминия, бериллия.
- Способность упрочняться при термической обработке.
- Высокая электропроводность в сочетании с относительно высокой прочностью и упругостью некоторых алюминиевых и медных сплавов.
- Высокие антифрикционные свойства при трении в паре со стальной деталью.

4.2 Классификация сплавов цветных металлов.

4.2.1 По способу получения заготовок сплавы цветных металлов в зависимости от химического состава (положение сплава на диаграмме состояния), структуры, механических и технологических свойств подразделяются на **деформируемые** и **литейные** (рисунок 10.1).

Структура деформируемых сплавов состоит либо из одних зёрен твёрдого раствора второго компонента в основном (пластичная фаза), либо включает

также кристаллы интерметаллидов (химические соединения двух или более металлов типа CuAl_2 , CuZn , Cu_3Sn , Cu_6Sn_5 , Cu_3P , SnSb , Pb_3Ca , AlSb , CuZn_3 и др., или кристаллы кремния. Кристаллы интерметаллидов и кремния отличаются высокой твёрдостью и являются упрочняющими фазами повышающими прочность и снижающими пластичность сплава.

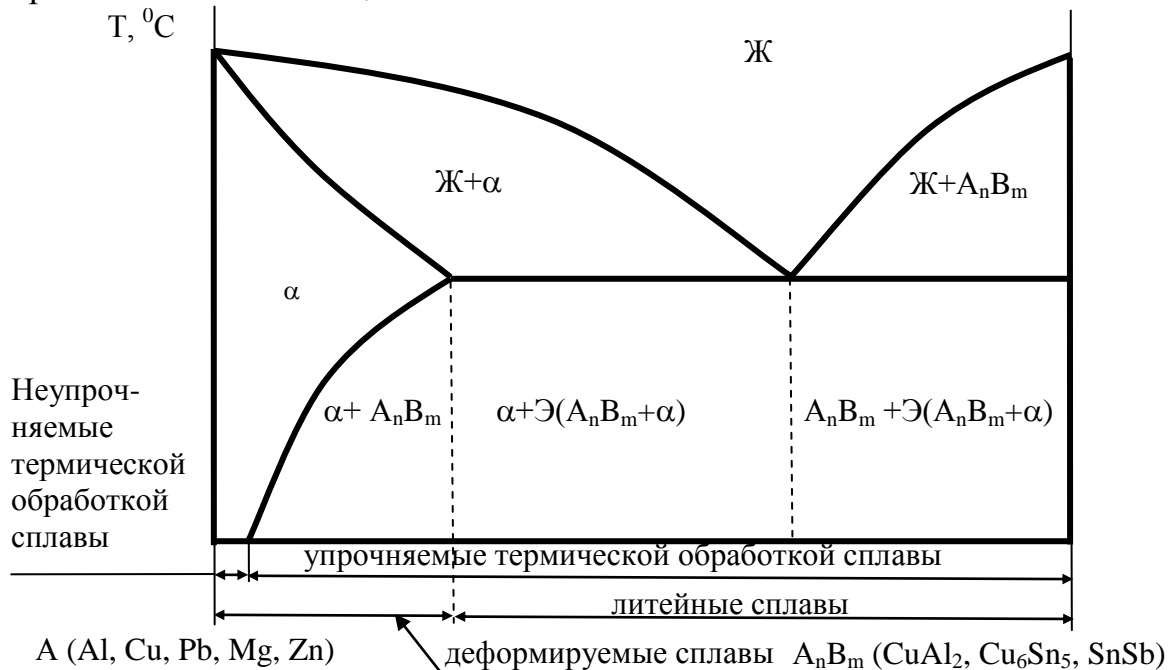


Рисунок 10.1 Классификация сплавов цветных металлов

Структура литейных сплавов содержит, как правило, эвтектику (легкоплавкая часть сплава), обуславливающую высокие литейные свойства сплава.

4.2.2 Повышение прочности деформируемых сплавов можно добиться термической обработкой или холодным пластическим деформированием (наклёпом). В зависимости от наличия вторичных превращений при нагреве или охлаждении сплавы подразделяются на неупрочняемые и упрочняемые термической обработкой (рисунок 10.1).

Повышение механических свойств (прочности и пластичности) литейных сплавов можно добиться и модифицированием (измельчение) зерен при кристаллизации.

4.3 Маркировка и применение сплавов цветных металлов.

4.3.1 Медные сплавы

Латуни (Cu-Zn)

Деформируемые: Л96, Л90, Л80, Л70, ЛО90-1, ЛС60-1, ЛЖМц59-1-1. Используются для изготовления изделий прокаткой, волочением, прессованием и штамповкой (проволока, трубы, втулки, гайки, жиклеры, тройники, пробки, листы, поплавки карбюраторов, бачки радиаторов и др.)

Литейные: ЛЦ25С2, ЛЦ30А3, ЛЦ40АЖ и др. Применяются в виде цветного литья (подшипники, втулки, для арматуры и деталей морского судостроения).

Свойства латуни Л90 (мягкая) $\text{HB}490\text{--}590\text{МПа}$, $\sigma_B=216\text{--}255\text{МПа}$, $\delta=45\text{--}55\%$, $\psi=80\%$, $a_H=215\text{КДж/м}^2$.

Бронзы (Cu-Sn, Pb, Al, Si, Be, Mn и др.)

Деформируемые: БрА5, БрА7, БрО5, БрБ2, БрМц5, БрОЦС-4-4-4, БрОЦ4-3.

Применяют для изготовления лент, полос, прутков, проволоки, пружин, трубок, подшипниковых деталей и др.

Литейные: БрС30, БрО5С25, БрО10Ц2, БрО10, БрО5Ц5С5. Применяются для литья деталей арматуры, подшипников скольжения др.

4.3.2 Магниевые сплавы

(Mg-Mn, Zn, Al)

Деформируемые: МА5, МА8(2%Mn), МА15(3%Zn);

Литейные: МЛ3, МЛ4(5...7%Al, 2...3%Zn), МЛ5 и др.

4.3.3 Алюминиевые сплавы

(Al-Mg, Al-Mn, Al-Cu, Al-Si)

Деформируемые: АМг, АМц, АК2, АК4, АК6, Д1, Д16, Д18, Д20, В65, В95 (В65 $\sigma_{\text{в}}=600\text{МПа}$).

Д18 (3%Cu, 0,3%Mg, 0,2%Mn, 0,5%Fe, 0,5%Si и др.). В отожженном, состоянии $\sigma_{\text{в}}=160\text{ МПа}$; $\delta=25\%$. После закалки и старения $\sigma_{\text{в}}=300\text{МПа}$; $\delta=20\%$.

Литейные: АЛ4 (10%Si), АЛ8 (10%Mg), АЛ5 (5%Si), АЛ20, АЛ30, и др. Применяются для литья (крышки, кожухи, корпуса водяных насосов, барабаны и др.)

4.3.4 Цинковые сплавы

Деформируемые: ЦМ1(1%Cu), ЦА15 (15%Al) остальное Zn.

Литейные: ЦА40, ЦАМ4-1 (4%Al, 1%Cu).

Антифрикционные: ЦАМ10-5.

4.3.5 Припой

(Pb-Sn, Cu-Zn, Cu-Zn-Ag)

Мягкие припои: (Pb-Sn) $t_{\text{пл}}=150...350^{\circ}\text{C}$, $\sigma_{\text{соед}}=50...80\text{ МПа}$

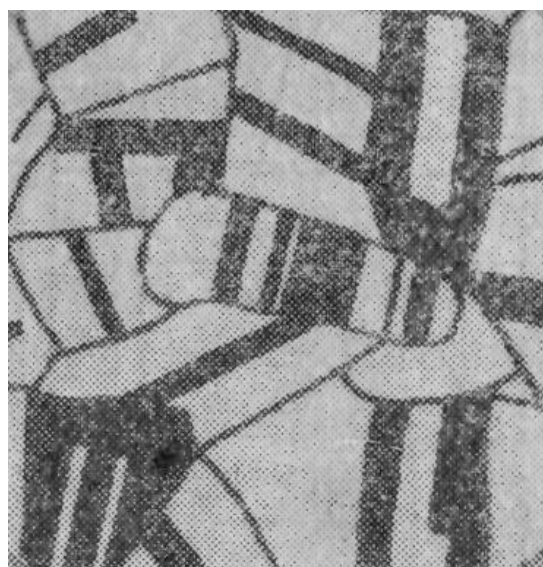
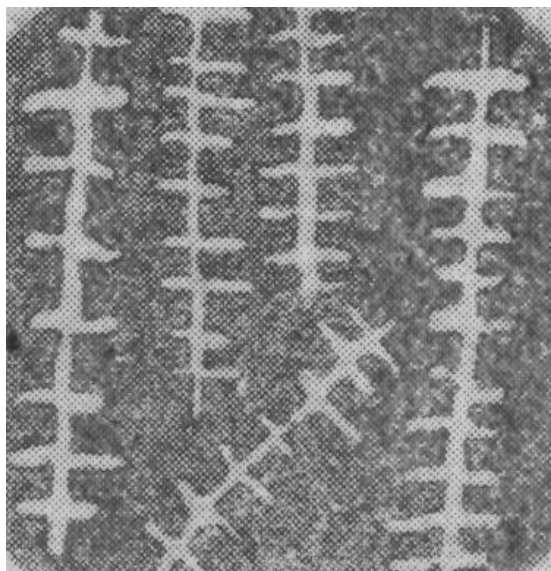
ПОС90 (90%Sn, 10%Pb) для пищевой посуды, ПОС60 (третник) - в радиоэлектронике, в электротехнике.

Твердые припои: $t_{\text{пл}}=700...900^{\circ}\text{C}$, $\sigma_{\text{соед}}$ не ниже 400 МПа.

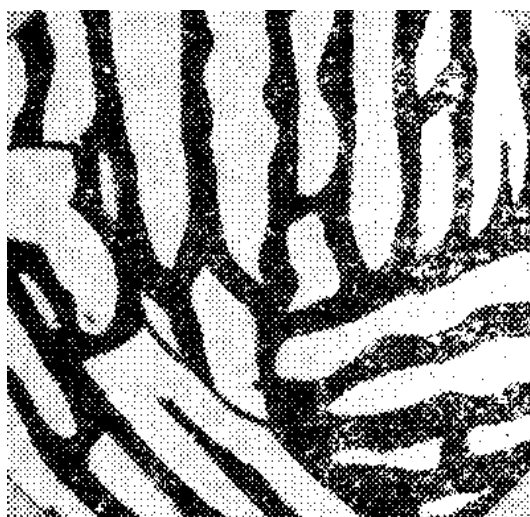
ПМЦ36(36%Cu, 64%Zn, $t_{\text{пл}}=830^{\circ}\text{C}$), ПМЦ48 (48%Cu, 52%Zn, $t_{\text{пл}}=850^{\circ}\text{C}$), ПСр25 (25%Ag, 40%Cu, 35%Zn), ПСр45 (45%Ag, 30%Cu, 25%Zn) $t_{\text{пл}}=740^{\circ}\text{C}$, имеет высокую электропроводность, применяется для пайки, меди, латуни, бронзы и стали.

4.4 Микроструктура сплавов цветных металлов (рисунки 10.2...10.8)

Микроструктура литой α -латуни имеет дендритное строение. Светлые участки – дендриты богатые медью, затвердевшие первыми из жидкого состояния, темные участки – междендритные пространства, обогащенные цинком (рисунок 10.2, а). Рисунок 10.2, б – зернистое строение, травятся с разной интенсивностью вследствие различной ориентации зерен и получают разную окраску.



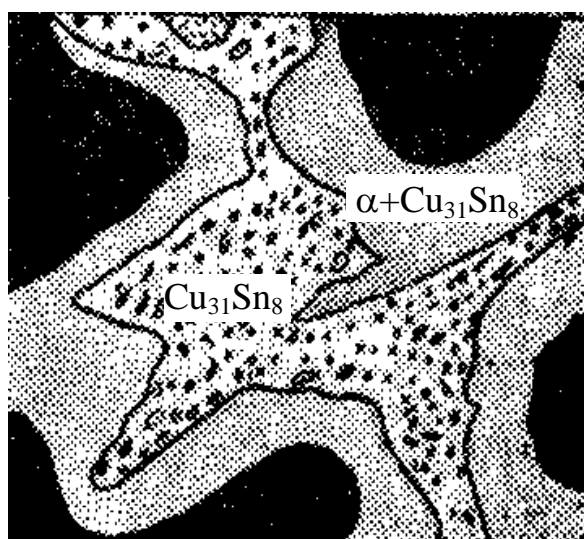
а)



б)

Рисунок 10.2 Схема микроструктур латуни: а) - литая α -латунь, Л70; б) - деформированная и отожженная α -латунь, Л70; в) - литая $\alpha+\beta$ -латунь, Л63.

в)



а)



б)

Рисунок 10.3 Схема микроструктуры: а) - литой оловянной бронзы с 10% Sn; б) - алюминиевой бронзы БрА5 после деформации и отжига.

Микроструктура алюминиевой бронзы (БрА5) после отжига и деформации состоит из однородного твердого раствора алюминия в меди (рисунок 10.3, б)

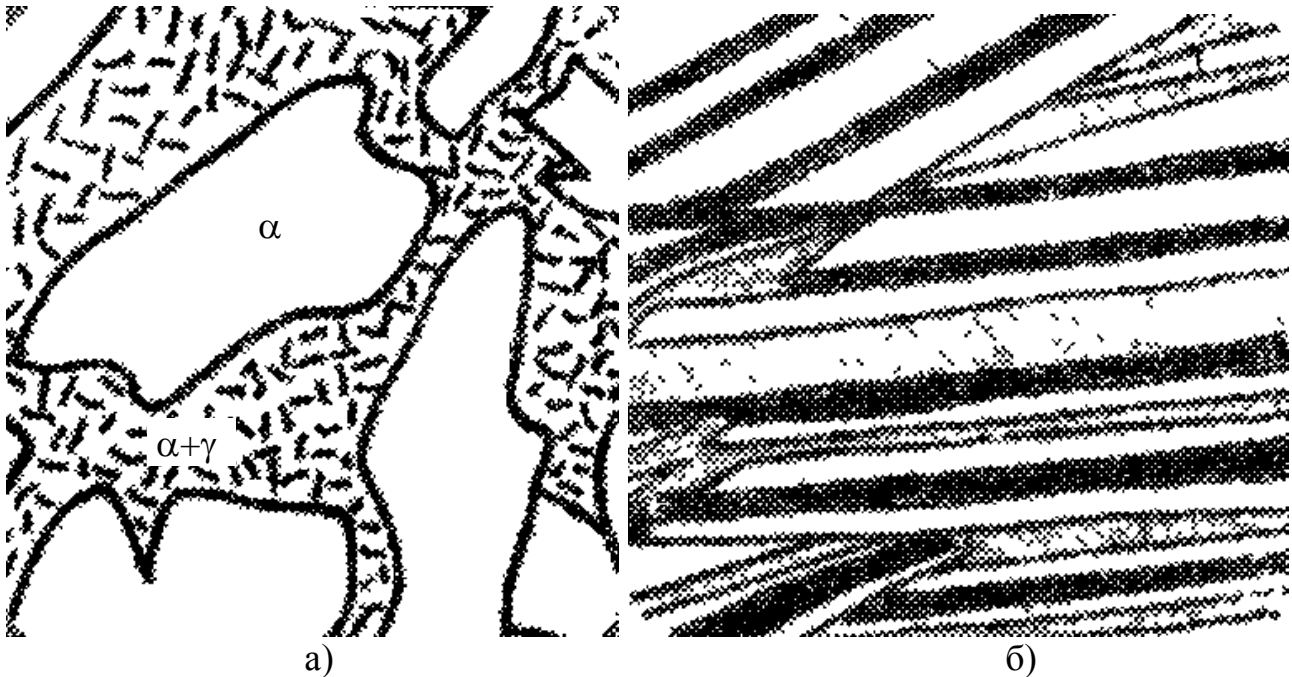


Рисунок 10.4 Схема микроструктуры алюминиевой бронзы БрАЖН10-4-4: а) - литой; б) - закаленной в воде (игольчатая структура, подобная структуре мартенсита).

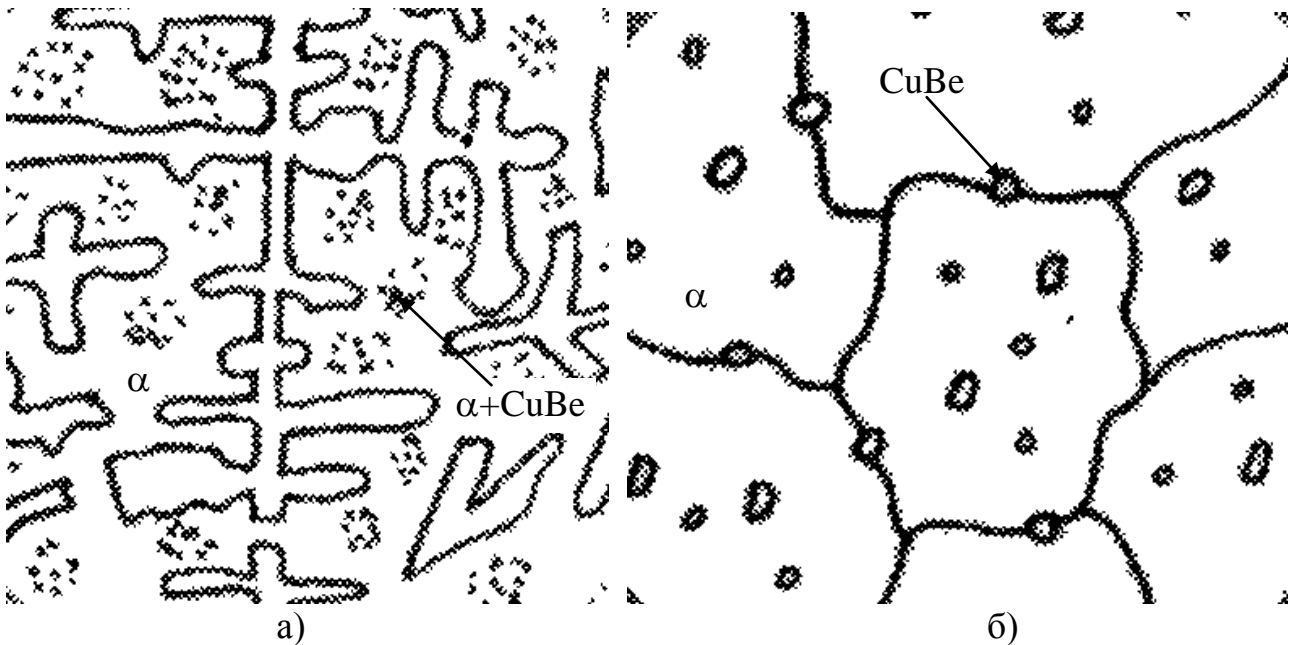


Рисунок 10.. Схема микроструктуры бериллиевой бронзы БрБ2: а) - литой; б) - после закалки и старения.

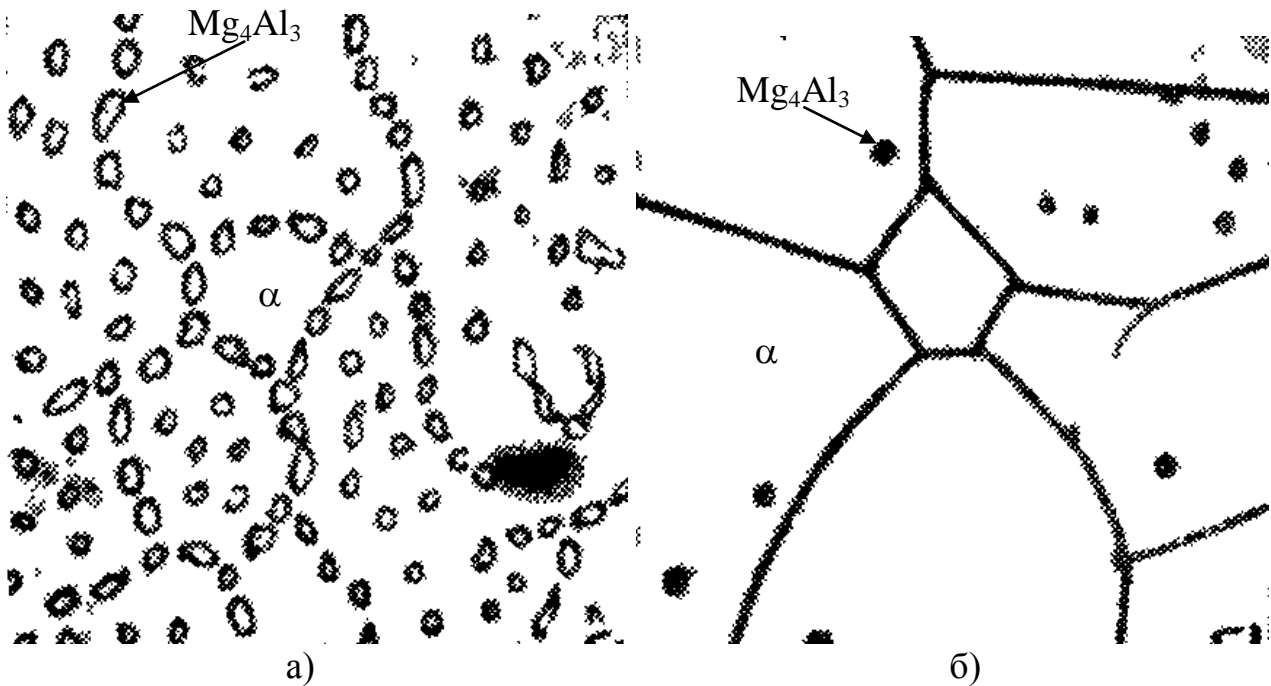


Рисунок 10.6 Схема микроструктуры магниевого сплава МЛ5: а) - литого; б) - после отжига и закалки

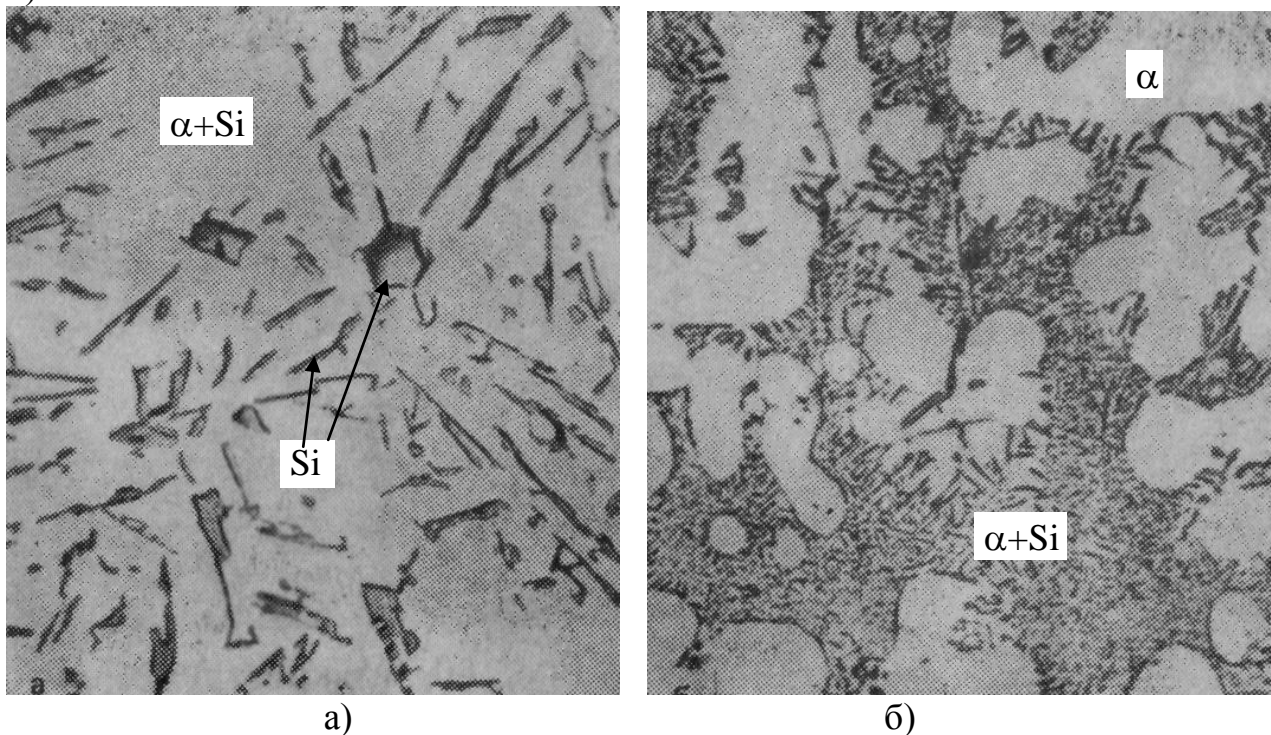


Рисунок 10.7 Микроструктура литейного алюминиевого сплава АЛ2 (12% Si, 0,8% Cu, 0,5% Mn): а) - до модифицирования ($\sigma_B=120$ МПа, δ до 2%); б) - после модифицирования ($\sigma_B=200$ МПа, δ до 13%).

Дюралюминий характеризуется следующим примерным составом: 4% Cu, по 0,5% Mg, Mn, Si, Fe, остальное – Al. Наличие этих элементов приводит к образованию ряд фаз, растворимых при нагреве (упрочняющих), например, CuAl_2 , Mg_2Si , Al_2CuMg и нерастворимых, например FeAl_3 , Cu_2FeAl , MnAl_6 , FeAl_6 . Микроструктура дюралюмина после отжига состоит из твердого раствора α и включений растворимых (темные) и нерастворимых (белые) фаз

(железистых и марганцовистых), (рисунок 10.8, а). После закалки в воде структура состоит из зерен пересыщенного твердого раствора α и включений (белые) нерастворимых в алюминии при нагреве фаз, (рисунок 10.8, б). После закалки и искусственного старения при 250°C – твердый раствор α , точечные мелкодисперсные включения растворимых фаз, выделившихся из твердого раствора α в процессе искусственного старения и включений (белые) нерастворимых фаз, (рисунок 10.8, в).

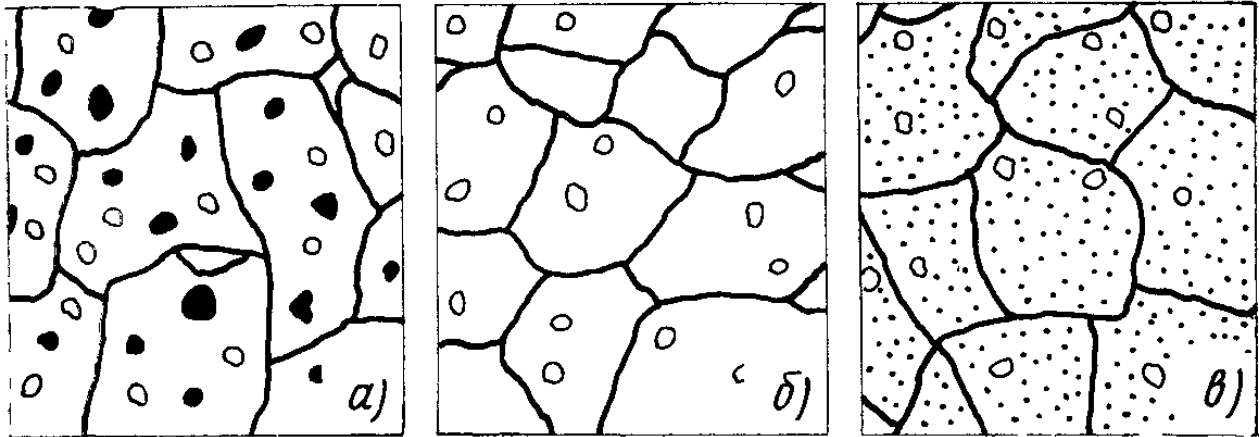


Рисунок 10.8 Схема микроструктур дюралюмина Д1: а) - после отжига; б) - после закалки в воде; в) - после закалки и искусственного старения.

5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.1 Ознакомится с материалом, изложенным в методическом указании.

5.2 Просмотреть под микроскопом и зарисовать схемы структур сплавов цветных металлов, указать структурные составляющие.

5.3 Указать особенности структуры рассмотренных сплавов, их эксплуатационные свойства, привести конкретные примеры их рационального применения.

Лабораторная работа № 11

**ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ
АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОДШИПНИКОВЫХ СПЛАВОВ****1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

1.1 Изучить структуру, свойства, маркировку и применение подшипниковых сплавов.

1.2 Установить связь между химическим составом, структурой и свойствами подшипниковых сплавов.

1.3 Ознакомиться с различными антифрикционными материалами.

2 ЗАДАНИЕ

2.1 Изучить микроструктуру антифрикционных подшипниковых материалов.

2.2 Зарисовать схемы микроструктур.

2.3 Определить по структурным составляющим тип подшипникового металлического сплава.

2.4 Указать особенности строения, свойства и применение изученных материалов.

3 ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ И ИНСТРУМЕНТ

1 Металлографические микроскопы МИМ-7.

2 Комплект микрошлифов антифрикционных подшипниковых материалов.

3 Плакаты с изображением микроструктур антифрикционных подшипниковых материалов.

4 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Подшипниковыми называются материалы для изготовления втулок и вкладышей подшипников скольжения. Основное свойство этих материалов - **антифрикционность** - способность материала обеспечить низкий коэффициент трения скольжения с поверхностью вала и тем самым низкие потери на трение и малую скорость изнашивания сопряженной детали - стального или чугунного вала.

Антифрикционность обеспечивают следующие свойства подшипникового материала: 1) неравномерная изнашиваемость мягкой и твердой фаз, в результате чего образуется маслоудерживающий рельеф поверхности трения; 2) высокая теплопроводность материала; 3) хорошая смачиваемость смазочным материалом; 4) хорошая прирабатываемость, основанная на способности материала при трении легко пластически деформироваться и увеличивать площадь фактического контакта, что приводит к снижению местного давления и температуры на поверхности подшипника; 5) способность образовывать на поверхности трения защитные пленки мягкого материала.

Таким образом, основными техническими требованиями к антифрикционным подшипниковым материалам являются следующие:

- Низкий коэффициент трения с поверхностью вала;

- Высокая износостойкость самого подшипника и сопряженного с ним вала;
- Способность быстро прирабатываться к поверхности сопряженного вала;
- Сопротивляемость заеданию и задирам;
- Достаточная прочность и выносливость (сопротивляемость усталостным и кавитационным повреждениям);
- Способность поглощать посторонние частицы;
- Коррозионная стойкость;
- Нетребовательность к твердости вала.

Критериями для оценки подшипникового материала служит коэффициент трения ($f_{тр}$) и допустимые нагрузочно-скоростные характеристики: давление P , действующее на опору, скорость скольжения V , параметр PV , определяющий удельную мощность трения. Допустимое значение параметра PV тем больше, чем выше способность материала снижать температуру нагрева и нагруженность контакта, сохранять граничную смазку.

Классификация антифрикционных материалов

Металлические материалы:	Баббиты (сплавы на основе Sn и Pb), Бронзы и латуни Алюминиевые антифрикционные сплавы Цинковые антифрикционные сплавы Графитизированные чугуны и стали
Неметаллические материалы:	Полимерные антифрикционные материалы Древесные антифрикционные материалы Графитовые материалы
Комбинированные материалы:	Металлографитовые Металлополимерные

Структура подшипниковых сплавов

Наибольшее применение в технике нашли металлические подшипники скольжения. Для их изготовления используют сплавы цветных металлов Sn, Pb, Al, Zn и другие, подбирая химический состав сплавов так, чтобы в структуре сплава образовались две фазы - мягкая и твердая. В зависимости от принятого состава сплава можно получить два типа неоднородной структуры с различным соотношением мягкой и твердой фаз и, следовательно, два типа подшипников скольжения, характеризующиеся как: «мягкая основа и твердые включения» и «твердая основа и мягкие включения», рисунок 11.1.

Мягкой основой у подшипниковых сплавов являются металлы Sn, Pb, Al и твердые растворы других элементов (Sb, Cu, Mg и др.) в этих металлах, а твердыми включениями - химические соединения $SnSb$, Cu_6Sn_5 , Pb_3Ca , $CuZn_3$, $AlSb$ и др.

Твердой основой в подшипниковых сплавах - бронзах является Si или растворы Sn и Zn в Si с мягкими включениями Pb, а в чугунах соответственно феррито-перлитная или перлитная основа с включениями графита.

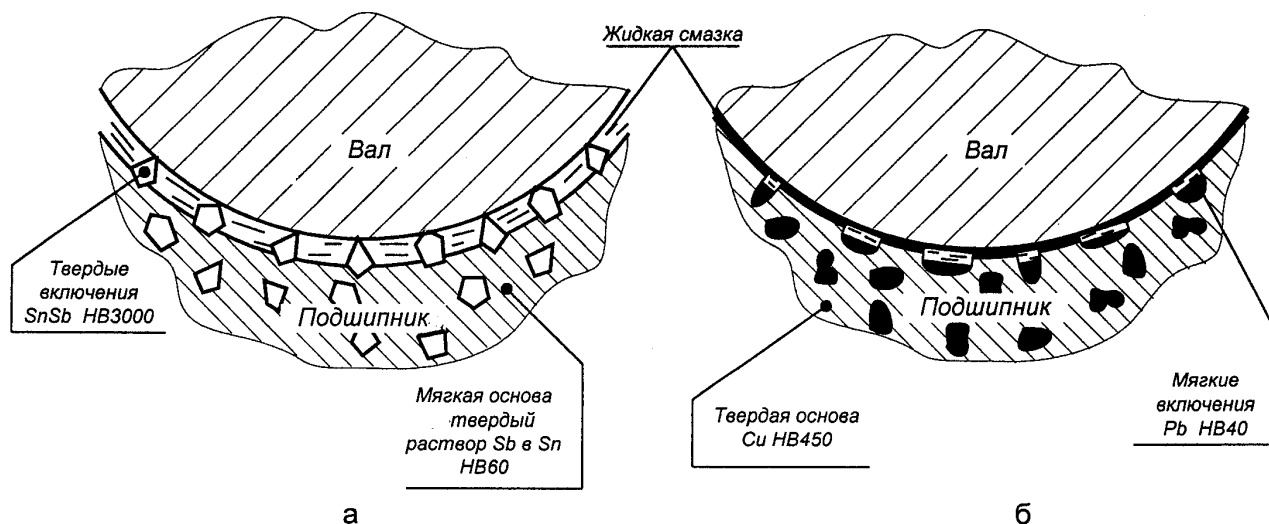


Рисунок 11.1 Схема структуры подшипника скольжения:

- а – мягкая основа и твердые включения (баббит Б83);
 б – твердая основа и мягкие включения (бронза БрС30)

Механические и эксплуатационные свойства у сплавов систем «мягкая основа и твердые включения» и «твердая основа и мягкие включения» существенно отличаются между собой, что определяет различие в их практическом применении в зависимости от удельных нагрузок, скорости перемещения трущихся поверхностей, температурных условий, характера смазки и др.

Химический состав антифрикционных подшипниковых сплавов приведен в таблицах 11.1...11.4.

Таблица 11.1 Составы (в %) баббитов по ГОСТ 1320-74 и ГОСТ 1209-78

Марка	Sn	Sb	Си	Pb	Прочие элементы
Б88	Основа	7-8	2,5-3,5	-	0,2Ni; 0,8...1,2 Cd
Б83		10-12	5,5-6,5	-	-
Б16	15-17	15-17	1,5-2,0	Основа	-
БН	9-11	13-15	1,5-2,0		0,3Ni; 0,4Cd
БС6	5,5-6,5	5,5-6,5	0,1-0,3		-
БКА	-	-	-		1,0Ca; 0,8Na; 0,1 Al
СОС6-6	5,5-6,5	5,5-6,5	-		-

Таблица 11.2 Составы (в %) антифрикционных алюминиевых сплавов по ГОСТ 4113-78

Марка	Al	Sn	Си	Sb	Mg	Прочие элементы
АСМ	Основа	-	-	3,5-6,5	0,3-0,7	-
АО9-1		9,0	1,0	-	-	0,5 Si
АО9-2		9,0	2,0	-	-	-
АО20-1		20,0	1,0	-	-	0,02-0,1 Ti

Таблица 11.3 Составы (в %) антифрикционных бронз по ГОСТ 613-79

Марка	Си	Pb	Sn	Прочие элементы
БрС30	Основа	28-32	-	-
БрО5С25		24-26	4-6	-
БрО10С10		8-12	9-11	-
БрО10Ф1		-	9-11	1% фосфора
БрО5Ц5С5		4-6	4-6	4-6% цинка

Таблица 11.4 Состав (в %) антифрикционных цинковых сплавов по ГОСТ 21437-75

Марка	Zn	Al	Си	Mg
ЦАМ9-1,5	Основа	8-10	1-2	0,04
ЦАМ10-5		9-11	4-6	0,04

Свойства подшипниковых сплавов

Свойства подшипниковых сплавов: физические, механические, антифрикционные зависят, прежде всего, от типа сплава, соотношения основных компонентов и количества легирующих добавок.

Свойства подшипниковых сплавов различных типов приведены в таблице 11.5.

Характеристики различных антифрикционных материалов, применяемых в различных отраслях техники, приведены в таблице 11.6.

Условия работы и области рационального применения различных подшипниковых сплавов приведены в таблице 11.7.

Сравнительные характеристики эксплуатационных свойств баббита Б83 и бронзы БрС30 даны на рисунке 11.2.

Таблица 11.5 Физические, механические и антифрикционные свойства подшипниковых сплавов

Тип сплава		Марка	Температура плавления, °С	Предел прочности, $\sigma_{сж}$, МПа	Коэффициент трения		Относительная стоимость
					без смазки	со смазкой	
Оловянистый		Б83	240	118	0,28	0,005	20
Алюминиевый		АСМ	550	186	-	0,007	6
Цинковый		ЦАМ5-10	500	294	-	0,009	3
Свинцовистая бронза		БрС30	950	245	0,17	0,08	5
Порошковые	Бронзографитовые	-	800	392	0,09-0,12	0,05	7
	Железографитовые	-	1100	540	0,09-0,12	0,07	1

Таблица 11.6 Характеристики различных антифрикционных материалов

Материал, марка		НВ, МПа	Коэффициент трения по стали	
			без смазки	со смазкой
Баббиты	Б83	300	0,07-0,12	0,004-0,006
	Б16	300		
	БК2	320		
Бронзы	БрС30	250	0,1-0,2	0,004-0,009
	БрО5Ц5С5	600		
	БрО10Ф1	1000		
Латуни	ЛЦ16К4	1000	0,15-0,24	0,009-0,016
	ЛЦ8Мц2С2	800		
Алюминиевый сплав	АО9-2	310	0,1-0,15	0,008
Антифрикционные серые чугуны	АЧС-1	2200	0,12-0,23	0,008
	АЧС-2	1600		0,016
Пластмассы	Капрон	100	0,15-0,21	-
	Текстолит	350	0,15-0,25	
Комбинированные материалы	Железо-графит	800	0,08-0,12	-
	Бронза-графит	500	0,04-0,1	
	Металлофторопластовая лента	-	0,03-0,1	

Таблица 11.7 Условия работы и области рационального применения подшипниковых сплавов

Сплавы		Условия			Рекомендуемые технологические и			
		Р МПа	V м/с	T _{масла} °С	Толщина слоя сплава, мм	Точность пригонки подшипника,	Твердость шейки НВ, МПа	Способ крепления сплава с корпусом
Баббиты всех марок		1-5	2-5	50	3,0	Десятые доли	—	Механический (в пазах)
		1-5	5-10	60	3,0	— // —	—	Металлургический (прилуживанием)
Баббиты	Б83, Б16, Б6, БН, БТ	5-10	5-10	75	3,0	Сотые доли	—	— // —
	СОС6-6, БК2, БС2	5-12	10	80	1,0	— // —	—	— // —
Нанесенные на сталь	Цинковые	15-25	15	100	1,0	— // —	3000	Металлургический (прокатка и заливка)
	Алюминиевые без мягкой фазы	15-25	15	100	0,5	— // —	3000	Металлургический (прокатка)
	Алюминиевые с мягкой фазой	20-30	20	120	0,5	— // —	3000	Металлургический» (прокатка и заливка)
	Свинцовистая бронза	15-25	15	110	0,5	— // —	4000	Металлургический (заливка или напекание)
Цельнолитые алюминиевые с мягкой		15-20	15	100	—	— // —	2000	—

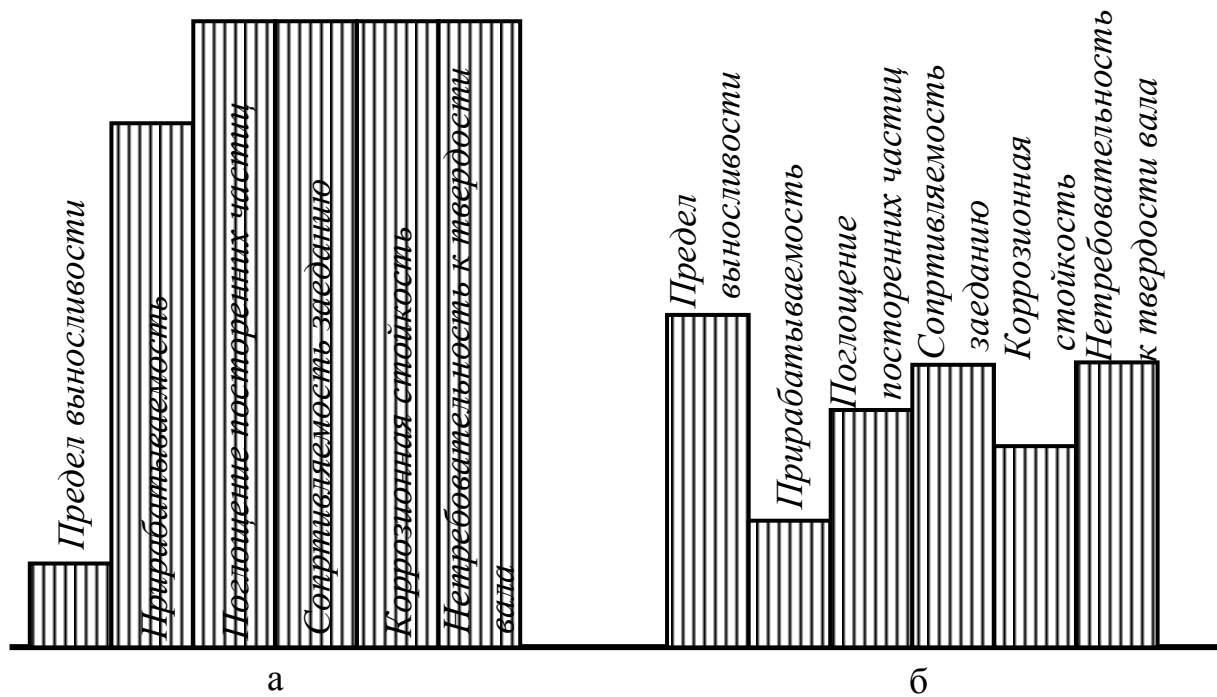


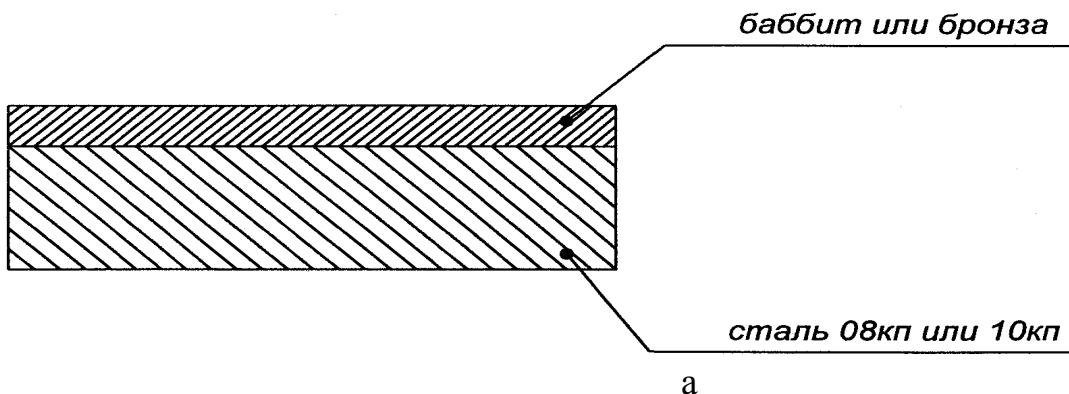
Рисунок 11.2 Сравнительные характеристики эксплуатационных свойств: а – баббита Б83; б – бронзы БрС30.

Многослойные подшипники скольжения

В настоящее время наибольшее распространение получили многослойные подшипники, в состав которых входят многие из рассмотренных выше сплавов. Сплавы или чистые металлы расположены слоями, каждый из которых имеет определенное назначение.

Так, баббиты, имея наибольшую прочность ($\sigma_b=60..120$ МПа, HB200-300) могут применяться только в подшипниках, имеющих прочный стальной или бронзовый корпус. Тонкостенные подшипниковые вкладыши автомобильных двигателей изготавливают штамповкой из биметаллической ленты, полученной на линии непрерывной заливки. Подшипники большого диаметра заливают индивидуально стационарным или центробежным способом, а также литьем под давлением.

По конструкции подшипниковые вкладыши могут быть двух-, трех- и четырехслойными. На рисунке 11.3 показаны лента для двуметаллического вкладыша (а) и лента для триметаллического вкладыша (б).



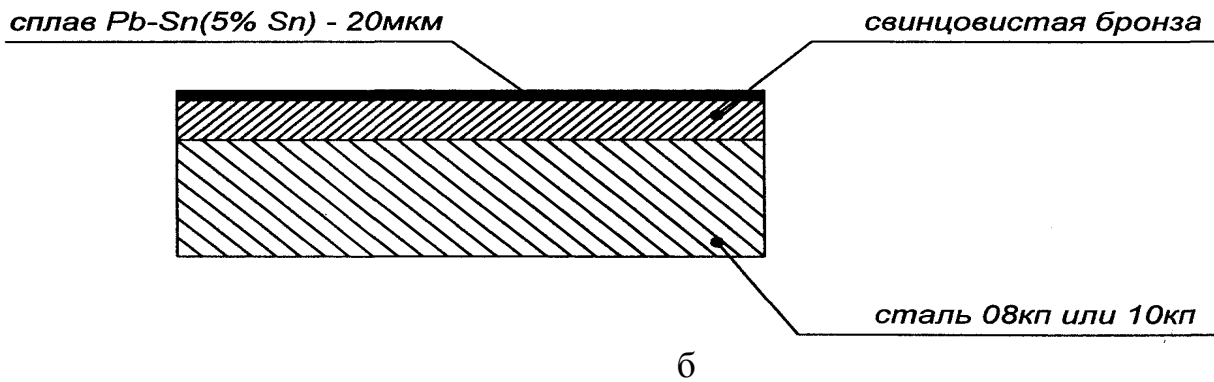


Рисунок 11.3 Схема строения вкладыша подшипника скольжения
а – двуметаллического (двухслойного); б – триметаллического (трехслойного).

Высокие антифрикционные свойства и высокое сопротивление усталостным разрушениям обеспечивают триметаллические подшипники, состоящие из стальной основы, промежуточного пористого медноникелевого или металлокерамического слоя (железо-графитовый или бронзо-графитовый слой) и свинцового сплава, заполняющего поры промежуточного слоя и образующего рабочий поверхностный слой толщиной не более 0,1 мм.

Четырехслойный подшипник автомобильного двигателя состоит из стального основания, слоя свинцовистой бронзы (БрС30) толщиной 250 мкм, тонкого слоя (≈ 10 мкм) никеля или латуни и слоя сплава Pb-Sn толщиной 25 мкм. Стальная основа обеспечивает прочность и жесткость подшипника; верхний мягкий слой улучшает прирабатываемость, а когда он изнашивается, рабочим слоем становится свинцовистая бронза. Слой никеля служит барьером, не допускающим диффузию олова из верхнего слоя в бронзу, рисунок 11.4.

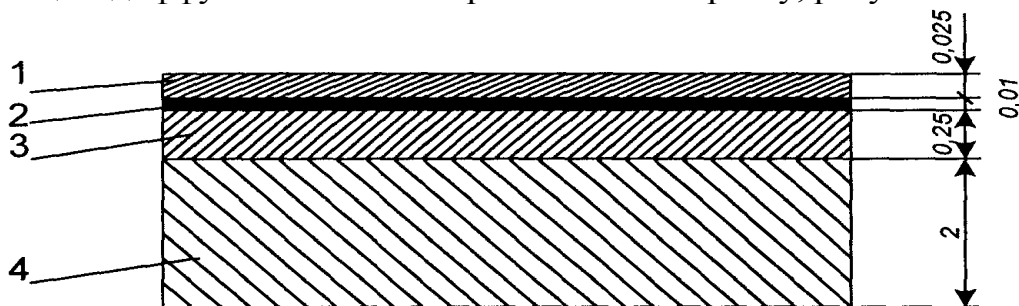


Рисунок 11.4 Схема строения четырехслойного металлического подшипника скольжения: 1 – сплав свинца и олова; 2 – никель; 3 – свинцовистая бронза; 4 – сталь

Подшипники скольжения из комбинированных материалов

Подшипники из комбинированных материалов – металлов и неметаллов имеют существенно отличные от металлических подшипников свойства. Рассмотрим подшипники двух типов.

1 Самосмазывающиеся подшипники получают методом порошковой металлургии из материалов различной комбинации: железо-графит, железо-медь-графит, бронза-графит. Графит вводят в количестве 1-4 %, медь – 2-3%. После спекания в материале сохраняется 15-35 % пор,

которые затем заполняются маслом. Масло и графит смазывают трущиеся поверхности. Такие подшипники работают при небольших скоростях скольжения (до 3 м/с), отсутствии ударных нагрузок и устанавливаются в труднодоступных для смазки местах.

2 Металлофторопластовые подшипники изготавливают из металлофторопластовой ленты (МФПЛ) в виде свертных втулок методом точной штамповки. Лента состоит из четырех слоев, рисунок 11.5.

Первый слой (прирабочный), толщиной 0,01-0,05 мм, выполнен из фторопласта, наполненного дисульфидом молибдена (25% по массе). При большей допустимой величине линейного износа первый слой утолщают до 0,1-0,2 мм. Второй слой ($\approx 0,3$ мм) - бронзофторопластовый, представляет собой слой пористой бронзы БрО10Ц2, полученный спеканием частиц порошка сферической формы. Поры в этом слое заполнены смесью фторопласта с 20% Рв (или фторопласта и дисульфида молибдена). Третий слой (0,1мм), образованный медью предназначен для повышения прочности сцепления бронзового пористого слоя с четвертым слоем - стальной основой толщиной 1-4 мм, изготовленной из стали 08кп.

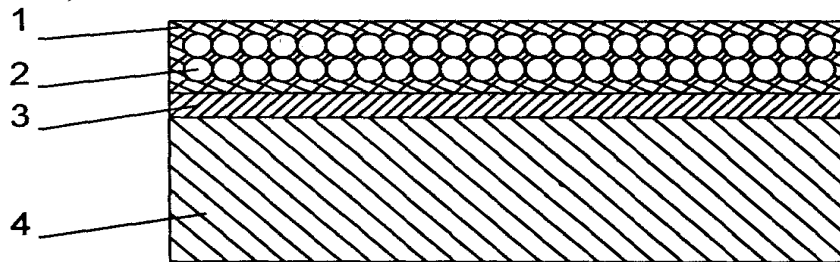


Рисунок 11.5 Схема строения металлофторопластового подшипника скольжения: 1 – фторопласт с наполнителем (дисульфидом молибдена), 2 – сферические частицы бронзы в слое фторопласта, 3 – медь, 4 – сталь.

При работе такого подшипника пористый каркас второго слоя отводит теплоту и воспринимает нагрузку, а поверхностный слой и питающая его фторопластовая «губка» выполняют роль смазочного материала, уменьшая трение.

Металлофторопластовые подшипники имеют высокие антифрикционные свойства в диапазоне температур 200-280°C, $f_{тр}=0,03-0,1$; $PV= 1500-10^5$ Па·м/с. Их используют в узлах трения, работающих без смазки. Они могут работать в вакууме, жидких средах, при наличии абразивных частиц.

5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.1 Ознакомится с материалом, изложенным в методическом указании (привести классификацию и критерии оценки подшипниковых материалов, таблицу 11.5, рисунок 11.1 и 11.4, с объяснением строения).

5.2 Просмотреть под микроскопом и зарисовать схемы структур антифрикционных подшипниковых сплавов, указать структурные составляющие и тип подшипника

5.3 Указать особенности структуры рассмотренных сплавов, их эксплуатационные свойства, привести конкретные примеры их рационального применения.

Практическое занятие № 12

ПРОВОДНИКОВЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ**1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Закрепить у студентов теоретические знания по классификации и свойствам проводниковых материалов и получить практические навыки в самостоятельном анализе видов проводниковых материалов и их конкретного применения в зависимости от требуемых эксплуатационных свойств.

2 МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Образцы проводниково-кабельной продукции, устройства с разрывными, скользящими и неподвижными контактами, различные резисторы, потенциометры, термопары и нагревательные элементы электронагревательных приборов и электропечей.

Методические пособия к самостоятельной работе: «Проводниковые материалы высокой проводимости», «Проводниковые материалы с высоким удельным электрическим сопротивлением». «Материалы для электрических контактов», справочная литература.

3 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В соответствии с классификацией электротехнических материалов, к проводниковым относят материалы, удельное электрическое сопротивление которых составляет $\rho = 10^{-8} \dots 10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Эти материалы, в свою очередь, подразделяются на группы:

- Проводниковые материалы с низким удельным электрическим сопротивлением ρ при нормальной температуре (20°C) не более $0,1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ($0,1 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$), называемые материалами высокой электрической проводимости (ГОСТ 2265-76).
- Проводниковые материалы с высоким удельным электрическим сопротивлением ρ при нормальной температуре (20°C) не менее $0,3 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ($0,3 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$), называемые резисторными или резистивными (от латинского слова *resisto* – сопротивляюсь).
- Отдельную группу составляют материалы для электрических контактов.

3.1 ПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ВЫСОКОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ

Основными свойствами этих материалов являются:

- Высокая удельная электрическая проводимость ν [МСм/м] – величина, обратная удельному электрическому сопротивлению $\nu = 1/\rho$;
- Низкое удельное электрическое сопротивление ρ [$\text{мкОм} \cdot \text{м}$].
- Температурный коэффициент удельного электрического сопротивления TK_ρ или α_ρ [$^\circ\text{C}^{-1}$].
- Работа выхода электронов из проводника Φ [эВ].

На практике для измерения удельного сопротивления проводниковых материалов часто применяется внесистемная единица $\text{Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$, т.к. длину проводов удобнее выражать в метрах, а площадь поперечного сечения проводов в квадратных миллиметрах, причем $1 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м} = 1 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$.

Кроме указанных основных электрических параметров к важнейшим показателям, характеризующим проводниковые материалы, относятся: коэффициент теплопроводности λ [Вт/(м·°С)], контактная разность потенциалов и термоэлектродвижущая сила – термо-ЭДС [мВ], предел прочности при растяжении σ_b , или σ_p [МПа], относительное удлинение перед разрывом δ или $\Delta l/l$ [%]

Проводниковые материалы должны также обладать высокими технологическими и эксплуатационными свойствами: способностью обрабатываться давлением в горячем и холодном состоянии, хорошо свариваться и подвергаться пайке, иметь достаточную коррозионную стойкость.

Материалы высокой проводимости применяют в электротехнике и приборостроении для изготовления обмоточных, монтажных и установочных проводов, проводов воздушных линий электропередачи, шинопроводов, токоведущих частей электроустановок.

В зависимости от эксплуатационных требований, материалы высокой проводимости можно условно разделить на 4 группы (таблица 12.1).

Таблица 12.1 Применение проводниковых материалов высокой проводимости

Группа	Назначение	Эксплуатационные требования к материалам	Применяемые металлы и сплавы (состав, состояние)
1	Обмоточные, монтажные и установочные провода	Высокая технологическая пластичность	Химически и технически чистые Cu и Al в отожженном состоянии
2	Провода воздушных линий электропередачи (ЛЭП), троллейные провода	Высокая прочность на разрыв	Cu, Al в нагартованном состоянии, сталь. Сплавы Al и сплавы Cu, упрочненные термообработкой. Биметаллы (Cu и Fe)
3	Разрывные и скользящие контакты, токопроводные пружины, электроды контактных сварочных машин	Высокая упругость, высокая износостойкость, дугостойкость	Ag, Au, Pt, Rh, Pd; сплавы Ag-Cu, Ag-CdO, Ag-ZnO, W-Mo, Cu-W и другие. Порошковые сплавы Cu и Ag с добавкой графита, W, Mo. Бронзы Cu-Cd, Cu-Be, Cu-Cr и другие. Сплавы Au-Pt, Au-Ni, Pt-Ir, Pd-Ir и др.
4	Шинопроводы, неподвижные контакты и др.	Используются без заданных эксплуатационных требований	Технически чистые Cu, Al, низкоуглеродистая сталь и другие металлы. Латунь, бронзы и другие сплавы

Классифицируют материалы высокой проводимости по группам: медь, сплавы меди (латунь и бронзы), алюминий, сплавы алюминия, прочие металлы (серебро, золото, вольфрам, цинк, никель, железо и др.) и их сплавы. В особую

группу выделяют материалы для электрических контактов. Припой и электроугольные изделия также выделяются в особые группы.

Электрическая проводимость металлов может оцениваться в %. В этом случае проводимость меди принята за 100%.

Таблица 12.2 Проводимость некоторых металлов (%)

Ag	Cu	Al	W	Zn	Ni	Fe	Cr
106	100	65	36	27	22	17	13

3.2 ПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ВЫСОКИМ УДЕЛЬНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

Основными свойствами этих материалов являются:

- Относительно высокое удельное электрическое сопротивление ρ [мкОм·м].
- Низкий температурный коэффициент удельного электрического сопротивления TK_ρ или α_ρ [°C⁻¹].
- Заданная (низкая или высокая) термоэлектродвижущая сила (ТЭДС) [мВ], в паре с другими металлами или сплавами.
- Высокая окалиностойкость (жаростойкость) для материалов работающих при высоких температурах.
- Достаточно высокая пластичность (для возможности получения проволоки из данного материала).

Проводниковые материалы с большим удельным сопротивлением являются в основном сплавами и, в зависимости от эксплуатационных требований, подразделяются на 3 группы (таблица 12.3).

Таблица 12.3 Применение проводниковых материалов с высоким удельным сопротивлением

Группа	Назначение	Эксплуатационные требования к материалам	Применяемые металлы и сплавы
1	Сплавы для сопротивлений	1.Высокое электросопротивление. 2. Низкий температурный коэффициент сопротивления. 3. Малая термоЭДС в сочетании с другими металлами.	Сплавы на медной основе: Cu – Mn – Ni; Cu – Ni – Mn; Cu – Ni; Cu – Ni – Zn. Сплавы на никелевой основе: Ni – Cr – Al – Cu; Ni – Mn – Cr.
2	Металлы и сплавы для термоэлектродов термопар	1.Высокая термоЭДС. 2.Высокая окалиностойкость. 3.Достаточно высокая пластичность.	Металлы: медь, платина, вольфрам. Сплавы: Cu – Ni; Ni – Cr – Fe; Ni – Cr – Mn; Cu – Ni – Mn; Ni – Al – Mn – Si; Pt – Rh; W – Re.
3	Сплавы для электронагревательных элементов	1.Высокое электросопротивление. 2. Высокая окалиностойкость. 3.Достаточно высокая пластичность.	Сплавы: Fe – Cr – Al; Ni – Fe – Cr; Ni – Cr. Металлы: W, Hg.

3.3 ПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ

Электрические контакты в зависимости от конструкции и условий эксплуатации подразделяются на **подвижные** – разрывные и скользящие и **неподвижные** – зажимные и цельнометаллические. Основное требование для всех видов контактов – малое переходное электросопротивление. В наиболее трудных условиях работают разрывные и скользящие контакты, к которым предъявляются особые требования.

Основными свойствами, которыми должны обладать подвижные контакты являются:

- Высокая удельная электрическая проводимость (низкое переходное электрическое сопротивление).
- Высокая химическая (коррозионная) стойкость.
- Достаточно высокие твердость, прочность и износостойкость.
- Высокая стойкость против электрического износа (эрозии) и высокая дугостойкость.
- Стойкость против сваривания и слипания.
- Высокая теплопроводность.

В зависимости от величины коммутируемого тока (электрической мощности) контакты подразделяются на две группы: маломощные (слаботочные, величина тока от долей до единиц ампер) и мощные (сильноточные, величина тока от единиц до тысяч ампер).

Все контактные материалы можно разделить на следующие группы:

- благородные металлы и сплавы на их основе.
- неблагородные металлы и сплавы на их основе.
- металлокерамические композиции.
- электроугольные материалы.

Каждая из указанных групп материалов отвечает требованиям для контактов различных типов, прежде всего в зависимости от коммутируемой мощности. Так, для разрывных мало- и средненагруженных контактов, работающих в бездуговом режиме наиболее пригодны чистые металлы и сплавы на их основе (типа твердых растворов) из группы благородных металлов.

Достоинством вольфрама и сплавов на его основе является высокая стойкость к дугообразованию и отсутствие склонности к свариваемости.

В производстве сильноточных контактов целесообразнее применять композиционные материалы, состоящие из механической смеси двух фаз, одна из которых обеспечивает высокую электро- и теплопроводность контактного материала, а другая – в виде тугоплавких и прочных включений, придает контактам стойкость против механического износа, электрической эрозии и сваривания.

Применение различных материалов в контактах разных типов и эксплуатационные требования к материалам приведены в таблице 12.3.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

4.1 Ознакомиться с материалом методических пособий для самостоятельной работы. Кратко описать в тетради по практическим занятиям классификацию проводниковых материалов

4.2 Для различных электрических устройств (по заданию преподавателя) подобрать марки проводниковых металлов и сплавов.

4.3 Расшифровать выбранные марки материалов, привести их точный или приближенный химический состав, указать физические, электрические, механические и эксплуатационные свойства. Указывая свойства, необходимо: привести полное техническое название свойства, его условное обозначение, численную величину и размерность в системе СИ. Все данные о выбранных материалах занести в таблицу 12.5.

Таблица 12.4 Примеры применения контактных материалов

Вид контактов	Материалы контактов	Эксплуатационные свойства	Оборудование, устройства, приборы
Разрывные контакты	Ag; Pt; Pt+Ir (5;10;15;20%)	Высокая эрозионная стойкость; сопротивление привариванию и оплавлению; низкое и стабильное электросопротивление	Прецизионные контакты электроизмерительных приборов; радиоаппаратуры; реле; агрегаты зажигания; аппаратура связи; магнитные пускатели.
1. Слаботочные	Au + 5% Ni Au + 20% Ag Ag + 30% Ni		
2. Сильноточные	Cu; Cu + 1% Cd Ag + Cd (5;15;20%) КМК – А10 (Ag+15% CdO) КМК – Б20 (48% Cu+50% W + 2% Ni)	Высокая эрозионная стойкость; сопротивление свариванию и оплавлению при больших токах и напряжении	Контакторы; контроллеры; магнитные пускатели, выключатели. Дуговые контакты высоковольтных масляных выключателей
Скользящие контакты	Ad + 5% графита Cu + 3% графита Cu (МТ); Cu + 1% Cd; Cu+0,7% Cr; Cu + 0,4% Zr Электроугольные щетки (УГ, Г, ЭГ, М и МГ)	Высокие сопротивления привариванию и механическому истиранию при тяжелых нагрузках.	Установочные и универсальные автоматы; контакты воздушных выключателей; реле сигнализации; селективные автоматы; кольца; коллекторы и др.
Неподвижные контакты (зажимные и цельнометаллические)	Cu, Al, Zn, сталь, латунь; бронза	Высокая механическая прочность; относительно высокая коррозионная стойкость; относительно низкое и стабильное электросопротивление	Болтовые и винтовые соединения, зажимы. Паяные и сварные соединения.

Таблица 12.5 Результаты анализа выбранных электротехнических материалов

Материал		Название изделия	Характеристика материала			Свойства материала									Эксплуатационные
			Марка, № ГОСТа	Состояние	Хим. состав %	физические			электрические			механические			
						γ , т/м ³	$t_{пл}$, °С	λ , Вт/(м·°С)	ρ_1 , мкОм·м	α_p , °С ⁻¹	прочие*	НВ, МПа	σ_b , МПа	δ , %	
Проводниковый		Высокой проводимости													
С высоким сопротивлением															
Контактный															

Примечание:

1. Обозначения: γ , т/м³ – плотность; $t_{пл}$, °С – температура плавления; λ , Вт/(м·°С) – коэффициент теплопроводности.

2. Примечание: указываются прочие свойства, характерные для данного материала. При отсутствии цифровых данных дается словесная характеристика, например, «высокая ТЭДС в паре с медью», или «высокая коррозионная стойкость» и т.д. и т.п.

Практическое занятие № 13

СВОЙСТВА, МАРКИРОВКА И ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

Магнитными называются материалы способные намагничиваться во внешнем магнитном поле. Этой способностью обладают **ферромагнетики** - железо, никель, кобальт, а также различные сплавы на их основе.

Основными параметрами магнитных материалов являются: магнитная индукция насыщения **B_s**, остаточная магнитная индукция **B_r**, коэрцитивная сила **H_c** и магнитная проницаемость **μ**.

Магнитная проницаемость **μ** характеризует интенсивность намагничивания (интенсивность роста индукции) при увеличении напряженности намагничивающего поля и определяется соотношением

$$\mu = \frac{B}{H}, [\text{Гн/м}]$$

где H - напряженность магнитного поля (А/м);

B - магнитная индукция (Тл).

В зависимости от магнитных свойств и условий работы магнитные материалы подразделяются на две группы: магнитомягкие материалы и магнитотвердые материалы.

2 МАГНИТОМЯГКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Магнитомягкими называются магнитные материалы с коэрцитивной силой по индукции не более 4 кА/м (ГОСТ 19693-74), способные намагничиваться в слабых магнитных полях ($H \leq 5 \cdot 10^4 \text{ А/м}$) вследствие большой магнитной проницаемости ($\mu_n \leq 88 \text{ мГн/м}$ и $\mu_{\text{max}} \leq 300 \text{ мГн/м}$) и малых потерь на перемагничивание. Они отличаются высокой магнитной индукцией насыщения – $B_s \leq 3 \text{ Тл}$ и характеризуются малой площадью петли **гистерезиса**, а следовательно и малыми потерями на перемагничивание при работе в условиях переменного магнитного поля, создаваемого переменным электрическим током.

Из магнитомягких материалов изготавливают магнитопроводы (сердечники) трансформаторов, статоров и роторов электрических машин, электромагнитов. Такие материалы находят применение в электротехнической и радиотехнической промышленности, измерительной и вычислительной техники, системах автоматики и телемеханики.

К магнитомягким материалам относятся особо чистое железо, электротехнические нелегированные и легированные (кремнистые) стали, прецизионные низкокоэрцитивные сплавы на железной и железоникелевой основе, порошковые ферромагнитные, ферритмагнитные и композиционные магнитодиэлектрические материалы.

При перемагничивании магнитомягких материалов возникает несколько видов энергетических потерь: **потери на гистерезис** (относительно

невелики); **тепловые потери** (наибольшие по величине), связанные с возникновением в сердечнике вихревых токов (токи Фуко). Тепловые потери прямо пропорциональны квадрату амплитуды магнитной индукции B , частоте магнитного поля f , толщине сердечника d и обратно пропорциональны удельному электрическому сопротивлению материала ρ_1 . Также возникают **потери, определяемые $\operatorname{tg}\delta$** , в результате сдвига по фазе индукции B и напряженности поля H .

По величинам тепловых потерь и потерь, определяемых $\operatorname{tg}\delta$ устанавливаются **допустимые** рабочие частоты.

По величинам рабочих частот f , индукции насыщения B_s , магнитной проницаемости μ_n и μ_{\max} магнитомягкие материалы подразделяются на **низкочастотные** и **высокочастотные**.

Низкочастотные магнитомягкие материалы в свою очередь подразделяются на низкочастотные **с высокой индукцией насыщения B_s** и низкочастотные **с высокой магнитной проницаемостью μ_n и μ_{\max}** .

2.1. Материалы с высокой индукцией насыщения – технически чистое и особо чистое железо, нелегированные и легированные электротехнические стали. Благодаря большой магнитной индукции ($B_s \leq 2,15 \text{ Тл}$), малой коэрцитивной силе ($H_c \leq 100 \text{ А/м}$), достаточно высокой магнитной проницаемости ($\mu_{\max} \leq 79 \text{ мГн/м}$) и хорошим технологическим свойством – их применяют в электротехнике для работы в магнитных полях напряженностью от 10^2 до $5 \cdot 10^4 \text{ А/м}$.

2.1.1 Технически чистое железо – железо с суммарным содержанием примесей до 0,1%, в том числе углерода до 0,05%, имеет малое удельное электрическое сопротивление ($\rho_1 = 0,1 \dots 0,12 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$) и повышенные потери на вихревые токи, что ограничивает его применение в основном для магнитопроводов постоянного магнитного потока (полюсные наконечники, магнитопроводы реле).

Технически чистое железо является основным компонентом большинства магнитных материалов. Магнитные свойства железа определяются составом и количеством примесей, наиболее вредными из которых являются углерод, кислород, сера, азот и водород.

2.1.2 Особо чистое железо подразделяемое по способу получения на **электролитическое** и **карбонильное** содержит углерода 0,005...0,020% и кислорода 0,005...0,010%. Карбонильное железо используют в виде порошка в качестве ферромагнитной фазы высокочастотных магнитодиэлектриков. Магнитные свойства железа приведены в таблице 13.1.

2.1.3 Электротехническая нелегированная тонколистовая сталь. Содержание основных элементов в стали не превышает: 0,004%С, 0,3%Si, 0,3%Mn. Изготавливают сталь в виде горячекатаных листов (0,5-3,9мм) и лент (0,1-2,0мм) по ГОСТ 3836-83. Горячекатаная сталь подвергается отжигу при температуре 950 °С; холоднокатаная поставляется без термической обработки в нагартованном состоянии. Магнитные свойства стали приведены в таблице 13.2.

Таблица 13.1 Состав и магнитные свойства железа

Железо	Содержание примесей, %		Магнитные свойства		
	углерод	кислород	μ_n , Гн/м	$\mu_{max.}$, Гн/м	H_c , А/м
Технически чистое	0,020	0,060	250	7000	64,0
Электролитическое	0,020	0,010	600	15000	28,0
Карбонильное	0,005	0,005	3300	21000	6,4

Таблица 13.2 Магнитные свойства электротехнической нелегированной тонколистовой стали (ГОСТ 3836-83)

Марки стали	Толщина, мм,	H_c , А/м, не более	$\mu_{max.}$, Гн/м
10895, 20895, 11895, 21895	0,1-3,9	95	3000
10880, 20880, 11880, 21880	0,1-3,9	80	4000
10864, 20864, 11864, 21864	0,1-3,9	64	4500
10848, 20848, 11848, 21848	0,7-3,9	48	4800
10832, 20832, 11832, 21832	0,7-3,9	32	5000

Примечание: 1) Магнитная индукция при напряженности магнитного поля: 1,38Тл при 500А/м; 1,62Тл при 2500А/м; 1,71Тл при 5000А/м; 1,81Тл при 10000А/м.

2) В обозначении марки (пятизначное число) цифры означают: первая цифра – класс по структурному состоянию и виду прокатки (1-горячекатаная изотропная, 2-холоднокатаная изотропная); вторая цифра – тип по содержанию кремния (0- сталь нелегированная без нормирования коэффициента старения, 1- сталь нелегированная с нормированным коэффициентом старения); третья цифра – группу по основной нормируемой характеристике (8- коэрцитивная сила); четвертая и пятая цифры – количественное значение основной нормируемой характеристики (значение коэрцитивной силы в целых единицах А/м).

2.1.4 Электротехническую нелегированную сортовую сталь изготавливают следующих марок: 10864, 20864, 10880, 20880, 10895, 20895, 11864, 21864, 11880, 21880, 11895, 21895 (ГОСТ 11036-75) и поставляют без термической обработки. В обозначении марки первая цифра указывает класс по виду обработки давлением (1- горячекатаная и кованая; 2- калиброванная). Остальные четыре цифры аналогичны обозначениям для марок тонколистовой электротехнической нелегированной стали.

2.1.5 Электротехническая легированная (кремнистая) сталь (ГОСТ 21427.0-75).

Эта сталь классифицируется и маркируется (четырёхзначное число) по следующим параметрам: по виду прокатки и структуре – первая цифра в

обозначении марки (1- горячекатаная изотропная, 2- холоднокатаная изотропная, 3- холоднокатаная анизотропная); по содержанию кремния – вторая цифра (0- до 0,4%Si; 1- св.0,4 до 0,8 включ.; 2- св.0,8 до 1,8 включ.; 3- св.1,8 до 2,8 включ.; 4- св.2,8 до 3,8 включ.; 5- св.3,8 до 4,8 включ.); по основной нормируемой характеристике – третья цифра (0- удельные потери Р при магнитной индукции 1,7Тл и частоте 50Гц: 1- Р 1,5/50; 2- Р 1,0/400). Вместе первые три цифры обозначают тип стали, четвертая- порядковый номер типа стали.

Промышленность выпускает холоднокатаную электротехническую тонколистовую анизотропную сталь (ГОСТ21427.1-83), изотропную сталь (ГОСТ21427.2-83) и холоднокатаную стальную анизотропную ленту (ГОСТ21427.4-78). Магнитные свойства стали приведены в таблице 13.3.

Легированные электротехнические стали применяют в электротехнических изделиях, рассчитанных на работу при частотах до $f \leq 400$ Гц. Стали с более низким содержанием кремния 2011, 2211 используют для сердечников, работающих при частотах до 100 Гц и напряженности поля $H \leq 5 \cdot 10^4$ А/м. Стали с повышенным содержанием кремния (2311, 2411, 1311, 1411) используют при частотах до 400Гц, но в более слабых полях ($H \geq 10^2$ А/м).

Так например, слаболегированные электротехнические стали (от 0,4 до 1,8% Si) применяются для магнитопроводов электрических машин постоянного тока, среднелегированные (от 1,8 до 2,8% Si) – в машинах переменного тока и сильнолегированные (от 3,8 до 4,8% Si) – в силовых трансформаторах.

Высокие магнитные свойства электротехнические стали приобретают в результате термической обработки- отжига, с целью получения крупного зерна феррита.

Таблица 13.3 Магнитные свойства легированной электротехнической тонколистовой стали (ГОСТ 21427-75)

Марка стали	Толщина листа, мм	Р _{1,5/50} Вт/кг, не более	В (Тл) при Н (кА/м), не менее		ρ ₁ , мкОм·м
			2,5	30	
Горячекатаная изотропная					
1311	0,50	6,1	1,48	1,95	—
1411	0,50	4,4	1,46	1,94	—
1511	0,50	3,5	1,46	1,90	—
Холоднокатаная изотропная					
2011	0,65	9,0	1,60	2,02	0,14
2111	0,65	10,0	1,58	2,0	—
2211	0,65	7,0	1,56	1,96	0,25
2311	0,65	5,8	1,52	1,96	—
2411	0,50	3,6	1,49	1,96	—
Холоднокатаная анизотропная					
3411	0,50	2,45	1,75	—	0,50
3416	0,28	0,89	1,9	—	—

2. 2 Материалы с высокой магнитной проницаемостью

Для достижений больших значений индукций в очень слабых магнитных полях ($H \leq 10^2$ А/м) применяют прецизионные магнитомягкие сплавы (ГОСТ 10994-74), отличающиеся большой начальной магнитной проницаемостью – Fe-Ni (пермаллой) и Fe-Al-Si (альсифер).

2.2.1 Пермаллои низконикелевые (45...50% Ni) марок 45Н, 50Н, 50НХС характеризуются следующими свойствами: $\mu_n \leq 4$ мГ/м, $\mu_{\max} \leq 38$ мГн/м, $B_s = 1,0 \dots 1,5$ Тл и ρ_1 от 0,45 до 0,90 мкОм·м.

Низконикелевые пермаллои применяются для сердечников трансформаторов, дросселей, реле и т.д., работающих с подмагничиванием, а также в магнитопроводах, полюсных наконечниках, магнитных экранах и сердечниках, работающих в слабых постоянных магнитных полях.

2.2.2 Пермаллои высоконикелевые (79...83% Ni) марок 79НМ, 81НМА имеют $\mu_n = 25 \dots 88$ мГн/м, $\mu_{\max} = 150 \dots 300$ мГн/м и B_s до 0,75 Тл. Коэрцитивная сила пермаллоев составляет $H_c < 16$ А/м. Они используются в радиотехнике и телефонии при частотах до 25 кГц, в магнитных усилителях, слаботочных трансформаторах, катушках индуктивности и других устройствах при промышленной частоте (из лент толстого проката), звуковой и ультразвуковой частоте (из лент тонкого проката) и высокой частоте, вплоть до радиочастот (из лент микронного проката).

Большим достоинством пермаллоев является их высокая пластичность, что облегчает технологию получения полуфабрикатов: тонких листов, лент и проволоки для изготовления сердечников. Термическая обработка пермаллоев – отжиг при температуре 1100-1500 °С со ступенчатым охлаждением.

Механические свойства электротехнической стали и сплавов пермаллой приведены в таблице 13.4.

Таблица 13.4 Механические свойства магнитомягких материалов

Сплав		НВ, МПа	σ_b , МПа	δ	ψ
				%	
Сталь	Горячекатаная	1310	270 не менее	24	60
	Калиброванная	—	350 не менее	4	—
Сплавы Fe-Ni (пермаллой)	50Н	1700/1300	800/450	3/35	15/60
	79НМ	2100/1200	1050/500	3/50	—
	81НМА	2600/1600	1300/650	2/50	—

Примечание: 1) Сталь сортовая электротехническая нелегированная (ГОСТ 11036-75).

2) Пермаллой – в числителе приведены свойства сплавов до термической обработки, в знаменателе – после отжига.

2.2.3 Альсиферы – сплавы системы Fe-Al-Si не содержат дорогих компонентов. Сплав оптимального состава 85% Fe, 9,6% Si и 5,4%Ni имеет $\mu_n=44\text{мГн/м}$, $\mu_{\text{max}}=146\text{ мГн/м}$, $H_c=1,76\text{А/м}$, $B_s=1,1\text{Тл}$ и $\rho_1=0,81\text{мкОм}\cdot\text{м}$, сплав очень тверд и хрупок, не поддается обработке давлением и резанием, но обладает высокими литейными свойствами и применяется для изготовления фасонных тонкостенных отливок.

2.3 Высокочастотные магнитомягкие материалы

При высоких частотах растут тепловые потери и тангенс угла потерь ($\text{tg}\delta$), что приводит к ухудшению магнитных свойств ферромагнетика – уменьшению магнитной проницаемости.

Одним из эффективных способов снижения тепловых потерь является применение материалов с высоким электрическим сопротивлением – диэлектриков. К таким материалам относятся **ферриты**.

2.3.1 Ферриты получают спеканием порошков оксидов типа $\text{MeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$, где Me-металл (Ni, Mn, Mg, Fe, Co, Zn, Cu и т.д.). Удельное электрическое сопротивление ферритов достигает $10^{12}\text{Ом}\cdot\text{м}$, что позволяет применять их в области высоких и сверхвысоких частот (радиочастот). Они характеризуются $B_s \leq 0,4\text{Тл}$, $H_c \leq 180\text{А/м}$, точкой Кюри $\leq 300\text{ }^\circ\text{C}$.

Марки ферритов: 4000НМ - $\mu_n'=4000$, Н-низкочастотный (f до 0,1 МГц), $\rho_1=10^3\text{Ом}\cdot\text{м}$; М- марганцево-цинковый; 100ВЧ- $\mu_n'=100$, ВЧ- высокие частоты (до 35 МГц), $\rho_1=10^{10}\text{Ом}\cdot\text{м}$; 80СЧ– феррит для сверхвысоких частот ($>800\text{МГц}$).

2.3.2 Магнитодиэлектрики – высокочастотные магнитные материалы, получаемые прессованием смеси порошков ферромагнитных материалов – железа, альсифера и др. и диэлектриков – полистирола, бакелитовой смолы, нитролаков. Эти материалы применяют для изготовления сердечников высокочастотных магнитных систем: катушек индуктивности, фильтров, контуров радиоаппаратуры и др.

2.4 Прочие магнитомягкие материалы

Имеется ряд сплавов, отличающихся характерными магнитными свойствами.

Перминвар - 45НК (45% Ni, 25% Co, ост. Fe), 45НKM (45% Ni, 25% Co, 7,5% Mo ост. Fe), 70НК (70% Ni, 7% Co, ост. Fe) - отличаются постоянным значением μ при изменении напряженности магнитного поля H от 0 до 160 А/м.

Пермендюр - (50% Co, 1,8% V, ост. Fe), характеризуется высоким значением B_s .

Термаллой - (30% Ni, ост. Fe) и **кальмаллой** - (30% Si, ост. Fe) отличаются резким изменением магнитной индукции в интервале температур от -60° до $+50^\circ\text{C}$.

3 МАГНИТОТВЕРДЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Магнитотвердыми называются магнитные материалы, обладающие большой остаточной индукцией $B_r=0,5\ldots 1\text{Тл}$ и высокой коэрцитивной силой $H_c \leq 560\text{ кА/м}$. Они характеризуются большой площадью петли гистерезиса и имеют ей пропорциональную высокую удельную **магнитную мощность** W_{max} до 72 кДж/м^3 .

Эти материалы намагничиваются в сильных магнитных полях $-H > 1000$ кА/м и трудно размагничиваются. Применяются эти материалы для изготовления постоянных магнитов.

Для постоянных магнитов применяют следующие сплавы:

- 1) Легированные хромистые, вольфрамовые, кобальтовые и кобальто-молибденовые стали (типа Е).
- 2) Литые сплавы типа альнико на основе Fe-Al-Ni и Fe-Al-Ni-Co.
- 3) Деформируемые сплавы на основе Fe-Cr-Co.
- 4) Порошковые сплавы (металлические, ферро- и ферриоксидные, магнитоэластичные и магнитоупругие).

Марки, химический состав и свойства магнитотвердых материалов приведены в таблицах 13.5, 13.6 и 13.7.

Таблица 13.5 Магнитотвёрдые стали

Марка	Химический состав, %			Магнитные свойства	
	С	Cr	Co	B _r , Тл	H _c , А/м
ЕХ	0,95-1,10	1,3-1,6	—	0,90	4600
ЕХ3	0,90-1,10	2,8-3,6	—	0,95	4800
ЕХ5К5	0,90-1,05	4,5-5,5	4,5-5,5	0,85	8000

Таблица 13.6 Магнитотвёрдые сплавы типа альнико

Марки (старое обозначение)	Химический состав, %				Магнитные свойства		
	Ni	Al	Co	Si	W _{max} , кДж/м ³	B _r , Тл	H _c , кА/м
ЮНДК15 (АНКо2)	18	9	15	4	6	0,75	48
ЮН14ДК25А (АНКо4)	14	8	25	3	28	1,4	52

Таблица 13.7 Сравнительные свойства магнитотвёрдых материалов

Группа	Марка	W _{max} , кДж/м ³	B _r , Тл	H _c , кА/м
Легированные стали	ЕХ3	0,6	0,95	4,8
	ЕХ9К15М2	1,035	0,80	12
Литые сплавы	ЮНДК15	6	0,75	48
	ЮНДК35Т5	40	1,05	115
Деформируемые сплавы	28Х10К	3,5	0,8	10
	22Х15К	28	1,5	47
Порошковые сплавы	ММК-1	3,0	0,6	24
Феррит бария	28БА190	14	0,4	240

4 ТЕРМИЧЕСКАЯ И ТЕРМОМАГНИТНАЯ ОБРАБОТКА МАГНИТОТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Для получения требуемых магнитных свойств магниты из легированных сталей подвергаются термической обработке: нормализации, закалке, обработке холодом и отпуску. После термической обработки сталь приобретает структуру мартенсита с мелкими частицами цементита или карбидов легирующих элементов и твердость HRC60...65.

Режимы термической обработки приведены в таблице 13.8.

Таблица 13.8 Термическая обработка магнитов из легированной сталей

Марка стали	Вид и режим термической обработки, °С			
	Нормализация	Закалка	Обработка холодом	Отпуск
EX	1000	830-850	-70	100
EX3	1050	840-860	-70	100
EX5K5	1150	930-950	-70	100

Магниты из литых сплавов типа альнико при отливке подвергают направленной кристаллизации для получения определённо ориентированных столбчатых кристаллов. После отливки магниты подвергают термомагнитной обработке - нагреву до 1300° С и закалке в магнитном поле, в результате чего образуется магнитная текстура.

5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЁТУ

5.1 Ознакомиться с особенностями магнитомягких и магнитотвёрдых материалов.

5.2 Выписать примеры наиболее характерных сплавов для изделий из магнитомягких и магнитотвёрдых материалов.

5.3 Ознакомиться с образцами изделий из магнитомягких и магнитотвёрдых материалов.

5.4 Построить графики зависимости В от Н (кривая намагничивания и петля гистерезиса) для конкретных магнитомягкого и магнитотвёрдого материалов (в масштабе).

5.5 Провести экспериментальное сравнение магнитной мощности магнитотвёрдой стали и сплава типа альнико.

Практическое занятие № 14

ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Закрепить у студентов теоретические знания по электроизоляционным материалам, глубже уяснить классификацию, свойства этих материалов, ознакомиться с применением электроизоляционных материалов в электротехнике.

2 МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Образцы проводниково-кабельной продукции, электротехнические устройства, приборы, пособие к самостоятельной работе «Электроизоляционные материалы. Классификация, свойства, применение»; справочная литература; плакаты.

3 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**3.1 Классификация электроизоляционных материалов**

В соответствии с общей классификацией электроизоляционные материалы относятся к группе материалов не имеющих электронной электропроводности в обычных условиях, так называемых диэлектриков. Диаграммы энергетических состояний диэлектриков характеризуется очень большой величиной зоны запрещенных энергий.

Диэлектрические материалы являются самой большой группой электротехнических материалов. По агрегатному состоянию они делятся на газообразные, жидкие и твердые, а по химической природе – на органические и неорганические.

По электрическим свойствам диэлектрики подразделяются на низкочастотные (электрические) и высокочастотные (радиотехнические).

Важнейшими твердыми диэлектриками являются полимеры, керамика, стекло. В них преобладает ионный или ковалентный тип связи, нет свободных носителей зарядов. Удельное объемное электрическое сопротивление этих материалов составляет $10^{12} \dots 10^{20}$ Ом·м.

3.2 Свойства диэлектрических материалов**3.2.1 Электрические свойства:**

- удельное объемное сопротивление, ρ_v (Ом · м);
- удельное поверхностное сопротивление, ρ_s (Ом);
- электрическая прочность, $E_{пр}$ (МВ/м);
- относительная диэлектрическая проницаемость, ϵ ;
- тангенс угла диэлектрических потерь, $tg \delta$.

3.2.2 Физико-механические и эксплуатационные свойства

- плотность;
- нагревостойкость;

- теплостойкость (температура размягчения или плавления);
- температура вспышки и температура воспламенения;
- холодостойкость (морозостойкость);
- влагостойкость;
- влагопроницаемость;
- волопоглощаемость;
- химическая стойкость;
- тропическая стойкость;
- радиационная стойкость.

3.2.3 Механические свойства

- предел прочности, МПа
 - при растяжении σ_p ;
 - при сжатии σ_c ;
 - при изгибе σ_u ;
- твердость, НВ, МПа;
- относительное удлинение, δ , %;
- удельная ударная вязкость a_{10} , Дж/м².

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

4.1 Ознакомиться с методическим указаниями.

4.2 Провести анализ заданных преподавателем электротехнических устройств и выписать в тетрадь применяемые в них (наиболее вероятные) диэлектрические материалы 3-4 видов. При подборе материалов необходимо выбрать материалы из различных групп (например, неорганический материал – керамика, органический – полиэтилен, жидкий диэлектрик – трансформаторное масло и т.д. и т.п.).

4.3 Пользуясь пособием к самостоятельной работе, справочной литературой, конспектом лекций, классифицировать и охарактеризовать подобранные диэлектрические материалы, указав состав, электрические, физико-химические, механические и эксплуатационные свойства.

4.4 Провести сравнение свойств подобранных материалов различных видов и сделать заключение о целесообразности применения этих материалов в различных электротехнических устройствах.

4.5 Все полученные данные занести в протокол работы.

Лабораторная работа № 15

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВКИ**1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

- 1.1 Ознакомление с технологическим процессом изготовления литейных форм из песчано-глинистой формовочной смеси.
- 1.2 Приобретение практических навыков формовки в опоках и заливки металла в формы.
- 1.3 Изучение основных видов наружных дефектов отливок внешним осмотром.
- 1.4 Ознакомление со специальными видами литья.

2 ЗАДАНИЕ

- 2.1 Ознакомиться с технологическим процессом изготовления литейных форм из песчано-глинистой формовочной смеси.
- 2.2 Разработать чертеж отливки, модели, стержневого ящика, спроектировать литниковую систему по индивидуальному заданию, полученному у преподавателя.
- 2.2 Произвести формовку в опоках и заливку металла в форму.
- 2.3 Произвести контроль отливки внешним осмотром.
- 2.4 Выбрать по каталогам деталей автомобилей, тракторов и сельхозмашин детали, которые целесообразнее изготовить методом литья, предложить наиболее рациональный способ литья, обосновать свой выбор.

3 ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ И ИНСТРУМЕНТ

- 3.1 Муфельная печь для плавки металла.
- 3.2 Комплекты опок, модельные комплекты, комплект формовочного инструмента, формовочная и стержневая смеси.
- 3.3 Отливки с наружными дефектами.
- 3.4 Справочные таблицы по химическому составу литейных и шихтовых материалов, припускам на механическую обработку и допускам на точность отливок.
- 3.5 Образцы, формы и материалы для специальных видов литья: кокили, пресс-формы, модели отливок, оболочковые формы и др.

4 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Сущность литья заключается в получении изделий путем заливки расплавленного металла или сплава в литейные формы. Литьем чаще всего получают изделия сложной формы, которые невозможно, затруднительно или экономически невыгодно получить другими способами.

Существует большое разнообразие способов получения отливок: литье в песчано-глинистые формы, литье в металлические формы (кокили), литье под давлением в металлические пресс-формы, центробежное литье, литье по выплавляемым моделям, литье в оболочковые формы, литье вакуумным всасыванием, непрерывное литье, литье выжиманием, литье окунанием (намолаживанием), литье по методу Улитовского и др.

5 СПОСОБЫ ЛИТЬЯ

5.1 Литье в песчаные формы

Песчаные формы изготавливают ручной или машинной формовкой смеси.

Формовочные смеси для песчано-глинистых форм состоят из формовочного песка (кварцевый песок: $\approx 95\% \text{ SiO}_2$), глины (чаще бентонитовые и каолиновые)) и воды. При повышенных требованиях к прочности формовочные смеси могут содержать, кроме глины, и другие связующие составляющие (крепители): жидкое стекло, цемент, сульфитно-спиртовую барду, декстрин, крепители марок ГТФ, КО, синтетические смолы КФ-90, ОФ-1, пульвербакелит и др.

Стержни изготавливаются из стержневых смесей состоящих из песка, глины и воды или песка и связующих.

Для повышения противопригарности в формовочные и стержневые смеси добавляются специальные материалы, на поверхности форм и стержней наносятся противопригарные краски и припылы (порошкообразный графит, пылевидный кварц).

Оснастка и инструмент формовки: опоки, модели и стержневые ящики. Модели изготавливаются из дерева, металла, пластмасс, а также могут быть изготовлены из гипса и цемента. Стержневые ящики изготавливают из дерева и металла. Модели и стержневые ящики по конструкции бывают разъемные и неразъемные, могут иметь отъемные части (вкладыши). Опоки изготавливают из дерева и металла. Для изготовления форм и стержней применяются различные инструменты: сита для просеивания смеси, трамбовки (ручные и пневматические) для уплотнения смеси, душники для накалывания вентиляционных каналов в формах и стержнях, крючки, подъемники, гладилки, ложечки, пульверизаторы для извлечения модели и отделки поверхности формы.

В приложении 15.1 приведен пример разработки технологического процесса получения отливок в песчано-глинистых формах: методика проектирования чертежа отливки, модели, стержневого ящика, расчета литниковой системы и шихты.

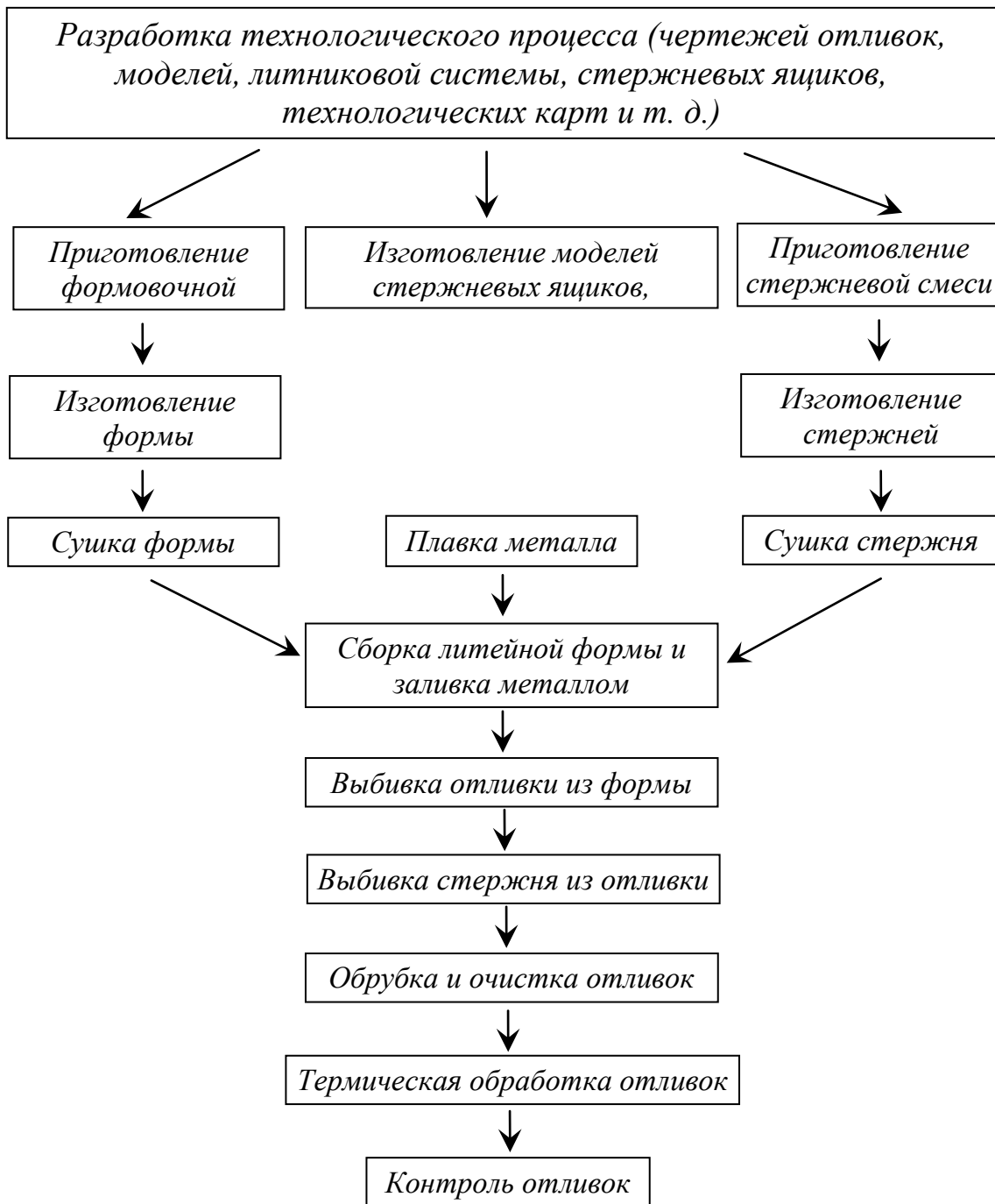


Рисунок 15.1 Схема технологического процесса изготовления отливок в песчано-глинистых формах

5.2 Литье в металлические формы (кокили)

Многоразовые металлические разъемные формы (кокили) изготавливают из жаростойкой легированной стали, углеродистой стали, а также из серого чугуна, рисунок 15.2.

В металлических формах можно получить отливки: из цветных сплавов - от 5 г до 500 кг; из чугуна - от 10 г до 7 т; из стали - от 0,5 кг до 4 т.

Для получения отливок из стали и чугуна внутренние поверхности металлической формы покрывают облицовкой (футеровкой) состоящей из маршалита, жидкого стекла, огнеупорной глины и др., толщиной 1 мм и более, а при получении отливок из цветных сплавов - краской (мазут,

машинное масло, керосин и др., иногда с добавкой талька, графита, окиси цинка и др.).

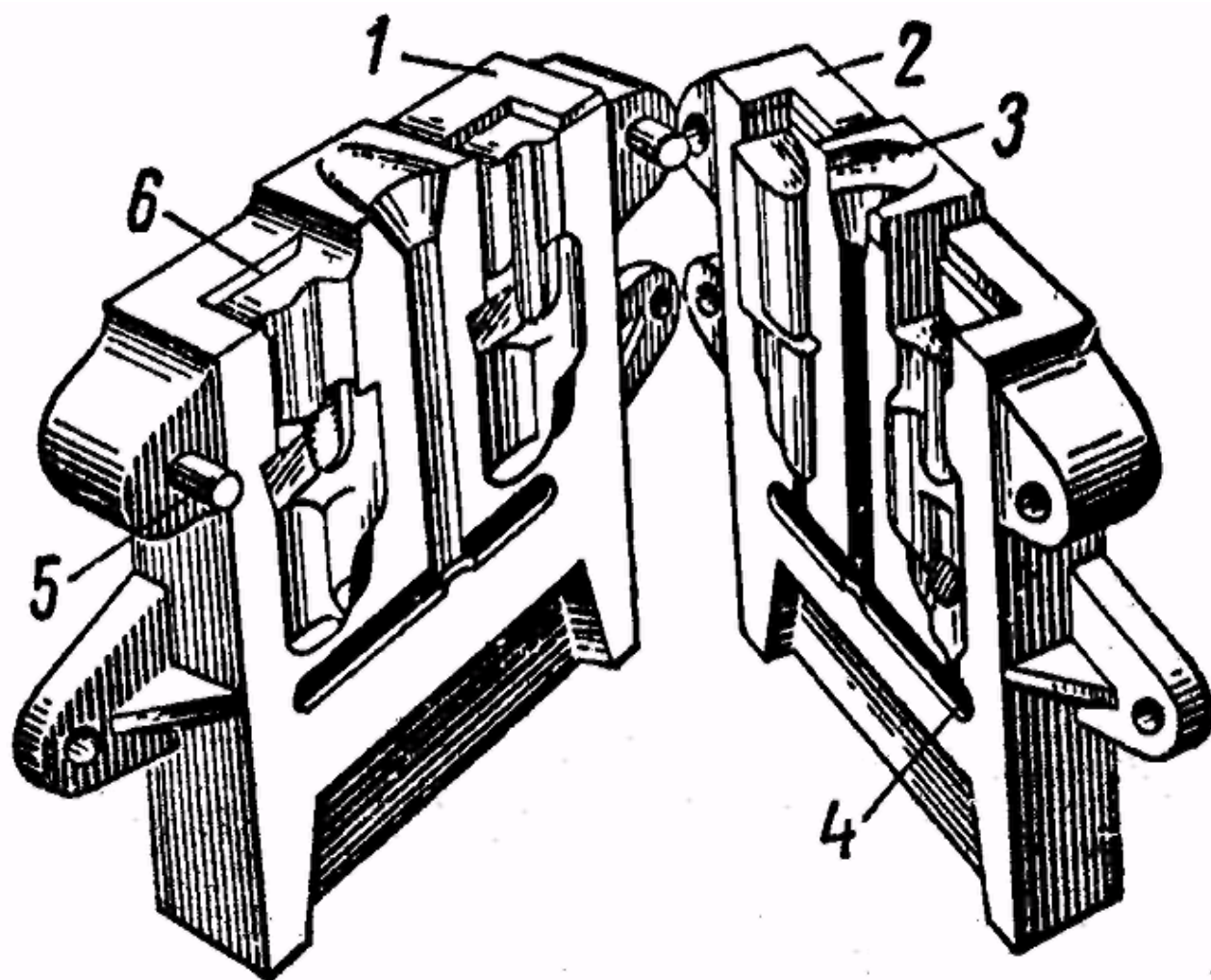


Рисунок 15.2 Литье в металлические формы (кокили): 1, 2- половинки формы, 3- воронка, 4- литниковый канал, 5- центрируемый штырь, 6- выпоры.

Таблица 15.1 Стойкость металлических форм (кокилей)

Материал формы	Отливки	Температура плавления сплава, °С	Количество максимальных заливок
Чугун	Стальные	1450	100...500
	Чугунные	1150	5000
	Медные	1050	5000...10000
Сталь	Алюминиевые	650	50000...200000
	Магниеые	600	75000
	Цинковые	400	150000
	Оловянно-свинцовые	250	200000...400000

Преимущества литья в кокили (по сравнению с литьем в песчаные формы):

- выпуск литья увеличивается в 2...5 раз на тех же производственных площадях;
- отходы при литье уменьшаются на 8...12%;
- количество бракованных отливок снижается на 50...70%;
- себестоимость литья снижается на 15...20%;
- повышаются на 2 квалитета точность изготовления отливки и в 4...6 раз, уменьшается шероховатость поверхности.

К недостаткам литья в металлические формы следует отнести:

- отсутствие податливости и газопроницаемости формы;
- пониженная наполняемость формы вследствие быстрой потери жидкотекучести металла;
- трудоемкость изготовления форм, особенно для сложных отливок и их высокая стоимость;
- малая стойкость форм для стального и чугунного литья;
- образование на чугунных отливках отбела поверхности и, следовательно, необходимость введения дополнительной операции - отжига.

С учетом преимуществ и недостатков литья в металлические формы этот вид используют для получения мелких и средних отливок, относительно простой конфигурации, чаще всего из сплавов цветных металлов.

5.3 Литье под давлением в металлические пресс-формы

Данный метод заключается в том, что жидкий металл поступает в металлическую пресс-форму под большим давлением (0,5... 100 МПа).

Литьем под давлением получают небольшие тонкостенные (до 0,75 мм) отливки из цветных сплавов высокой точности (11...10 квалитет) и с высокой чистотой поверхности (шероховатость в 2...3 раза ниже, чем при литье в кокили). Для изготовления пресс-форм применяются только легированные, и среднелегированные инструментальные стали, рисунок 15.2.

Таблиц 15.2 Сплавы, применяемые для литья под давлением

Литейные сплавы	Марки сплавов	Назначение
Алюминиевые	АЛ2, А4, АЛ5, АЛ12, АЛ30	Для деталей сложной конфигурации малых и средних размеров.
Магниевые	МЛ5, МЛ6	
Медные	ЛЦ40С, ЛЦ16К4	Мелкие и средние детали паровой и водяной арматуры для химической, автомобильной, авиационной и судостроительной промышленности.
Цинковые	ЦА4, ЦАМ1, ЦАМ4-3, ЦАМ5-10	Сложное декоративное литье, типографские шрифты и матрицы, сложные детали, работающие с небольшими нагрузками, детали в автомобильной, приборостроительной и судоремонтной промышленности.

Таблица 15.3 Стойкость пресс-форм для литья под давлением

Литейные сплавы	Максимальное количество заливок	Составы смазки форм
Цинковые	300000	Моторное масло
Магниевые и алюминиевые	100000	Парафин, вазелин, графит
Медные	10000	Смесь графита с маслом

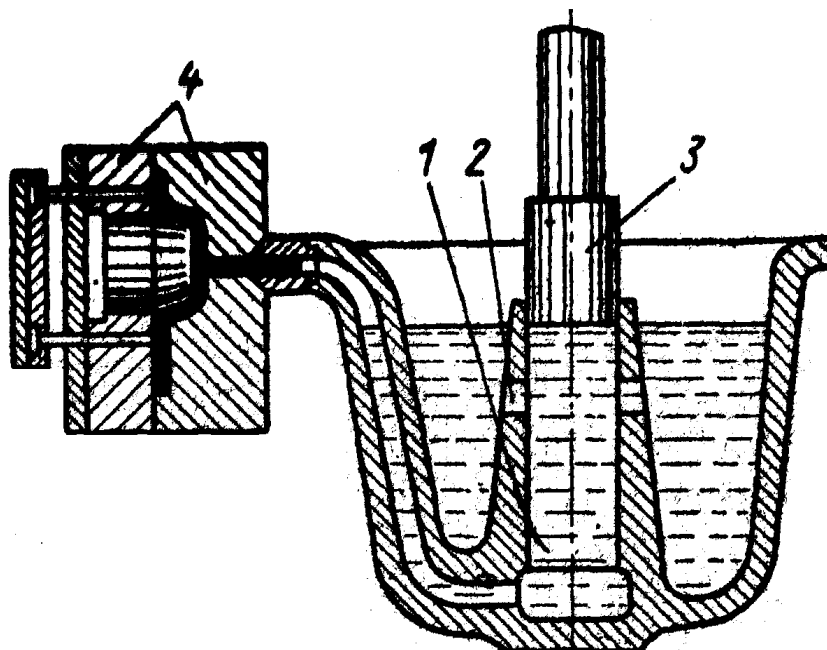


Рисунок 15.3 Схема машины для литья под давлением с горячей вертикальной камерой: 1—камера прессования, 2—отверстие для заполнения камеры прессования, 3—плунжер, 4—прессформа.

5.4 Центробежное литьё

При центробежном литье заполнение формы и кристаллизация происходит под действием центробежной силы, образующейся при вращении формы, что обеспечивает большую плотность отливки и меньшее количество неметаллических включений, отбрасываемых к центру вращения. Этим методом получают отливки труб, колец, втулок и других тел вращения.

Формы для центробежного литья могут быть металлические и песчаные. Применяются футерованные изложницы - металлические формы с тонкой песчаной футеровкой и металлические формы со стержневыми вставками.

Центробежным способом можно отливать сталь, чугун и цветные сплавы, имеющие небольшую ликвацию.

Применяются следующие способы центробежного литья: с горизонтальной и вертикальной осями вращения - внутри отливки образуются полости цилиндрической или конической формы; полуцентробежный - внутренняя полость образуется при помощи песчаного стержня; центрифугирование, при котором полости формы смещаются от оси вращения для получения фасонных отливок, рисунок 15.4.

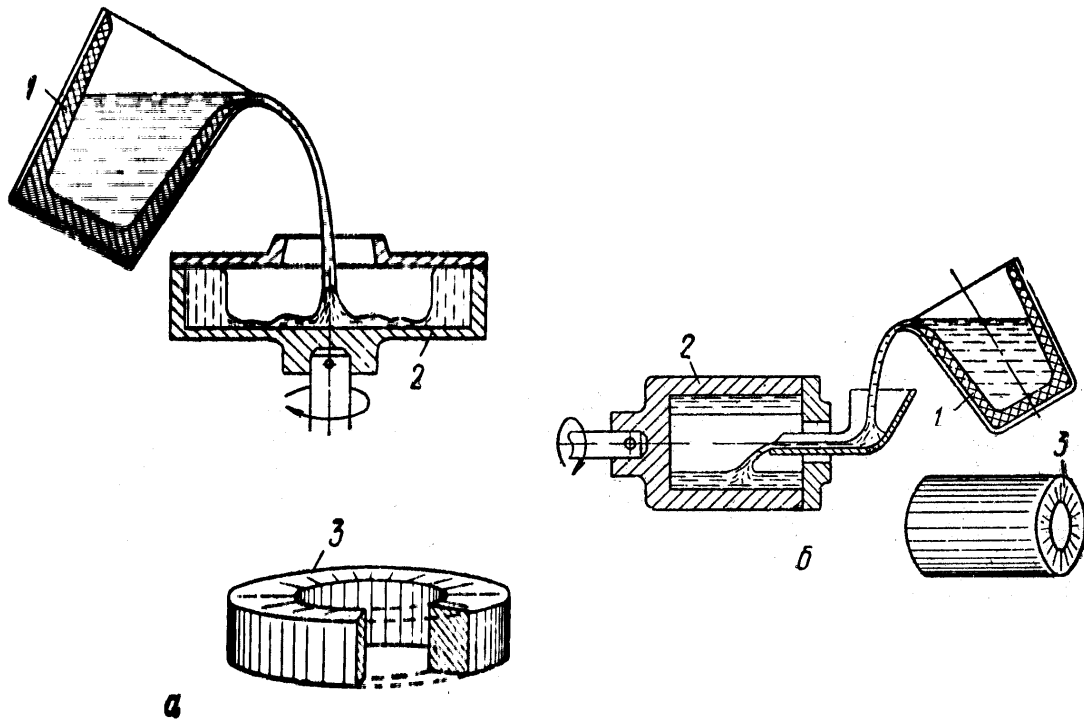


Рисунок 15.4 Схемы центробежного литья с вертикальной (а) и горизонтальной (б) осями вращения: 1 – ковш, 2 – формы, 3 – готовые отливки.

Центробежный метод заливки применяют для получения двухслойных отливок и заливок антифрикционных сплавов в подшипники.

Скорость вращения формы зависит от диаметра отливки и плотности сплава. Наиболее часто ее рассчитывают по формуле:

$$n = \frac{5520}{\sqrt{\gamma r}}$$

где γ – плотность сплава, г/см³; r – внутренний радиус отливки, м

Для различных отливок скорость вращения составляет 250...1500 мин⁻¹.

5.5 Литье по выплавляемым моделям

Сущность этого метода заключается в том, что в металлической пресс-форме изготавливается легкоплавкая модель отливки (рисунок 15.5, а), изготовленная из парафина, стеарина, церезина с добавкой канифоли и этилцеллюлозы. На поверхность модели наносится огнеупорная оболочка из мелкого кварцевого песка и этилсиликата в качестве связки (рисунок 15.5, б). Мелкие отливки изготавливают в виде блока (елочки), в котором к центральному летнику крепятся отдельные модели из парафина. Модель с оболочкой заформовывается в опоку (рисунок 15.5, в). Модель выплавляется, а форма прокаливается и еще горячей заливается жидким металлом. Литье по выплавляемым моделям применяют для получения отливок небольших размеров сложной конфигурации, с точными размерами, в том числе деталей, трудно поддающихся механической обработке.

Применение неразъемной высокоогнеупорной формы позволяет получать качественные отливки из стали, чугуна и цветных сплавов с высокой точностью и чистотой поверхности, что позволяет в ряде случаев не применять механическую обработку.

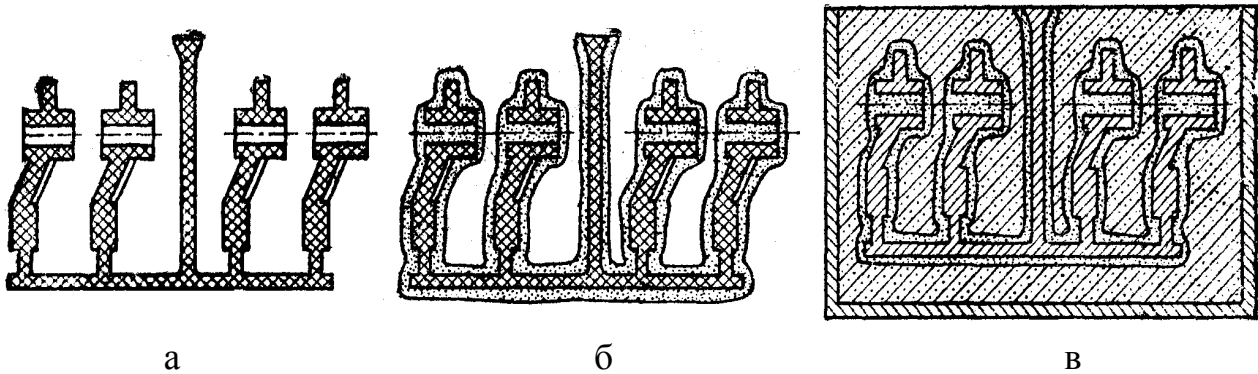


Рисунок 15.5 Изготовление форм по выплавленным моделям: а - блок моделей, б – блок, покрытый слоем огнеупорного материала, в – заформованные модели.

5.6 Литье в оболочковые формы.

Сущность литья в оболочковые формы заключается в том, что с помощью нагретых металлических полумоделей получают половинки оболочковой формы из кварцевого песка (90...95%) и фенолоформальдегидной смолы (10...5%) в качестве связки. Скрепленные между собой оболочки образуют единую оболочковую форму, в которую заливается жидкий металл: сталь, чугун, бронза, латунь и др. сплавы. Точность отливок достигает 0,05... 0,10 мм.

Технология изготовления оболочковых форм заключается в следующем. Металлическую подмодельную плиту и модель 1 нагревают до 200...250 °С и покрывают разделительным составом (рисунок 15.6, а), например силиконовой жидкостью. Она быстро затвердевает, образуя разделительную пленку, что устраняет прилипание формовочной смеси. При бункерном способе формовании оболочки плиту с моделью закрепляют на поворотном бункере с формовочной смесью (рисунок 15.6, б). При повороте бункера на 180° смесь высыпает на модель и плиту (рисунок 15.5, в). Смола быстро плавится и затвердевает и за 10... 20 с образуется полутвердая оболочка толщиной 5...15 мм. Затем бункер поворачивают в исходное положение (рисунок 15.6, г), снимают модельную плиту с оболочкой и помещают в электрическую печь, нагревая до 300...350 °С в течение 1...3 мин. для окончательного затвердевания смолы. Готовую полуформу снимают с модельной плиты при помощи выталкивателей (рисунок 15.6, д). Для получения формы полуформы склеивают (рисунок 15.6, е, ж) или соединяют другими способами.

Таблица 15.5 Механические свойства литейных сплавов

Материал	σ_B , МПа	δ , %
Серый чугун	100...400	до 0,5
Ковкий и высокопрочный чугун	300...600	2...12
Углеродистая сталь	400...800	15...30
Легированная сталь	600...1100	2...8
Бронзовые сплавы	150...350	5...15
Алюминиевые сплавы	100...300	1...12

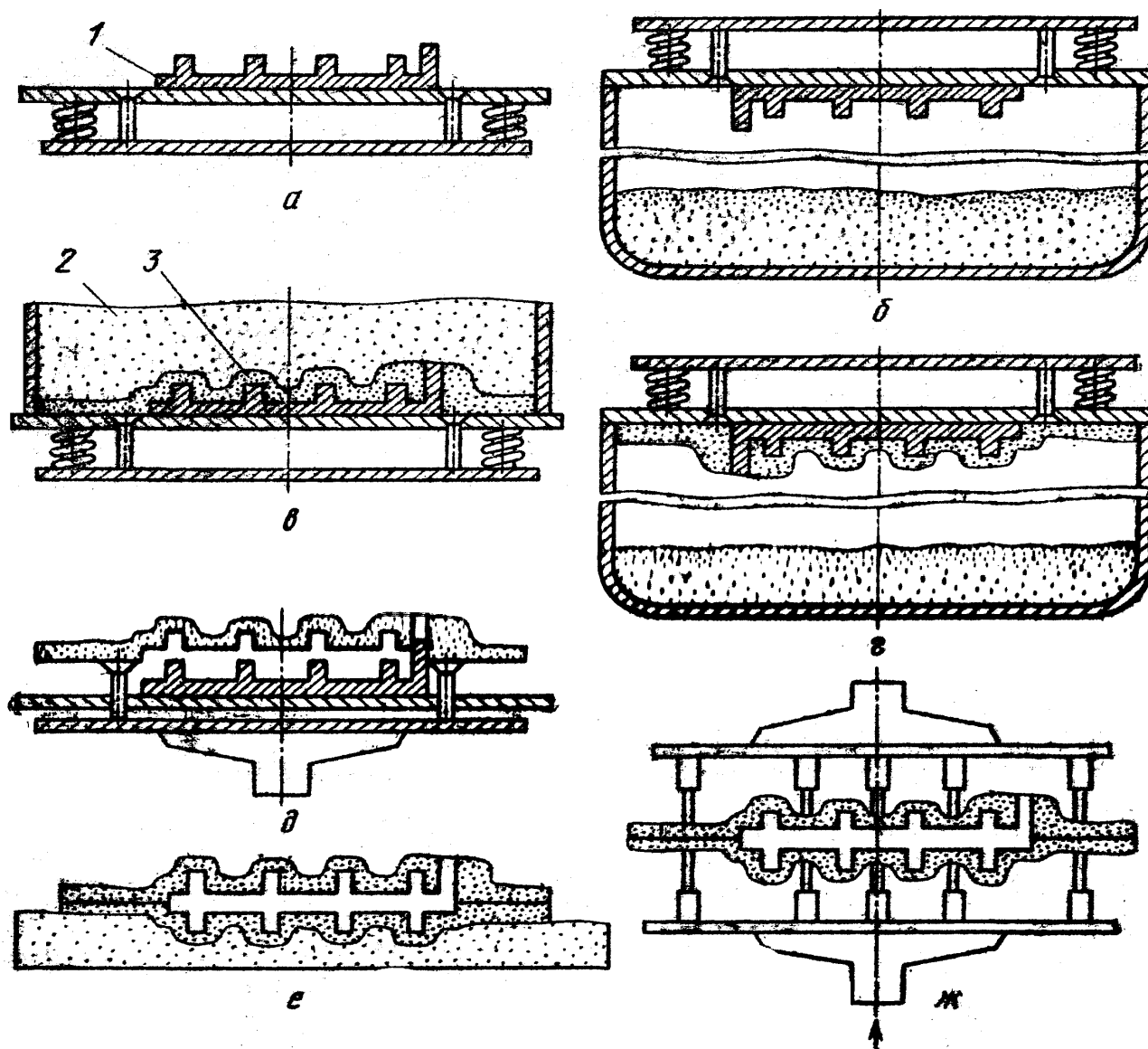


Рисунок 15.6 Схема технологического процесса изготовления оболочковой формы

Таблица 15.4 Характеристики различных видов литья

Виды литья		Допуски на размеры отливок, мм	Точность литья (калитет)	Шероховатость поверхности Ra, мкм
Литье в песчано-глинистые формы	единичное	1,4...3,0	16	100
	серийное		15-16	
	массовое		14-15	
Литье в металлические	черное	0,4... 1,8	14-15	12,5
	цветное		14	
Литье в оболочковые формы		0,2...1,5	14	25
Литье по выплавляемым моделям		0,08...0,4	12	8,0
Литье под давлением		0,05...0,15	11	5,0

Таблица 15.6 Наружные дефекты отливок

Виды дефектов	Причины возникновения дефектов
1	2
Пригар - грубая, шероховатая поверхность отливки (литье в песчано-глинистые формы)	Недостаточная огнеупорность формовочных материалов, неплотная набивка или плохая окраска формы, крупнозернистый формовочный материал
Узорчатая поверхность (мороз) - следы подтеков металла (литье под давлением)	Холодная форма, чрезмерно узкий питатель, мелкие трещины и грязь на рабочей поверхности формы
Вскипы - окисные складки, образовавшиеся при «кипении» металла (литье в песчано-глинистые формы)	Местное скопление влаги в форме, плохая вентиляция формы, малая газопроницаемость, недостаточно просушенные стержни, чрезмерно тугая набивка в отдельных местах, формы
Недоливы - незаполненные формы металлом (все способы литья)	Заливка холодным металлом, пониженная жидкотекучесть металла (отклонения от заданного химического состава), недостаточный напор жидкого металла в стояке, недостаточная порция металла, поданная в форму, плохая газопроницаемость
Ужимины - длинные узкие вмятины в теле отливки (литье в песчано-глинистые формы)	Неравномерность набивки формы, ведущая к неравномерности расширения слоев формы при заполнении ее металлом
Усадочные раковины и рыхлоты, углубления и пустоты различной формы и размеров (все способы литья)	Недостаточное питание отливки жидким металлом: малые размеры выпоров, неправильное их расположение, недостаточные размеры прибыльной части
Газовые раковины, располагающиеся в большинстве своем в наиболее массивных частях (все способы литья)	Попадание в формовочную смесь органических веществ, повышенная газонасыщенность металла, плохой отвод газа в процессе заполнения металлом формы, захват воздуха при заливке кокиля, перелив металла в полости кокиля с высокого уровня на низкий, влажность формовочных материалов
Шлаковые или флюсовые включения, наиболее часто появляющиеся в местах изменения толщины стенок, подвода литниковых щелей, в массивных местах, в карманах, не имеющих сообщения с выпорами, а также в местах, близких к выпорам (все способы литья)	Повышенная загрязненность шихты, не удовлетворительная литниковая система, прерывистая заливка кокиля с высокого уровня свободно падающей струей, размыв песчаных стержней

Продолжение таблицы 15.6

Горячие трещины при кристаллизации отливки, холодные - при охлаждении (все способы литья)	Неправильно выбран сплав, неудачная конструкция отливки (острые углы, резкие переходы в сечениях стенки), затрудненная усадка в отдельных местах отливки, недостаточная податливость стержней при кокильном литье, повышенное сопротивление формы усадке сплава и местные ее перегревы
Несоответствие размеров отливок размерам чертежа. Смещение «бобышек» и разностенность	Неточные размеры модели, нарушение технологии сборки, перекося штырей, неплотная набивка формы. При литье по выплавляемым моделям - недостаточная прочность керамического покрытия. Неравномерное охлаждение после термообработки

6 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

6.1 Разработать чертеж отливки, модели, стержневого ящика, спроектировать литниковую систему по индивидуальному заданию, полученному у преподавателя (в качестве примера использовать приложение 15.1).

6.2 Произвести формовку в опоках и заливку металла в форму.

6.3 Произвести контроль отливки внешним осмотром, используя таблицу 15.6.

6.4 Выбрать по каталогам деталей автомобилей, тракторов и сельхозмашин детали, которые целесообразнее изготовить методом литья, предложить наиболее целесообразный способ литья, обосновать свой выбор.

7 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА О РАБОТЕ

7.1 Привести чертеж отливки, модели, стержневого ящика, зарисовать эскиз литейной формы в сборе с литниковой системой

7.2 Указать наружные дефекты отливки и занести их в таблицу 15.7.

7.3 Привести автотракторные детали, которые целесообразно изготовить методом литья, заполнить таблицу 15.8.

Таблица 15.7 Результаты контроля отливок внешним осмотром

Наименование отливки и материала	Способ литья	Вид дефекта	Причина возникновения дефекта	Заключение о годности

Таблица 15.8 Способы литья для деталей машин

Наименование детали	Материал	Способ литья	Обоснование

ПРИЛОЖЕНИЕ 15.1 Методика проектирования технологического процесса литья в песчано-глинистой форме

Исходные данные:

- тип производства – мелкосерийное, единичное;
- рабочий чертеж детали – втулка;
- материал – серый чугун СЧ20;
- справочные таблицы: по химическому составу литейных чугунов и шихтовых материалов, припускам на механическую обработку и допускам на точность отливок.

Последовательность проектирования

1 Выбор способа формовки (в одной или более опоках, по разъемной или целиковой модели).

Выбираем способ формовки по разъемной модели в 2-х опоках.

2 Разработка чертежа отливки

Чертеж отливки (рисунок 15.8) разрабатывается на основании чертежа детали (рисунок 15.7). На контурах чертежа детали, выполненного тонкими линиями, наносят припуски на механическую обработку, а при необходимости, и технологические припуски (напуски), литейные уклоны, галтели (рисунок 15.8).

Полученный контур отливки обводят основной линией. На чертеже отливки проставляют размеры с учетом припусков. Величину припусков назначают по ГОСТ 26645-85.

2.1 Расчет размеров отливки

Наружный диаметр: $\varnothing 80_{\text{детали}} + 11 \pm 1,5 = \varnothing 91_{\text{отливки}} \pm 1,5 \text{ мм}$

где 11 мм – припуск на механическую обработку (в зависимости от требуемой шероховатости поверхности детали);

1,5 мм – допуск на размер (допускаемое отклонение)

Внутренний диаметр: $\varnothing 30_{\text{детали}} - 7 \pm 1 = \varnothing 23_{\text{отливки}} \pm 1 \text{ мм}$

Длина отливки: $120_{\text{детали}} + 9 \pm 2 = 129_{\text{отливки}} \pm 2 \text{ мм}$

Согласно рабочего чертежа детали все остальные размеры и поверхности отливки (кроме отверстия $\varnothing 10$ мм и выточки $\varnothing 50$ мм, которые не предусматриваются на отливки вследствие небольшого размера) остаются как на детали.

2.2 Назначение литейных уклонов и галтелей

Галтели (закругления внутренних углов) составляют $1/5 \dots 1/3$ средней арифметической толщины сопряженных стенок. Наружные галтели устанавливаются по конструктивным соображениям, но по возможности большими.

Для обеспечения извлекаемости модели из формы, а стержня - из стержневого ящика назначают по ГОСТ 3212-80 литейные уклоны, в пределах:

- $1/5$ – от высоты для мелких отливок (высота до 20 мм);
- $1/20$ – для средних отливок (20...500 мм);
- $1/50$ – для крупных отливок (свыше 500 мм).

Величины уклонов в градусах составляют от 0,5 до 3.

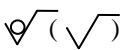


Рисунок 15.7 Чертеж детали.

Рисунок 15.8 Чертеж отливки.

3 Разработка чертежей элементов литейной формы

Чертежи элементов литейной формы (рисунок 15.9) разрабатывают по чертежу отливки. Выбрав наиболее рациональный разъем модели и литейной формы, на чертеже отливки наносят тонкими линиями стержни, питатели, шлакоуловители, стояки, литниковые чаши, выпоры, прибыли. Сечения элементов литниковой системы (питателей, шлакоуловителей, стояков), необходимые для изготовления их модулей, выносят на свободное поле чертежа. Стержни в разрезе штрихуются только у контурных линий.

Размеры знаков моделей (и знаковых частей стержней) принимают по ГОСТ 3606-80. Длина их составляет 1/3...1/10 от рабочей длины стержня. Знаковые части вертикально расположенных стержней должны иметь конусность или уклоны ($10...15^\circ$) для обеспечения вертикальности их установки в нижней полуформе и предохранения верхней полуформы и самого стержня от разрушения при сборке формы.

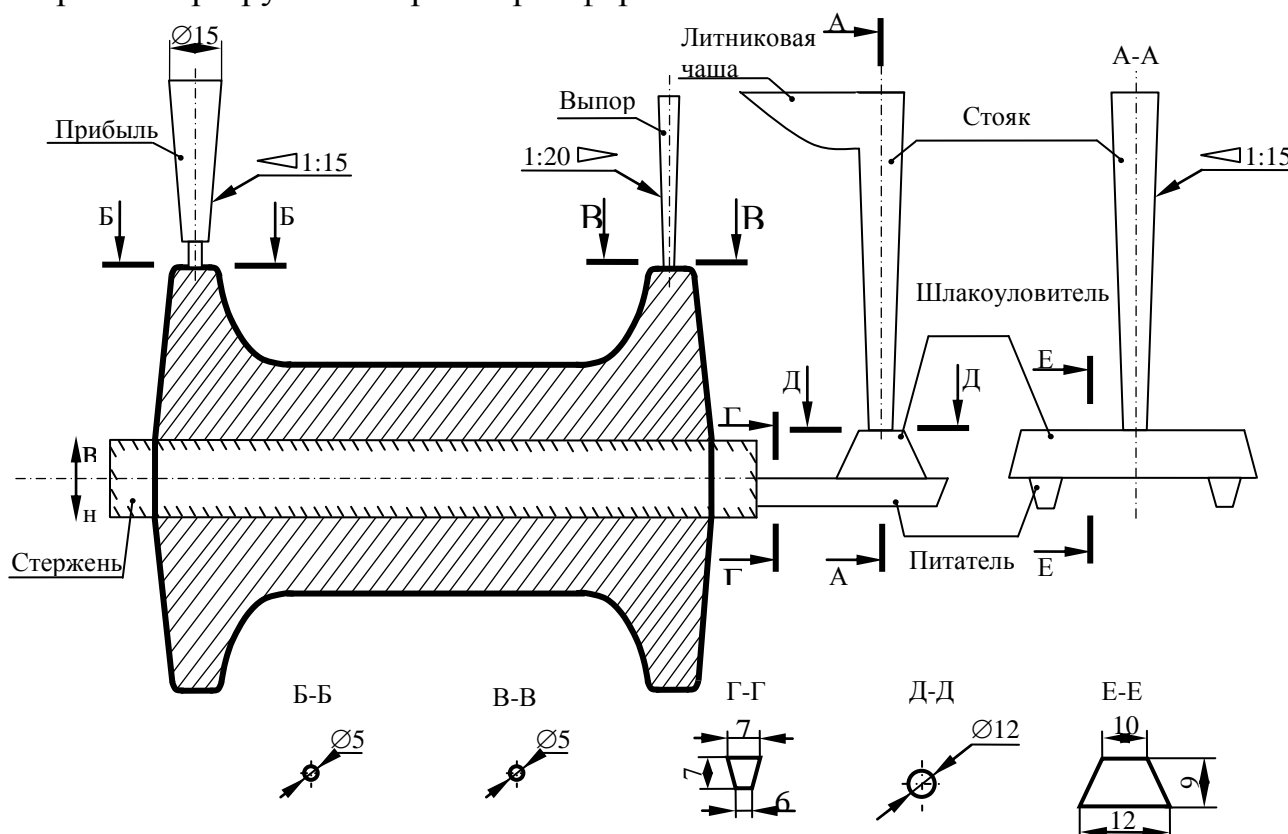


Рисунок 15.9 Элементы литейной формы

4 Расчет литниковой системы (стояк с чашей, шлакоуловитель, питатели, выпоры)

Исходными данными для конструирования литниковой системы являются площади сечения ее элементов. Суммарная площадь питателей $\sum F_{\text{пит}}$ в см^2 вычисляется по формуле:

$$\sum F_{\text{пит}} = 0,8\sqrt{m}$$

где m – масса отливки, кг.

Площади сечения шлакоуловителя $F_{шл}$ и стояка $F_{ст}$ определяются из соотношений:

$F_{лит} : F_{шл} : F_{ст} = 1:1,1:1,5$ – для чугуна и медных сплавов;

$F_{лит} : F_{шл} : F_{ст} = 1:1,1:1,2$ – для стали;

$F_{лит} : F_{шл} : F_{ст} = 3:2:1$ – для алюминиевых сплавов.

5 Разработка чертежа модели и стержневого ящика

Чертеж модели (рисунок 15.10) разрабатывается на основании чертежа отливки. При этом размеры модели увеличиваются по сравнению с размерами отливки на величину литейной усадки, расчетные размеры которой следующие:

- для серого чугуна – 1%;
- для ковкого чугуна и цветных сплавов – 1,5%;
- для стали – 2%.

На чертеже модели предусматривают знаки. Сведения о выборе их размеров и форм приведены в разделе 3.

Чертеж стержневого ящика (рисунок 15.11) разрабатывается на основании принятых форм и размеров стержня.

Расчет размеров модели

Наружный диаметр: $\varnothing 91_{отливки} \pm 1,5 \text{ мм} + 1 = \varnothing 92_{модели} \pm 1,5$

где 1 мм – величина усадки по диаметру;

Длина: $129_{отливки} \pm 2 \text{ мм} + 1 = 130_{модели} \pm 2$

6 Расчет шихты

Шихтой называют совокупность исходных материалов для получения литейного сплава. Для плавки чугуна применяют в той или иной комбинации:

- литейные чушковые чугуны – 20...40% от массы шихты;
- чугунный и стальной лом – 0...40%;
- цеховые отходы (брак, литники) – 40...60%.

Необходимое соотношение исходных материалов рассчитывают, исходя из требуемого химического состава каждого компонента шихты. При этом учитывается, что при плавке чугуна происходит угар кремния в среднем на 18%, марганца на 20%, пригар серы на 50%. Содержание фосфора и углерода не изменяется. Для получения нужного состава по содержанию легирующих элементов в шихту добавляют ферросплавы: ферросилиций, ферромарганец, феррохром и др.

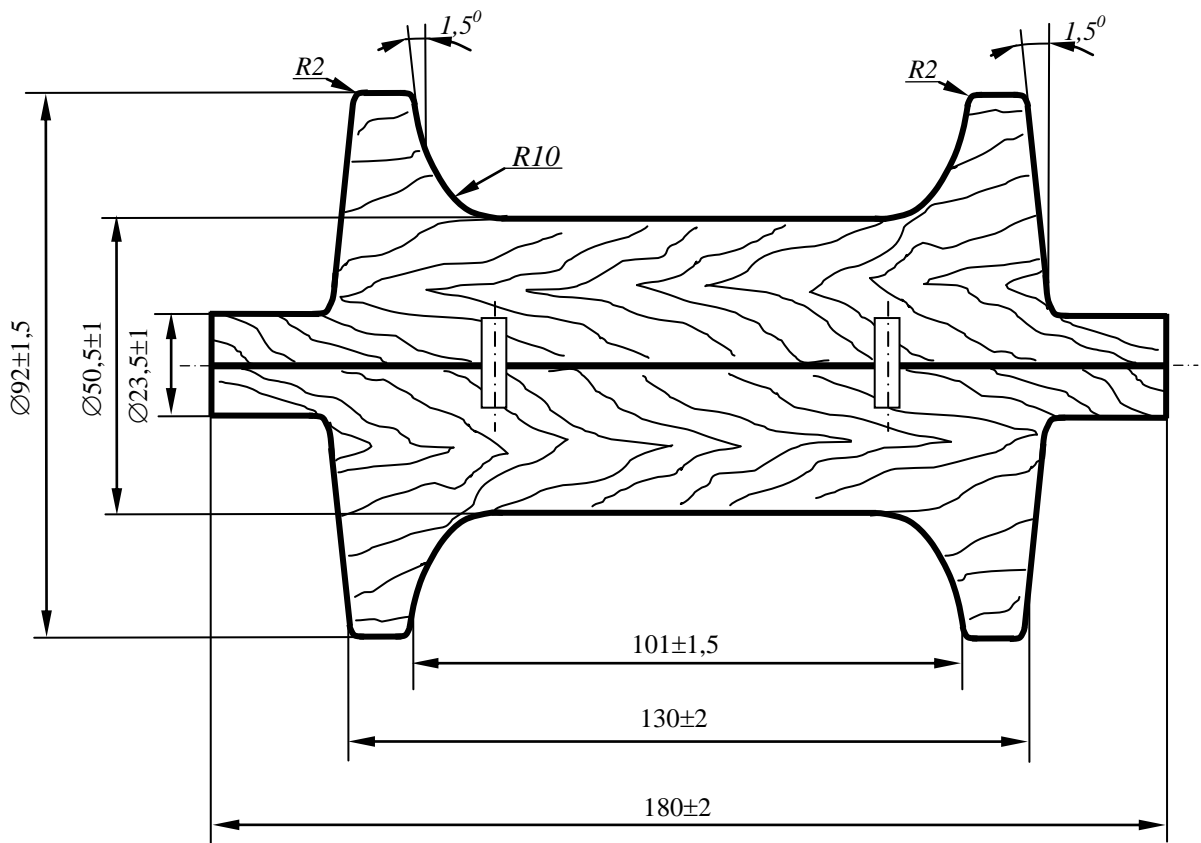


Рисунок 15.10 Чертеж модели

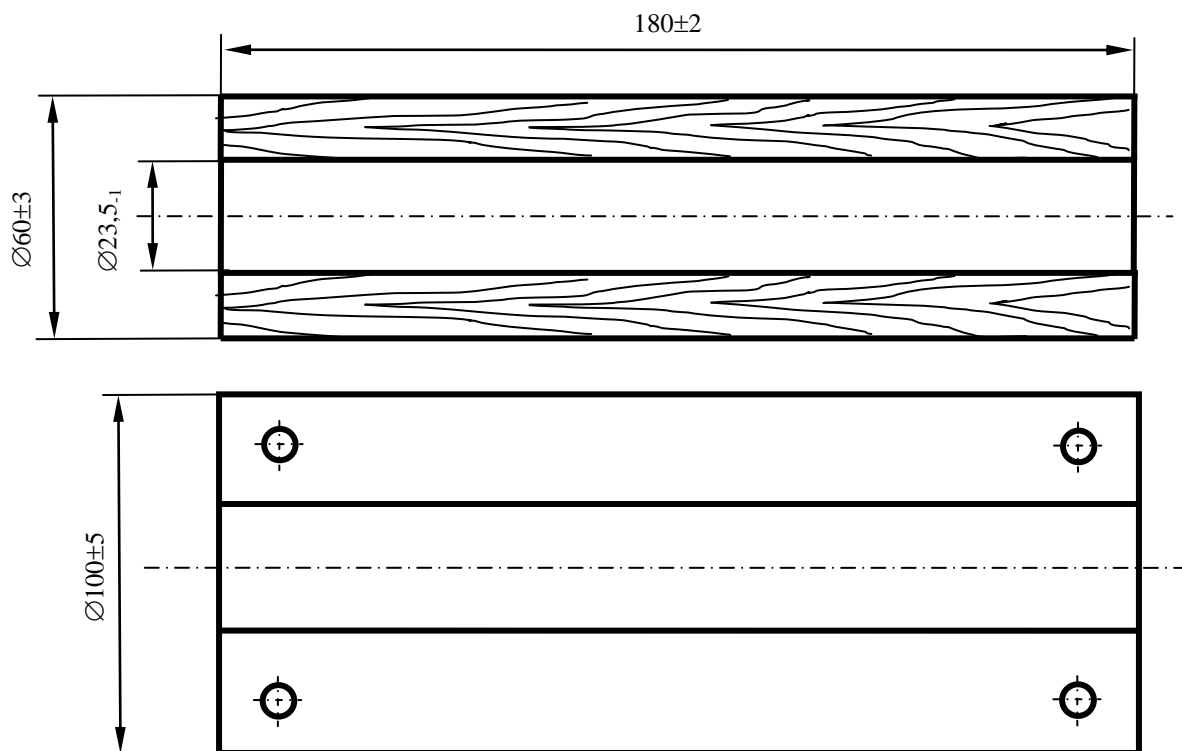


Рисунок 15.11 Чертеж стержневого ящика

Лабораторная работа № 16

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОКОВКИ**1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Ознакомиться с методикой разработки технологии и составлением технологических карт на изготовление поковки.

2 МАТЕРИАЛЬНОЕ ОСНАЩЕНИЕ

Образцы поковок, изготовленные различными кузнечными переходами: обжатием, вытяжкой, прошивкой и т.д. Плакаты с иллюстрациями оборудования, инструментов, приборов и технологических переходов, используемых при ковке. Справочные таблицы.

3 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Поковка – это изделие, полученное обработкой металла давлением (ковкой). Процесс деформации металла под ударами молота, кувалды, молотка или воздействия пресса называется свободной ковкой.

Свободной ковкой изготавливают в условиях индивидуального и мелкосерийного производства поковки массой от нескольких грамм до 300...350 т. Свободную ковку производят на гидравлических прессах (тяжелые поковки), паровоздушных молотах (средние поковки массой 8...750 кг) и на пневматических молотах (мелкие поковки). Исходными заготовками для свободнойковки служат прокат, блюмсы и в некоторых случаях слитки.

Разработка технологического процесса свободнойковки состоит из:

- проектирование поковки.
- расчет размеров и массы заготовки для поковки.
- назначение кузнечных переходов.
- выбор оборудования.
- определение режима нагрева и охлаждения.
- назначение термообработки для поковки.

3.1 Проектирование поковки

Чертеж поковки разрабатывают по чертежу детали. Размеры поковки по сравнению с размерами готовой детали на величину припуска. Для упрощения формы поковки по отдельным поверхностям (получение которых ковкой невозможно или затруднительно) дают местное увеличение припуска, называемое напуском. На все размеры поковки назначают допуски. Припуски и допуски на поковки из углеродистой стали, изготавливаемой свободной ковкой на молотах, регламентированы ГОСТ 7829-70 (таблица 16.1), а на прессах ГОСТ 7062-54. Все полученные расчетом данные заносятся в технологическую карту. Технологическая карта утверждается и передается в цех для изготовления поковки. Любые изменения допускаются только после рассмотрения и утверждения в техническом отделе предприятия.

3.2 Расчет размеров и массы поковки

Массу исходной заготовки при ковке из проката определяют по формуле

$$G_3 = G_{II} + G_O,$$

где G_{II} - масса поковки, кг; G_O - масса отходов на обесчки и угар, кг.

Массу поковки подсчитывают по формуле

$$G_{\Pi} = V_{\Pi} \cdot \rho,$$

где V_{Π} - объем металла поковки, см^3 ;

ρ - плотность материала, г/см^3 (для стали - $7,8 \text{ г/см}^3$).

Площадь поперечного сечения исходной заготовки определяют, исходя из площади поперечного сечения детали, характера обработки и степени уковки. Если основной операцией при ковке является вытяжка, то площадь поперечного сечения исходной заготовки находят по формуле

$$F_3 = F_{\Pi} \cdot K,$$

где F_{Π} - площадь поперечного сечения поковки, см^2 ;

K – степень уковки, равная для проката $1,3 \dots 1,5$, для слитка – $1,5 \dots 2$.

Для операции осадки высота исходной заготовки должна быть менее трех ее диаметров.

Длину исходной заготовки можно определить по формуле

$$L_3 = \frac{V_{\Pi} + V_0}{F_3} = \frac{V_3}{F_3},$$

где V_0 - объем отходов, см^3 ;

V_3 - объем заготовки, см^3 .

3.3 Назначение кузнечных переходов

При разработке технологииковки необходимо стремиться к наименьшему числу переходов, к минимуму отходов металла и получению детали с высокими механическими свойствами. Для создания высоких механических свойств поковки важное значение имеет устранение в ней дендритной (древовидной) структуры, получаемой в отливках, т.е. раздробление ее до мелкозернистого строения. При ковке ряда деталей (шестерни, валы, оси, инструмент и др.) для раздробления дендритной структуры применяют многократное обжатие поковки в продольном и поперечном направлениях.

3.4 Выбор оборудования

Выбор ковочных молотов производится по массе падающих частей в зависимости от размеров заготовки и операции свободнойковки (таблица 16.3). Кроме этого, в зависимости от геометрических параметров детали и технологических переходовковки, используются специальные инструменты и приспособления: прошивки, обжимки, клещи, наковальни и т.д. (см. плакат).

3.5 Определение режима нагрева и охлаждения

Для нагрева поковок применяют пламенные и электрические печи. Максимально допустимая температура нагрева t_H^0 перед свободнойковкой для углеродистых сталей примерно на 150°C ниже линии солидуса AE на диаграмме «железо-цементит».

Температура конца горячей обработки t_K^0 для углеродистых сталей устанавливается на $50 \dots 70^{\circ}\text{C}$ выше линии SK . Температурные интервалыковки для ряда марок конструкционных углеродистых и легированных сталей приведены в таблице 16.4.

Нагрев и охлаждение заготовки следует производить равномерно во избежание резкого перепада температур в наружных и внутренних ее слоях, что может привести к образованию трещин.

Поковки охлаждают на воздухе, в ящиках или колодцах на воздухе или в засыпке с сухим песком вместе с печью.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Изучить методику проектирования технологического процесса изготовления поковки.

4.2 Разработать технологический процесс изготовления поковки болта по варианту приложения 16.2.

4.3 Расчеты по проектированию оформить в рабочей тетради.

ПРИЛОЖЕНИЕ 16.1

Таблица 16.1 Припуски (на две стороны) и допуски на гладкие поковки

Длина детали, мм	Диаметр детали D или размер сечения B, H					
	до 50	св. 50 до 70	св. 70 до 90	св. 90 до 120	св. 120 до 160	св. 160 до 120
До 250	5±2	6±2	7±2	8±3	9±3	-
Св. 250 до 500	6±2	7±2	8±2	9±3	10±3	11±3
Св. 500 до 800	7±2	8±2	9±3	10±3	11±3	12±3
Св. 800 до 1200	8±2	9±2	10±3	11±3	12±3	13±4

Таблица 16.2 Масса отходов на обсечки и угар в % от массы поковки

Наименование изделия	%
глухие фланцы	1,5
кольца, втулки, обечайки	3...5
гладкие валы, бруски	5...7
валы, зубчатые колеса, болты	7...10
гаечные ключи, шатуны	15...18
рычаги сложные, кривошипы	18...25

Таблица 16.3 Масса падающих частей ковочных молотов

Масса падающих частей молота, кг	Максимальное сечение заготовки, мм	
	осадка	вытяжка
100	50	90
200	70	120
300	85	140
400	100	160
500	115	180

Таблица 16.4 Температурные интервалыковки сталей

Марки стали	Интервал температурковки, °C
20,25,30,35	1250...800
40-60,15Г-60Г	1200...800
40ХС, 25ХГС, 25ХГСА	1150...830
20Х, 30Х, 50Х, 30ХА	1200...800

ПРИЛОЖЕНИЕ 16.2
Задание на самостоятельную работу

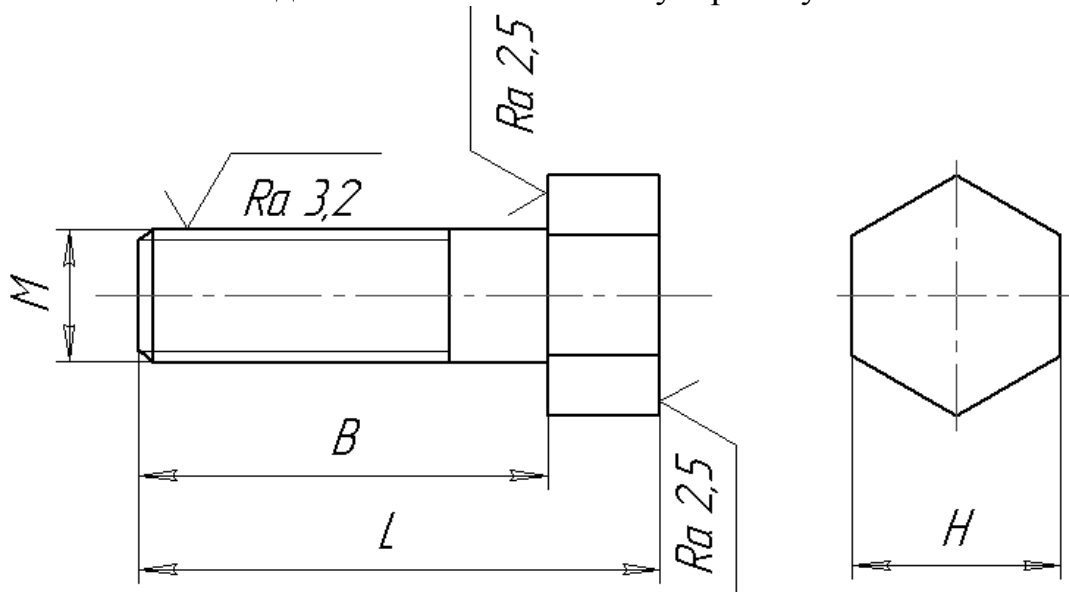


Рисунок 16.1.1 Эскиз болта

Таблица 16.2.1 Размеры готового изделия

Вариант	Расчетные размеры, мм				Материал
	L	B	M	H	
1	70	55	18	28	Сталь 30
2	100	80	30	40	Сталь 30ХА
3	250	210	36	48	Сталь 30Г
4	300	250	42	50	Сталь 25ХГС

ПРИЛОЖЕНИЕ 16.3

Методика проектирования технологического процесса изготовления поковки. **Исходные данные:**

- тип производства – мелкосерийное, единичное;
- материал – Сталь 30;
- справочные таблицы (приложение 16.1);
- рабочий чертеж детали.

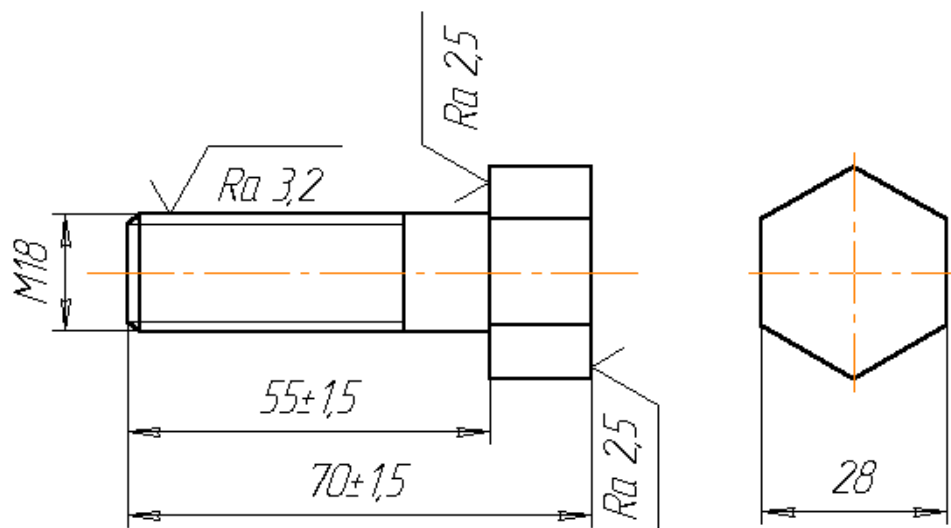


Рисунок 16.3.1 Чертеж болта

Последовательность проектирования

1. Проектирование поковки.

Ковкой получается шляпка болта, а торец и стержень болта подвергается механической обработке. По ГОСТ 7589-85 (таблица А1) припуски на механическую обработку по длине и диаметру заготовки составляют 5 ± 2 мм. На чертеже поковки контуры готовой детали чертим тонкой линией, а контуры поковки - утолщенной.

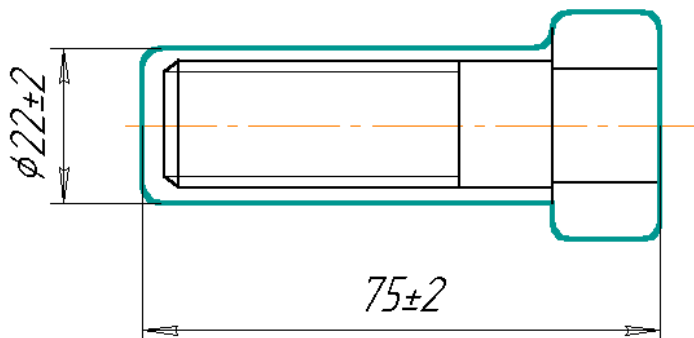


Рисунок 16.3.2 Чертеж поковки.

2. Расчет размеров и массы заготовки для поковки.

В качестве заготовки выбираем круглый прокат. Ориентируясь на размер стержня, ближайший размер проката составляет $\varnothing 22$ мм. Длину заготовки рассчитываем по массе и объему поковки.

Масса заготовки: $G_3 = G_{II} + G_O$

По таблице 16.2: $G_O = (0,07...0,10) \cdot G_{II}$

Рассчитаем массу поковки. При этом, для упрощения расчетов, принимаем сечение шляпки болта в виде круга диаметром 28 мм. Тогда:

$$G_{II} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h \cdot \rho = \frac{3,14 \cdot 28^2}{4} \cdot 15 \cdot 7,8 \cdot 10^{-3} = 72 \text{ г.}$$

$$G_3 = G_{II} + 0,1 \cdot G_{II} = 72 + 7,2 \approx 80 \text{ г}$$

Определим длину заготовки для получения шляпки болта:

$$L_3 = \frac{V_{II} + V_O}{F_3} = \frac{V_3}{F_3 \cdot \rho} = \frac{G_3}{\left(\frac{3,14 \cdot 22^2}{4} \right) \cdot 7,8 \cdot 10^{-3}} = 27 \text{ мм}$$

Общая длина заготовки: $L_{III} = L_{CT} + L_3 = 60 + 27 = 87 \text{ мм}$

3. Назначение кузнечных переходов.

Содержание и эскизы кузнечных переходов приведем в виде таблицы 16.3.1.

4. Выбор оборудования.

В зависимости от технологических переходов и размеров заготовки выбираем пневматический молот с массой падающей части 100 кг (таблица 16.3).

5. Определение режима нагрева и охлаждения.

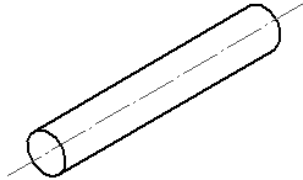
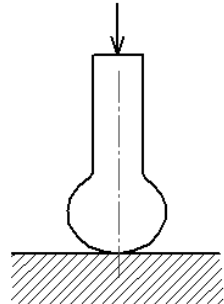
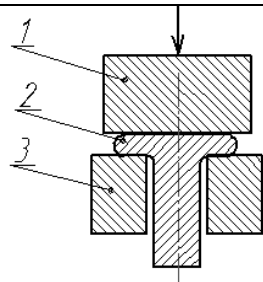
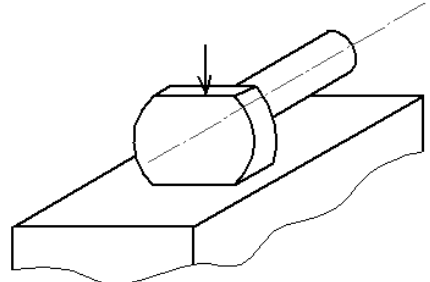
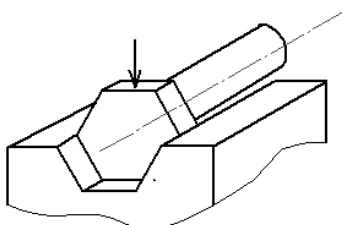
Нагрев заготовок для поковки производят в электрической печи до температуры $800...1250 \text{ } ^\circ\text{C}$ (таблица 16.4). Поковку охлаждают на воздухе

(нормализация) для получения невысокой твердости перед механической обработкой.

6. Назначение термообработки для поковки

Деталь при работе испытывает знакопеременные динамические нагрузки, поэтому после механической обработки проводят улучшение.

Таблица 16.3.1 Содержание кузнечных переходов

Содержание перехода	Эскизы
Отрезать заготовку	
Нагреть один конец заготовки	
Осадить нагретый конец заготовки	
Высадить головку болта в подкладном штампе 1 – боек; 2 – болт; 3 – подкладной штамп.	
Отковать шестигранную головку: а) отковать две плоскости головки; б) повернуть болт на 60° и отковать еще две плоскости; в) повторить пункт б.	
Отковать окончательно головку в шестигранной обжимке.	
Выпрямить стержень болта.	

Лабораторная работа № 17

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ**1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Изучение оборудования и ознакомление с операциями листовой штамповки.

2 МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Пресс гидравлический усилием 20 т; пресс кривошипный; ножницы по металлу; лабораторные штампы для вырубки, вытяжки, просечки отверстий, формовки, гибки, отбортовки; штампы с эластичным наполнителем; листовые заготовки из малоуглеродистой стали, латуни и алюминиевого сплава с разным исходным диаметром; штангенциркуль.

3 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Листовой штамповкой называется метод получения изделий и деталей из листового материала толщиной не более 8...10 мм с помощью штампов. Листовая штамповка получила широкое распространение в машиностроении, производстве предметов широкого потребления и других видах производства для изготовления плоских и пространственных деталей, массой от долей граммов до десятков килограммов.

Основным видом оборудования для листовой штамповки являются ножницы, кривошипные и гидравлические прессы (рисунок 17.2, 17.3).

Операции листовой штамповки подразделяются на разделительные и формообразующие.

К основным разделительным операциям относятся резка, вырубка, пробивка. Вырубка предназначена для образования внешнего контура заготовки. Внешний диаметр вырубленной заготовки равен диаметру пуансона.

К формообразующим операциям относятся вытяжка, гибка, рельефная формовка, отбортовка и другие операции (рисунок 17.1).

Для получения качественных изделий необходимо соблюдать определенные параметры технологического процесса, которые для большинства металлов являются справочными.

В процессе вырубки и пробивки особенно важно соблюдать соосность пуансона относительно матрицы, что необходимо для обеспечения номинального зазора между ними. Односторонний зазор принимается равным:

$$z/2 = (0,02 \dots 0,1)S,$$

где S – толщина листа, м.

Правильный зазор обеспечивает необходимую чистоту среза и точность штамповки. Усилие вырубки определяется по формуле

$$P = L \cdot S \cdot \sigma_{cp} \cdot K,$$

где L – периметр изделия или отверстия, м;

σ_{cp} – предел текучести материала на срез, МПа;

$K = 1,1 \dots 1,3$ – коэффициент, учитывающий затупление режущих кромок пуансона и матрицы.

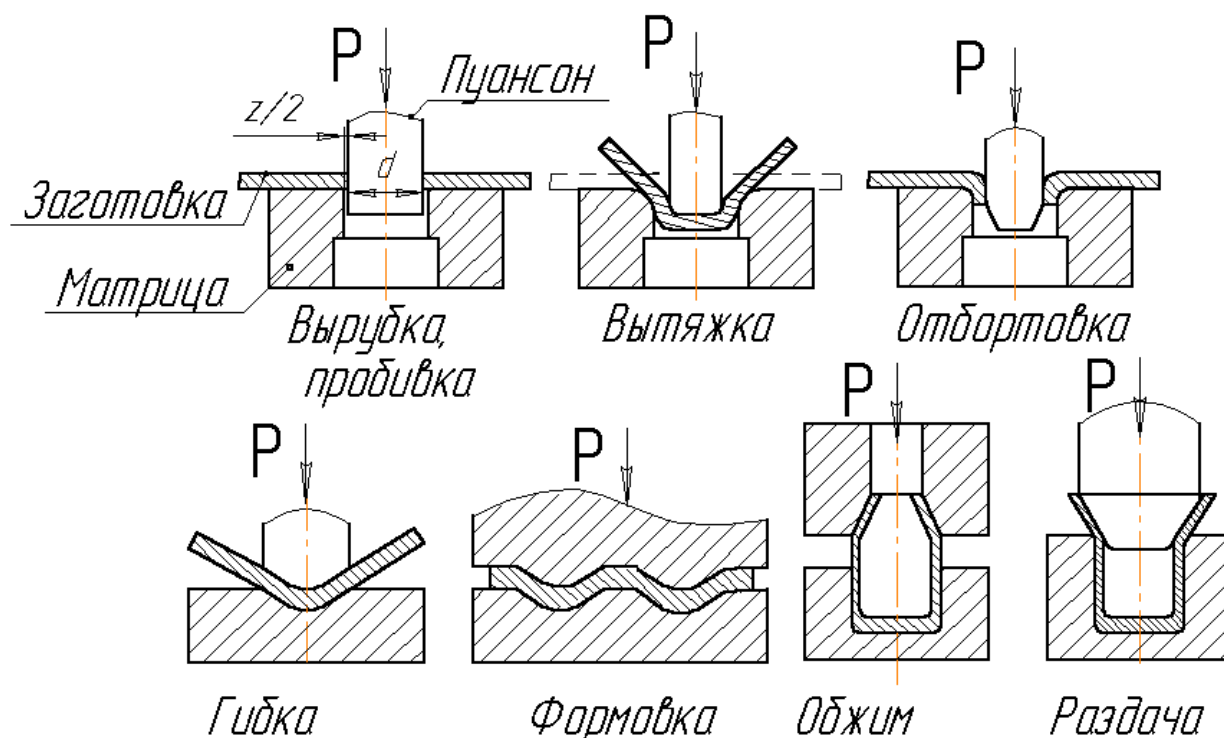


Рисунок 17.1 Схемы операции листовой штамповки

Для нормального проведения операции отбортовки требуется высокая пластичность металла, высокая чистота торцов отверстий под отбортовку, отсутствие на них заусенцев, трещин и т.д. Операция отбортовки характеризуется коэффициентом отбортовки:

$$m_{отб} = d_{изд} / d_{отв}$$

Вытяжка является наиболее сложной операцией листовой штамповки. От материала заготовки требуются высокие пластические свойства, которыми обладают, например, алюминий, медь, низкоуглеродистая сталь 10кп и др. При разработке технологического процесса вытяжки необходимо определить возможность проведения операции вытяжки за один переход без отрыва дна или необходимость нескольких последовательных переходов. Качество изделия получаемого вытяжкой зависит от пластических свойств материала, наличия или отсутствия прижима, отношения толщины листа к диаметру заготовки, величины радиуса закругления кромок пуансона и матрицы, величины зазора между пуансоном и матрицей, наличия смазки и ее качество. Несоблюдение указанных факторов приводит к таким видам брака при вытяжке, как отрыв дна или фланца или к образованию на боковой поверхности гофра. Усилие на вытяжном штампе складывается из усилия прижима и усилия вытяжки. Величина усилия прижима определяется по формуле

$$P_{пр} = \frac{\pi}{4} [D_3^2 - (d_{изд} + 2R_M)] q,$$

где D_3 – диаметр заготовки, м;

$d_{изд}$ – диаметр изделия, м;

$q = 1 \dots 4$ МПа/м – удельное давление прижима;

$R_M = R_{\Pi} = (6 \dots 10) S$ – радиусы закругления пуансона и матрицы, м.

Усилие вытяжки цилиндрического изделия определяется по формуле

$$P_B = \pi \cdot S \cdot \sigma_B \cdot (D_3 - d_{\text{изд}}) \cdot b,$$

где $b=1,2$ при $(100 \cdot S)/D_3 < 1$; $b=1$ при $(100 \cdot S)/D_3 > 1$;

σ_B – предел прочности при растяжении, МПа;

Сравнительно простая операция гибки, также имеет свои особенности и ограничительные параметры. Ими являются минимальный радиус R_{\min} и угол пружинения α^0 . Величина α^0 обусловлена упругой деформацией и тем больше, чем больше R . При $R < R_{\min}$ на наружной стороне листа появляются трещины. Усилие одноугловой гибки определяется по формуле

$$P = 0,7 \frac{B \cdot S^2 \cdot \sigma_B}{r + S},$$

где B – ширина изгибаемой заготовки, м;

σ_B – предел прочности при растяжении, МПа;

r – радиус пуансона, м;

S – толщина заготовки, м.

Операции формовки и раздачи могут привести к образованию разрывов и требуют высокой пластичности материала, а операция обжима часто приводит к потере устойчивости и образованию складок. Поэтому для штамповки небольших по площади деталей из листа толщиной до 2 мм иногда используют штампы с эластичным наполнителем (полиуретан, резина).

В процессе пластической деформации в холодном состоянии металл наклепывается, при этом его твердость возрастает, а пластичность падает. Поэтому для того, чтобы вернуть металлу исходную пластичность, производят операцию рекристаллизационного отжига.

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Изучить устройство и принцип работы гидравлического и кривошипного прессы.

4.2 Выполнить эскизы штампов для изготовления деталей по заданию преподавателя.

4.3 Определить необходимое усилие для штамповки данных деталей.

4.4 В штампах лабораторного типа выполнить ряд операций листовой штамповки: вырубку, пробивку, формовку, гибку, отбортовку, вытяжку.

4.5 Определить факторы, влияющие на качество изделий.

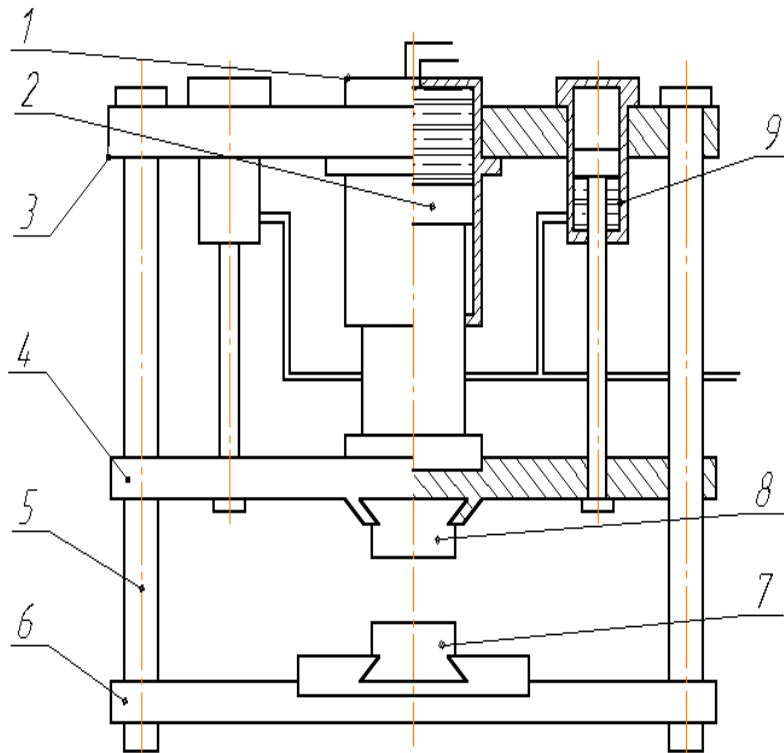


Рисунок 17.2 Принципиальная схема гидравлического пресса:

1 – рабочий цилиндр; 2 – плунжер; 3 – верхняя поперечина; 4 – подвижная траверса; 5 – колонны; 6 – нижняя поперечина; 7 - нижняя часть штампа; 8 – верхняя часть штампа.

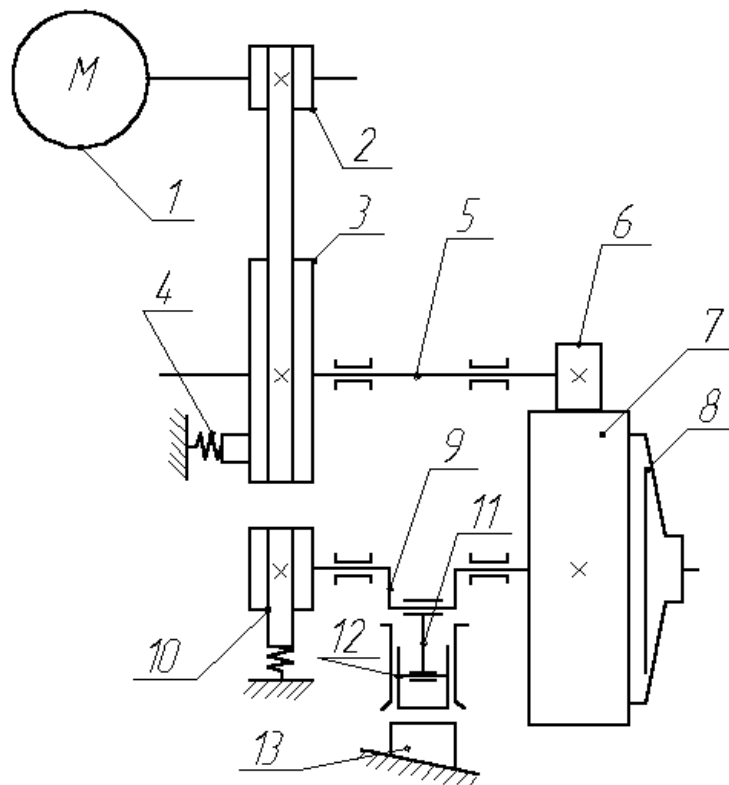


Рисунок 17.3 Кинематическая схема кривошипного пресса:

1- электродвигатель; 2- шкив клиноременной передачи; 3- маховик; 4 – вспомогательный тормоз; 5 – вал маховика; 6 – ведущая шестерня; 7 – ведомая шестерня; 8 – пневматическая муфта; 9 – кривошипный вал; 10 – ленточный тормоз; 11 – шатун; 12 – ползун; 13 – стол с двухклиновым устройством.

Практическое занятие № 18

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РУЧНОЙ
ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ****1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Научится рассчитывать режим ручной электродуговой сварки, выбирать сварочные материалы и оборудование, назначать технологические приемы варки.

Технологический процесс разрабатывается для условий мелкосерийного производства.

2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Тип сварного соединения, марка свариваемых материалов, толщина свариваемых изделий, длина шва, положение шва в пространстве.

**3 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ РУЧНОЙ
ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ**

1 Форма подготовки (разделка) кромок свариваемых изделий определяется по ГОСТ 5264-80 в зависимости от толщины свариваемых изделий и типа сварного соединения. При толщине свариваемых изделий не более 6 мм разделку кромок не производят.

2 Тип электрода указывает на прочность металла шва (например, тип Э42 соответствует $\sigma_b = 420$ МПа, Э50 - $\sigma_b = 500$ МПа и т.д.) и выбирается в зависимости от прочности основного металла свариваемого изделия с целью обеспечения равной прочности основного металла и металла шва (приложение 18.1).

3 Марка электрода выбирается по справочным данным, в соответствии с выбранным типом электрода (см. приложение 18.2 и 18.3), в зависимости от используемого источника тока, положения шва в пространстве и других требований.

Например, сварку в положениях, отличных от нижнего, лучше выполнять электродами с тугоплавким покрытием на постоянном токе обратной полярности. Постоянный ток обратной полярности применяется также при сварке тонкостенных деталей и сталей с низкой теплопроводностью (легированные стали). Источники переменного тока проще по устройству, надежнее в эксплуатации и имеют более высокий коэффициент полезного действия, что также должно учитываться при выборе марки электрода. Характеристика электрода: условное обозначение по ГОСТу, расшифровка.

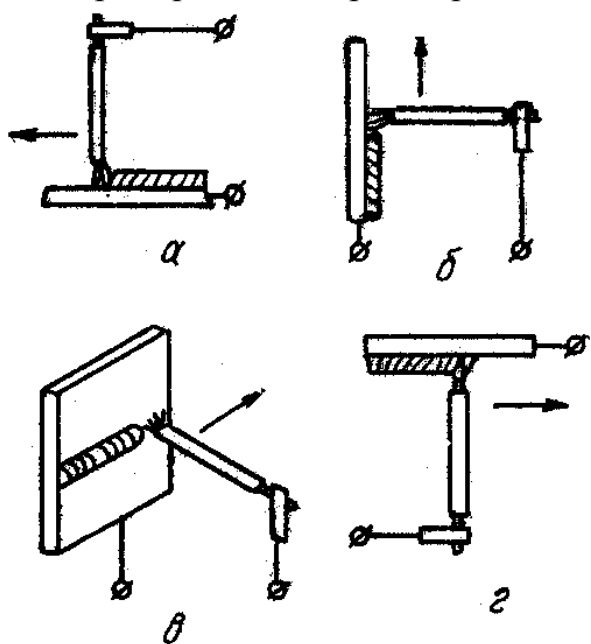
Марки электродов для сварки конструкционных сталей даны в приложении 18.2.

4 Диаметр электрода (стержня) в мм, выбирается в зависимости от толщины S свариваемых изделий по формуле

$$d_s = S/2 + 1$$

При сварке изделий толщиной более 10 мм диаметр электрода берется 6–8 мм вне зависимости от толщины изделий, а сварку производят многослойным швом.

На практике, в целях уменьшения массы расплавленного металла, диаметр стержня электрода принимают не более:



- при сварке нижних швов стыковых и нахлесточных соединений – 6мм;
- нижних швов тавровых и угловых соединений – 5мм;
- потолочных швов – 4мм;
- горизонтальных и вертикальных швов – 5мм (рисунок 18.1).

Рисунок 18.1 Расположение швов в пространстве: а – нижнее; б – вертикальное; в – горизонтальное; г – потолочное.

5 Сварочный ток, определяющий качество и производительность сварочных работ, зависит от толщины свариваемых изделий, диаметра электрода, теплопроводности свариваемого материала, скорости сварки, типа сварного соединения и положения шва в пространстве.

Величину сварочного тока в А, рассчитывают по формуле

$$J_{\text{св}} = K \cdot d_э,$$

где K – коэффициент плотности тока; А/мм – зависящий от материала стержней электродов (для металлических электродов 40...50, угольных 5...8, графитовых 18...20).

С увеличением теплопроводности свариваемых металлов сварочный ток увеличивается. Так при сварке алюминия $J_{\text{св}}^{\text{Al}} = (1,3 \dots 1,5) J_{\text{св}}^{\text{Fe}}$.

При сварке легированных сталей, имеющих пониженную теплопроводность по сравнению с углеродистыми, сварочный ток необходимо уменьшать (сварка ведется на так называемом мягком режиме) $J_{\text{св}}^{\text{лег}} = (0,8 \dots 0,9) J_{\text{св}}^{\text{угл}}$.

При сварке на переменном токе из-за пониженной ионизации дугового промежутка требуется повышенный сварочный ток $J_{\text{св}}^{\text{пер}} = (1,1 \dots 1,2) J_{\text{св}}^{\text{пост}}$.

Окончательно величину сварочного тока устанавливают с учетом соотношения толщины металла S и диаметра электрода $d_э$. При $S > 3d_э$ сварочный ток увеличивают на 10 ... 15%, а при $S < 1,5d_э$ уменьшают на 10...15%. При сварке горизонтальных, вертикальных и потолочных швов, величину сварочного тока уменьшают по сравнению с сварочным током при сварке нижних швов на 10...15%.

6 Длина дуги в мм, зависит от диаметра электрода и определяется по формуле

$$l_d = 0,5 (d_э + 2)$$

При увеличении длины дуги больше номинальной, время соприкосновения расплавленной капли жидкого металла с атмосферой воздуха увеличивается и тем самым увеличивается возможность насыщения жидкого металла азотом, водородом, что снижает механические свойства сварного соединения. Уменьшения длины дуги в сравнении с номинальной, приводит к неустойчивому горению электрической дуги.

7 Напряжение дуги U_d

Напряжение дуги при ручной дуговой сварке изменяется в сравнительно узких пределах и при проектировании технологических процессов выбирается на основании рекомендаций паспорта на данную марку электродов. Приблизненно напряжение дуги в В, можно рассчитывать по формуле:

$$U_d = U_{ак} + U_d \cdot I_d ,$$

$U_{ак} = 10...12$ В – постоянный коэффициент, выражающий сумму падений напряжения на катоде и аноде дуги, не зависящий от длины дуги;

$U_d = 2,5$ – среднее падение напряжения на единицу длины дуги, В/мм;

I_d – длина дуги, мм.

Ориентировочно напряжение дуги, можно определить по графику, приведенному на рисунке 18.2.



Рисунок 18.2. Статические вольтамперные характеристики сварочной дуги.

1 – длина дуги 2 мм; 2 – длина дуги 5 мм.

8 Масса наплавленного металла в граммах, определяется по формуле

$$Q_n = F_{ш} \cdot L_{ш} \cdot \rho ,$$

где $F_{ш}$ – площадь поперечного сечения шва, мм²; $L_{ш}$ – длина шва, мм;

ρ – плотность наплавленного металла, г/мм³ (для стали $\rho = 7,8 \cdot 10^{-3}$ г/мм³)

Расчет площади поперечного сечения шва объясним на примере сварного соединения С15, эскизы которого приведены на рисунке 18.3.

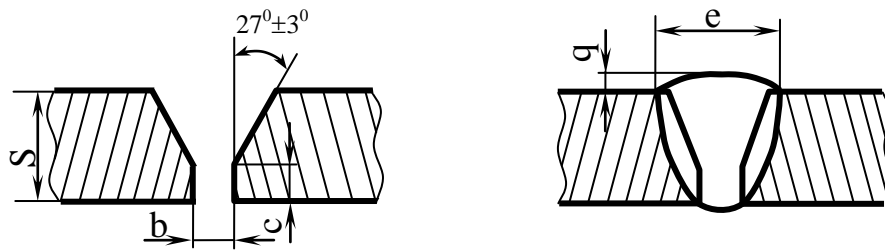


Рисунок 18.3 Сварное соединение до и после сварки

За расчетное сечение принимают ту часть сварного шва, которая заполняется за счет электродного металла (рисунок 18.4).

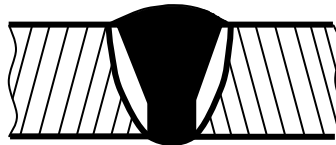


Рисунок 18.4 Расчетное сечение шва

Расчетное сечение разбиваем на элементарные фигуры (рисунок 18.5).

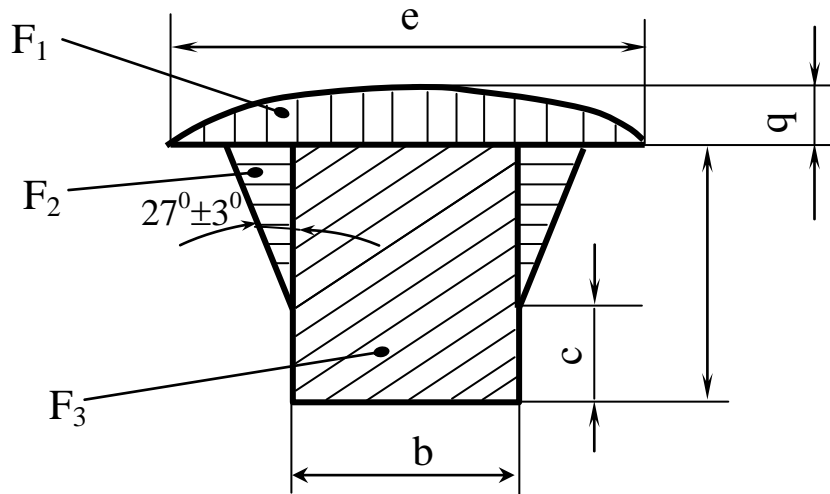


Рисунок 18.5 К расчету площади сечения шва

Площадь сечения F (в мм^2) находим как сумму площади элементов шва

$$F_{\text{ш}} = F_1 + 2F_2 + F_3$$

На рисунке 18.6 показаны фигуры, используемые для вычисления площадей сечения швов.

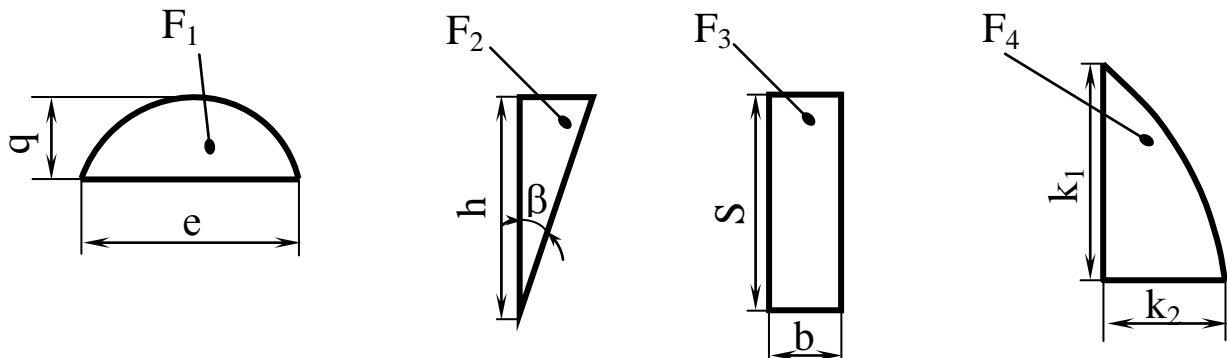


Рисунок 18.6 Элементы сечений сварных швов

Площади этих фигур вычисляются по формулам:

- сегмента $F_1 = \frac{2}{3} e \cdot q$

- треугольника $F_2 = h^2 \cdot \operatorname{tg} \beta / 2$

- прямоугольника $F_3 = b \cdot S$

- выпуклого треугольника $F_4 = (k_1 \cdot k_2 / 2) \cdot k_y$

где k_y – коэффициент усиления шва (учитывает его выпуклость).

Рекомендуемые значения k_y приведены в таблице 18.1.

Таблица 18.1 Коэффициенты усиления шва

$(k_1 + k_2) / 2$	3 – 4	5 – 6	7 – 10	12 – 20
k_y	1,5	1,35	1,25	1,15

9 Скорость сварки в м/ч определяется по формуле:

$$V_{\text{св}} = J_{\text{св}} \cdot K_{\text{н}} / F_{\text{ш}} \cdot \rho ,$$

где $K_{\text{н}}$ – коэффициент наплавки выбранного электрода, г/(А·ч);

$F_{\text{ш}} \cdot \rho = Q$ – масса наплавленного металла на 1 м длины, г/м.

Максимальная скорость сварки обычно составляет 15 м/ч.

10 Основное (технологическое) время в часах измеряется временем горения сварочной дуги и вычисляется по формуле:

$$t_0 = Q_{\text{н}} / J_{\text{св}} \cdot K_{\text{н}}$$

11 Штучное время сварки

При нормировании сварочных работ различают время чистого горения дуги t_0 (основное время) и время, необходимое на сварку с учетом потерь времени на подготовку изделия к сварке, замену в электрододержателе сгоревших электродов на новые и время на естественные надобности, $T_{\text{шт}}$ (штучное время). Эти величины связаны формулой

$$T_{\text{шт}} = t_0 / K ,$$

где K – коэффициент использования сварочного поста (в зависимости от типа производства и вида сварочных работ: $K=0,6 \dots 0,8$ – в условиях промышленных предприятий, $K=0,4 \dots 0,6$ для ремонтных и монтажных условий).

12 Расход электродов в граммах, определяется по формуле:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{н}} + Q_{\text{о}} + Q_{\text{у}} + Q_{\text{ш}} ,$$

где, $Q_{\text{о}}$ – потери на огарки (10...15% от $Q_{\text{н}}$), г;

$Q_{\text{у}}$ – потери на угар и разбрызгивание (5...10% от $Q_{\text{н}}$), г;

$Q_{\text{ш}}$ – потери на шлакообразование (20...35% от $Q_{\text{н}} + Q_{\text{о}} + Q_{\text{у}}$), г.

Расход электродов можно также определить по упрощенной формуле:

$$Q_{\Sigma} = (1,3 \dots 1,4) Q_{\text{н}}$$

13 Расход электроэнергии в кВт·ч, определяется по формуле:

$$P = U_{\text{д}} \cdot J_{\text{св}} \cdot t_0 / \eta \cdot 1000 + M_{\text{х}} (T - t_0) ,$$

где $U_{\text{д}}$ – напряжение дуги, В;

η – КПД источника питания (для трансформатора при $J_{\text{св}}=100 \dots 450$ А равен 0,8 ... 0,85, для генератора 0,3 ... 0,4);

$M_{\text{х}}$ – мощность холостого хода источника питания (для трансформатора 0,2 ... 0,4 кВт·А, для генератора 2...3 кВт·А);

T – общее (рабочее и холостое) время работы источника питания, ч.

14 Вид тока (постоянный или переменный) зависит от источника сварочного тока (трансформатор, преобразователь, выпрямитель или сварочный агрегат). Источник сварочного тока выбирают в зависимости от принятой марки электрода. Если имеется только один источник сварочного тока, то его особенности следует учитывать при выборе марки электрода.

Выбор полярности (при использовании источника постоянного сварочного тока) зависит от толщины свариваемых изделий и принятой марки электрода. Обычно применяют прямую полярность («минус» на электроде, «плюс» на изделии). При сварке изделий малой толщины для уменьшения их нагрева с целью предотвращения «прожога» и при сварке легированных сталей выбирают обратную полярность («плюс» на электроде, «минус» на изделии).

15 Источник сварочного тока выбирается в соответствии с принятым видом тока (постоянный или переменный), найденной величиной сварочного тока и условиями сварки (сварка в помещении или на открытом воздухе). При выборе источника сварочного тока необходимо использовать справочные пособия и приложение 18.1 и 18.2.

Источниками сварочного тока при сварке на переменном токе являются *сварочные трансформаторы*; при сварке на постоянном токе – *сварочные генераторы, преобразователи, сварочные выпрямители; сварочные агрегаты*.

Источник сварочного тока для ручной электродуговой сварки должен иметь крутопадающую внешнюю (вольтамперную) характеристику для того, чтобы:

- 1) сохранять постоянное значение $I_{св}$ при колебании длины дуги;
- 2) ограничить величину тока короткого замыкания $I_{кз}$ ($I_{кз} < 2I_{св}$).

РАБОЧИЕ ПРИЕМЫ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Перед сваркой, в процессе сварки и после сварки необходимо выполнить следующее:

1. Очистить кромки свариваемых изделий от грязи, масел, краски, ржавчины.
2. Выполнить разделку кромок (если это необходимо) в соответствии с ГОСТ 5264-80.
3. Установить свариваемые изделия на сварочном столе или приспособлении и закрепить.
4. Наложить прихваточные (фиксирующие) швы (длина шва 20...120 мм, в зависимости от размера изделия).
5. Варить основной шов. При толщине свариваемых изделий не более 10-12 мм сварка производится однослойным швом, при большей толщине – многослойным. Для получения качественного шва, при сварке используют следующие технологические приемы: сварка «напроход», «от середины к краям», «обратноступенчатым способом», «каскадным способом», «с предварительным прогревом», «с сопутствующим прогревом» и др.

Последовательность наложений отдельных участков основного однослойного и отдельных слоев многослойного шва, должна обеспечить минимальные деформации и остаточные напряжения сварного соединения.

6. При сварке изделий из материала с ограниченной свариваемостью применяют дополнительные меры для получения сварного соединения без дефектов, (например, предварительный прогрев свариваемых изделий и др.).

7. Очистить шов от шлака и брызг металла.

8. Провести визуальный контроль сварного соединения.

9. Заварить, если это необходимо, дефектные места.

10. Снять изделие со сварочного стола (приспособления).

5 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ЗАДАНИЯ

5.1 Домашнее задание оформляется в виде пояснительной записки на листах формата А4.

5.2 Все пункты домашнего задания выполняются с обоснованием принятых решений или расчета.

5.3 В конце задания приводится список использованной литературы. В тексте даются ссылки на литературу, подтверждающие обоснованность принятых решений.

При выполнении домашнего задания используется лекционный материал, настоящее методическое указание, а также указанные ниже литературные источники.

ПРИЛОЖЕНИЕ 18.1 Типы электродов для сварки конструкционных сталей и свойства металла шва при их применении

Электроды для сварки конструкционных и низколегированных сталей: для сталей обычной прочности предназначены электроды Э34, Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А, Э55, Э60, Э60А; для конструкционных сталей повышенной прочности — электроды Э70, Э85, Э100, Э125, Э145.

Тип электрода	Металл шва или наплавленный металл			Содержание в металле шва, %		Основное назначение
	σ_B , МПа	δ , %	a_H , МДж/м ²	S	P	
Э34	340	-	-	0,05	0,05	Для сварки малоуглеродистых и низколегированных сталей
Э42	420	18	8	0,05	0,05	
Э42А	420	22	14	0,04	0,04	
Э46	460	18	8	0,05	0,05	
Э46А	460	22	14	0,04	0,04	
Э50	500	16	6	0,05	0,05	Для сварки среднеуглеродистых и низколегированных сталей
Э50А	500	20	13	0,04	0,04	
Э55	550	20	12	0,04	0,04	
Э60	600	16	6	0,04	0,04	Для сварки легированных сталей повышенной прочности
Э60А	600	18	10	0,04	0,04	
Э70	700	12	6	0,04	0,04	
Э85	850	12	5	0,04	0,04	
Э100	1000	10	5	0,04	0,04	
Э125	1250	6	4	0,04	0,04	
Э145	1450	5	4	0,04	0,04	

ПРИЛОЖЕНИЕ 18.2 Электроды для сварки конструкционных сталей

Тип	Марка	Род и полярность тока	Положение сварка	Коэфф. наплавки, г/А·ч
Э34-Р	АН-I	Переменный и постоянный, любая полярность	Все положения	9
Э42-Р	ОММ-5			7,2
Э42-Р	СМ-8			7,2
Э42-Р	ЦМ-7			10,6
Э42-Т	АНО-1		Нижнее	15
Э42-О	ОМА-2		Все положения	10
Э42-О	ВСП-16	Переменный и постоянный на электроде +		10
Э42-О	ВСЦ-2	Постоянный, любая полярность		10,5
Э42А-Ф	УОНИ-13/45	Постоянный на электроде +		8,5
Э42А-Ф	СМ-11			9,5
Э42А-Ф	УП-1/45	То же, и переменный		10
Э42А-Ф	УП-2/45			10
Э46-Т	МР-3	Переменный и постоянный, любая полярность		Нижнее
Э46-Т	ОЗС-6		10,5	
Э46-Т	ЗРС-1		14	
Э46-Т	ОЗС-3	Переменный и постоянный на электроде +	Все положения	15
Э46-Т	РБУ-4			7,8
Э46-Т	РБУ-5			9
Э46-Т	АНО-3	Переменный и постоянный, любая полярность		8,5
Э46А-Ф	Э-138/4БН	Постоянный на электроде +		8,5
Э50-О	ВСЦ-3	Постоянный, любая полярность		9,5... 13
Э50А-Ф	УОНИ-13/55	Постоянный на электроде +		9
Э50А-Ф	ДСК-БО	Постоянный на электроде + и переменный		10
ЭБОА-Ф	УП-1/56			10
Э50А-Ф	УП-2/55			10
Э55-Ф	УОНИ-13/55У*	Постоянный на электроде +	Нижнее, вертикальное	9,5
Э60А-Ф	УОНИ-13/65		Все поло-я	9
Э70-Ф	ЛКЗ 70		Нижнее	9,5
Э85-Ф**	УОНИ-13/85	Постоянный на электроде +	Все положения	9,5
Э85-Ф**	УОНИ-13/85У*	То же, и переменный		10
Э100-Ф**	ЦЛ-19-63 НИАТ-3	Постоянный на электроде +		9
Э145-Ф**				10

* Предназначены для ванной сварки стержней арматуры железобетонных конструкций и рельсов. Могут быть использованы для обычной дуговой сварки.

** - подвергаются термической обработке

В типе электрода приняты следующие обозначения:

А — гарантируется получение повышенных пластических свойств металла шва.

Типы покрытий обозначают следующими буквами:

Р — руднокислое покрытие содержит в своем составе окислы железа и марганца, способные активно окислять металл. Металл шва отличается повышенной окисленностью. Электроды дают плотный металл швов и позволяют выполнять сварку на постоянном (прямой и обратной полярности) и переменном токе.

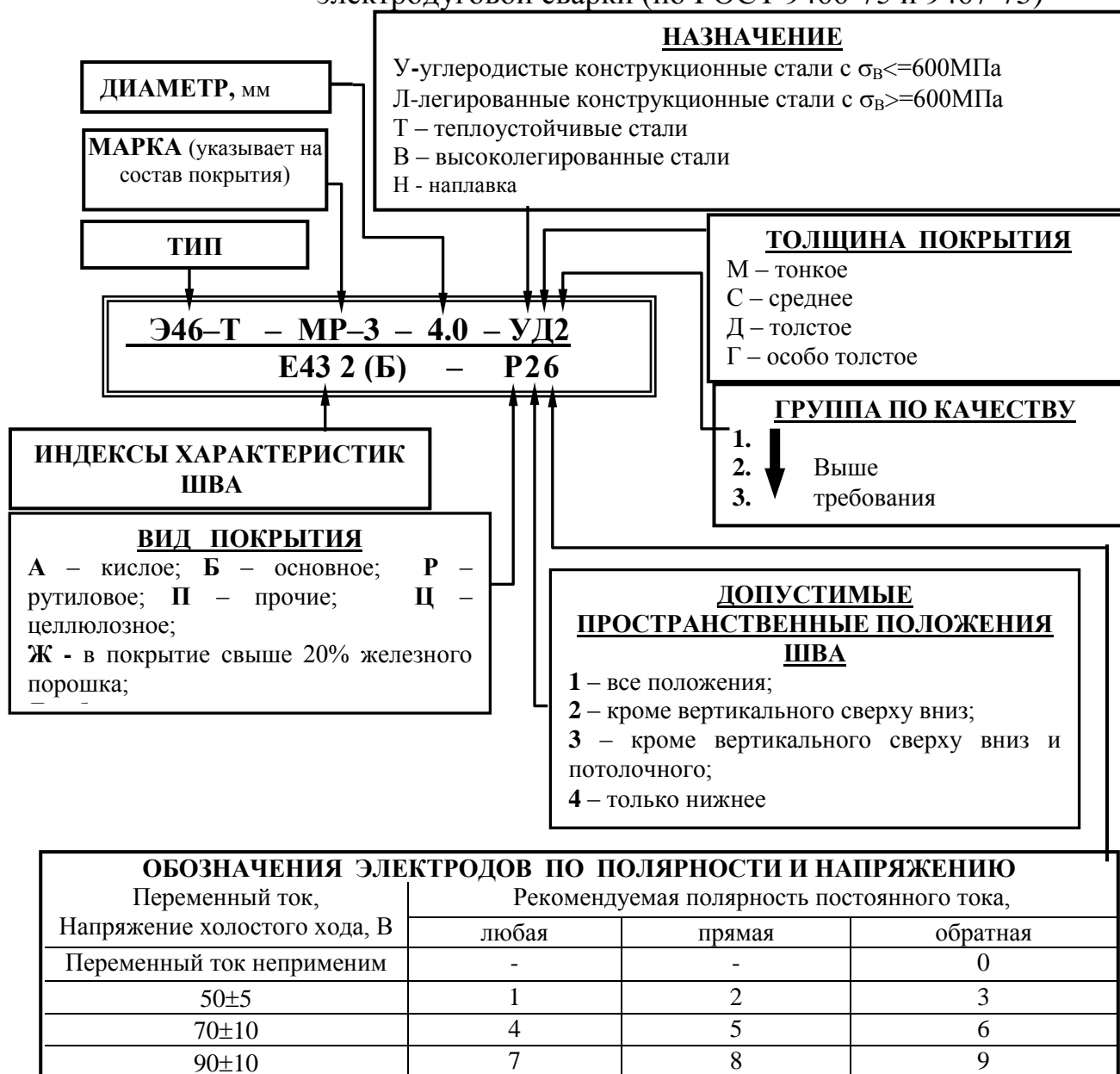
Т — рутиловое покрытие содержит в своем составе значительное количество двуокиси титана в виде рутила. Электроды дают плотный металл швов при увеличении массы покрытия и при наличии ржавчины на кромках изделия. При сварке на постоянном и переменном токе разбрызгивание незначительно. Устойчивость горения дуги высокая, формирование швов во всех пространственных положениях хорошее.

Ф — фтористокальциевое покрытие, имеющее в качестве основы фтористый кальций (плавиковый шпат) и карбонаты кальция (мрамор, мел). Сварку электродами с фтористокальциевым покрытием осуществляют на постоянном токе при обратной полярности. Вследствие малой склонности металла шва к образованию кристаллизационных и холодных трещин электроды с этим покрытием используют для сварки больших сечений.

О — органическое покрытие.

По международной классификации электроды подразделяют по следующим признакам: механическим свойствам металла шва, типу покрытия, положению шва в пространстве, роду тока и полярности. Тип покрытия по международной классификации условно обозначают следующими буквами: А — руднокислое (кислое), В — основное (фтористо-кальциевое), С — органическое (целлюлозное), О — окислительное, Р — рутиловое, V-специальное.

ПРИЛОЖЕНИЕ 18.3 Условное обозначение электродов для ручной электродуговой сварки (по ГОСТ 9466-75 и 9467-75)



ПРИЛОЖЕНИЕ 18.4 «Единая система обозначения электросварочного оборудования»

Первая буква - сокращенное название изделия (А – агрегат; В – выпрямитель; Г – генератор; П – преобразователь; Т – трансформатор).

Вторая буква – вид сварки (Д – дуговая; П – плазменная).

Третья буква – способ сварки (О – открытой дугой; Г – в защитных газах; Ф – под флюсом; У – универсальный).

Четвертая буква – характеристика источника (М – многопостовой; И – импульсивный).

Пятая буква показывает тип двигателя для агрегатов с приводным двигателем внутреннего сгорания (Б – бензиновый; Д – дизель).

Первые две цифры, следующие за буквенными индексами, показывают значение номинального сварочного тока в сотнях ампер.

Третья и четвертая цифры – номер модификации источника питания.

Следующие после цифр буквенно-цифровые индексы показывают:

Первая буква – климатическое исполнение (ХЛ – для эксплуатации в районах с тропическим климатом);

Вторая цифра – категорию размещения источников питания (1 – открытый воздух; 2 – не отапливаемые помещения; 3 – помещения с естественной вентиляцией; 4 – помещение с принудительной вентиляцией и отоплением; 5 – помещение с повышенной влажностью).

Примеры:

ТДМ – 317УЗ – трансформатор для угловой сварки при монтажных работах, однопостовой, номинальный сварочный ток 310А, «7» модификация для районов с умеренным климатом, с размещением в закрытых помещениях с естественной вентиляцией.

ТДФЖ – 2000УЗ – трансформатор для дуговой сварки под флюсом, с жесткой внешней характеристикой; номинальный сварочный ток 2000А, УЗ – см. выше.

ВДГМ – 1602УЗ – выпрямитель для дуговой сварки в защитных газах, многопостовой, со значением сварочного тока 1600А, имеет вторую модификацию, предназначен для эксплуатации в районах с умеренным климатом и для работы в закрытых помещениях.

ВДУ – 506УЗ – выпрямитель для дуговой сварки, универсальный (с падающей и жесткой характеристиками), номинальный сварочный ток 500А, 6_я – модификация, УЗ – см. выше.

АДОД – 305Т1 – агрегат для ручной дуговой сварки с дизелем в качестве автономного привода, со значением сварочного тока 300А, имеет пятую модификацию, предназначен для эксплуатации в районах с тропическим климатом и для работы на открытом воздухе.

ПРИЛОЖЕНИЕ 18.5 Источники тока для электродуговой сварки

Преобразователи и генераторы							
Марки	Сила тока, А		Напряжение, В		Номинальная мощность, кВт-А	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
	номинальная ПН-60%	предел регулирования	номинальное рабочее	холостого хода			
ПД-305У2	315	40.. .350	32	82	10,4	1300×600×850	295
ПД-502У2	500	75.. .500	40	80	33	1065×650×935	550
ПСО-300-2У2	315	115.. .315	32	90	16	1069×620×822	435
ГД-304У3	315	15.. .350	32,6	75.. .80	—	676×622×698	260
ПСО-300-5У2	315	100.. .315	32	90	9,6	740×475×860	275
Выпрямители							
ВД-201У3	200	30.. .200	28	64...71	15	716×622×775	120
ВД-306У3	315	45...315	32	61...70	24	785×780×830	180
ВД-502-2У3	500	50.. .500	40	80	42	810×550×1077	348
Трансформаторы							
ТД-166У2	160	60.. .175	26,4	70	11.4	570×325×530	38
ТДМ-250У2	250	100.. .260	30	80	—	420×260×450	49
ТД-500-4У2	500	100.. .560	40	60/76*	32	570×520×835	210
ТДМ-317У2	315	60.. .360	32,6	80/62*	—	585×555×818	130
ТДМ-401У2	400	80.. .460	36	80/64*	—	585×760×819	160
ТДМ-503У2	500	75.. .580	40	75/65*	35	555×585×688	175
ТДМ-502У3	500	100.. .560	40	75	26,5	720×845×780	240
ТД-504	500	165.. .650	40	60	—	—	195
ТД-303	300	110.. .385	35	65	20,0	—	120

* В диапазонах малых и больших токов соответственно

Лабораторная работа № 19

**МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ
ДУГОВОЙ СВАРКИ****1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Изучить особенности механизированной и автоматической электродуговой сварки, оборудование, сварочные материалы, режимы.

2 ЗАДАНИЕ

2.1 Ознакомиться с правилами техники безопасности при выполнении работы.

2.2 Изучить устройство установок для автоматической и полуавтоматической сварки; настройку; порядок сварки; указать технические характеристики.

2.3 Подготовить сварочный трактор для сварки заданных образцов.

2.4 Оценить прочность сварного соединения по величине проплавления и наличию дефектов на изломе сварного шва по заранее подготовленному образцу.

3 ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ И ИНСТРУМЕНТ

3.1 Образцы для сваривания в среде защитного газа и под слоем флюса.

3.2 Штангенциркуль, секундомер, лупа.

4 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**4.1 Свойства сварочной дуги**

Дуговой электрический разряд возможен только при определенных соотношениях между величинами **тока, напряжения и длины дуги**. Эти соотношения зависят от рода и величины тока, материала электродов, состава и давления окружающей дугу среды. Графическое изображение зависимости напряжения дуги от сварочного тока и длины дуги называется статической **вольт-амперной характеристикой дуги** (рисунок 19.1).

Для зажигания дуги в атмосфере воздуха при сварке стальными электродами необходимо напряжение $U_{\text{зак}}=45..55$ В. После зажигания дуги и ионизации воздушного промежутка напряжение падает и устанавливается на уровне $U_{\text{д}}=18...25$ В.

Напряжение дуги прямо пропорционально ее длине

$$U_{\text{д}}=\alpha+\beta\times l_{\text{д}},$$

где $l_{\text{д}}$ – длина дуги, мм; α и β - опытные коэффициенты, зависящие от материала электродов и других факторов, В/мм.

Устойчивое горение дуги достигается при ее длине не более 0,6...0,8 диаметра электрода, т.е. при так называемой «короткой» дуге ($l_{\text{д}}= 2...3$ мм).

4.2 Внешние вольт-амперные характеристики источников сварочного тока

Устойчивое горение дуги зависит от характеристик источников сварочного тока, главными из которых являются **внешние вольт-амперные характеристики**, графическое изображение которых показано на рисунок 19.2. Для устойчивого горения дуги необходимо, чтобы между ее вольт – амперной

характеристикой (ВАХ) и внешней ВАХ источника тока было определенное соответствие.

При ручной дуговой сварке такое соответствие показано на рисунок 19.3. Как видно, разница в величине сварочного тока при короткой и длинной дуге составляет не более 5% от установленной величины сварочного тока.

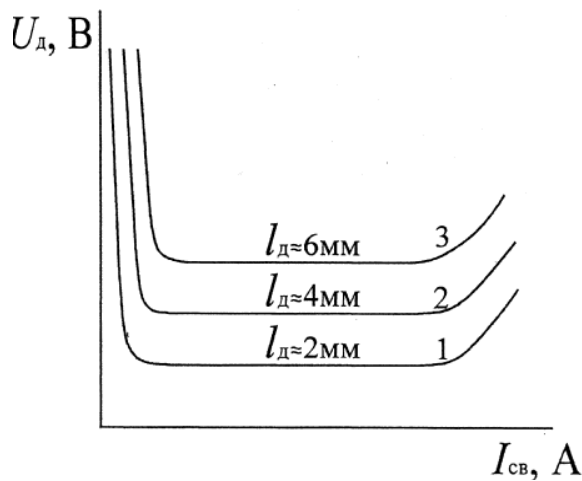


Рисунок 19.1 Статические вольт-амперные характеристики сварочной дуги: 1-короткая дуга, 2-средняя дуга, 3-длинная дуга.

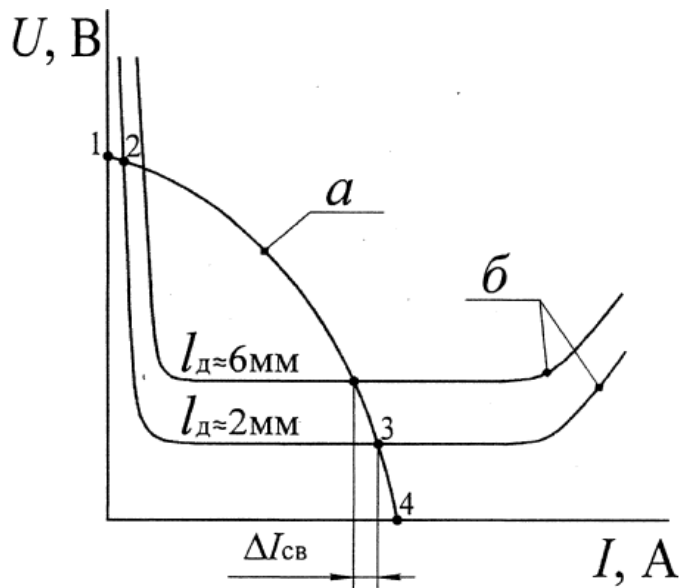


Рисунок 19.3 Вольт-амперные характеристики: а- источники тока (крутопадающая), б- короткой (установленной) и длинной сварочной дуги:

- точка 1- напряжение холостого хода $U_{х.х.}$;
- точка 2 – напряжение зажигания $U_{заж.}$;
- точка 3 – напряжение дуги U_d и сила сварочного тока $I_{св.}$;
- точка 4 – ток короткого замыкания $I_{к.з.}$.

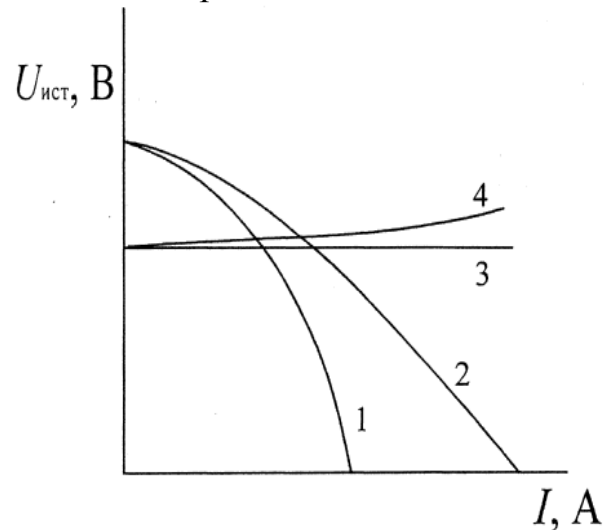


Рисунок 19.2 Внешние вольт-амперные характеристики источников сварочного тока: 1-крутопадающая (для ручной дуговой сварки), 2-пологопадающая (для автоматической сварки под слоем флюса), 3-жесткая (для автоматической сварки под слоем флюса и в среде защитных газов), 4-возрастающая (для сварки в среде защитных газов)

4.3 Особенности технологии ручной дуговой сварки

Для получения непрерывного сварного шва сварщик производит два согласованных движения: **опускает электрод** по мере его плавления в зону горения дуги (подача электрода со скоростью $V_{эл}$) и **перемещает электрод** вдоль кромок свариваемых изделий для получения непрерывного сварного шва, что характеризует скорость сварки – $V_{св}$ (рисунок 19.4). Помимо этого он должен **поддерживать определенную длину сварочной дуги**, как правило 2...4 мм.

Из изложенного ясно, что качество сварного шва и его геометрические параметры целиком зависят от квалификации сварщика и его физического состояния.

Существенно повысить качество сварных швов, а значит прочность и надежность сварных соединений при одновременном повышении производительности сварочных работ можно применением механизации и автоматизации процессов сварки.

4.4 Механизация процессов дуговой сварки Механизированная сварка производится с помощью специальных устройств - сварочных головок, оснащенных:

- 1) механизмом подачи электрода (электродной проволоки) в зону сварки;
- 2) механизмом перемещения сварочной головки вдоль сварного шва.

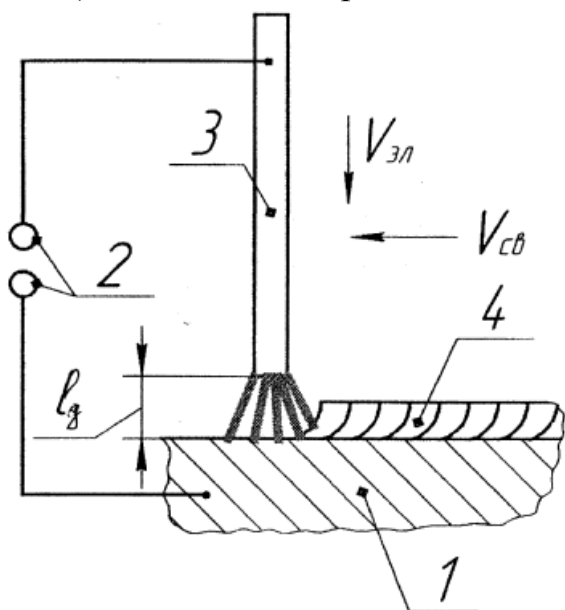


Рисунок 19.4 Схема ручной электродуговой сварки: 1- свариваемое изделие; 2-источник сварочного тока; 3- плавящийся электрод; 4- сварной шов; $V_{эл}$ - скорость подачи электрода, м/ч; $V_{св}$ - скорость сварки, м/ч; $l_д$ - длина сварочной дуги, мм.

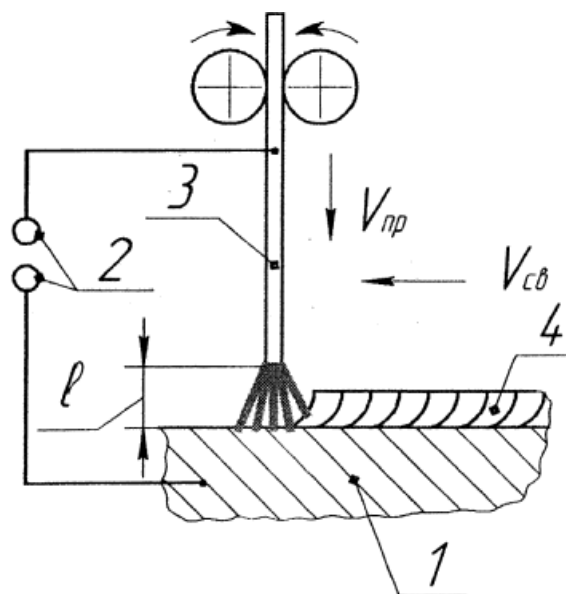


Рисунок 19.5 Схема механизированной электродуговой сварки: 1- свариваемое изделие; 2-источник сварочного тока; 3- электродная проволока; 4- сварной шов; $V_{пр}$ - скорость подачи электродной проволоки, м/ч; $V_{св}$ - скорость сварки, м/ч; l - длина сварочной дуги, мм.

Подача электродной проволоки производится с заранее установленной скоростью ($V_{пр}$, м/ч или м/мин), которая должна быть равна скорости плавления проволоки.

Перемещение сварочной головки вдоль шва производится с заранее установленной скоростью ($V_{св}$, м/ч или м/мин), зависящей от требуемой формы сварочного шва (рисунок 19.5).

Наибольшая эффективность применения механизированной сварки достигается в случае ее автоматизации.

5 АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ДУГОВОЙ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКИ

Основной задачей автоматического регулирования процессов дуговой механизированной сварки является поддержание установленного тока и напряжения дуги. Так как напряжение дуги зависит от ее длины, то, следовательно, необходимо поддерживать постоянной заданную длину сварочной дуги.

Существуют два способа автоматического регулирования длины сварочной дуги (обеспечивающие постоянную длину дуги).

5.1 Способ саморегулирования длины сварочной дуги

Реализация этого способа достигается при использовании: 1) источника сварочного тока с **пологопадающей** внешней вольт-амперной характеристикой; 2) сварочной головки с **независимой от напряжения дуги скоростью подачи электродной проволоки** (в процессе сварки $V_{пр}$ - постоянная).

Как видно на рисунке 19.6, при изменении длины дуги (например, при увеличении длины дуги), вызванной внешними причинами (неравномерная разделка кромок свариваемых изделий; проскальзывание роликов механизма подачи проволоки и др.) изменяется ток сварки (уменьшается). Вследствие этого изменяется скорость плавления конца электродной проволоки (она уменьшается), что приводит к восстановлению первоначально установленной длины дуги. Аналогичные изменения происходят при уменьшении длины дуги, т.е. происходит **саморегулирование длины дуги** за счет изменения интенсивности плавления конца электродной проволоки. Разница в величине сварочного тока при короткой и длинной дуге довольно значительна и составляет не менее 20% от установленной величины сварочного тока.

Сварочные головки такого типа (например, сварочный автомат ТС-17М и др.) снабжаются только **одним электродвигателем**, одновременно обеспечивающим подачу электродной проволоки и перемещение сварочной головки вдоль шва.

5.2 Способ принудительного регулирования длины сварочной дуги

Этот способ реализуется при использовании: 1) источника сварочного тока с **жесткой** внешней вольт-амперной характеристикой; 2) сварочной головки с зависимой от напряжения дуги скоростью подачи электродной проволоки (в процессе сварки $V_{пр}$ - переменная).

Изменение длины сварочной дуги вызванное внешними причинами приводит к изменению ее напряжения и регулятор напряжения сварочного

автомата соответственно изменяет частоту вращения вала электродвигателя подачи электродной проволоки. Так, при увеличении длины дуги скорость подачи проволоки возрастает, а при уменьшении длины дуги - снижается, что и приводит к восстановлению первоначальной длины дуги (рисунок 19.7).

Сварочные головки такого типа (например, сварочный автомат АДС-1000-2 и др.) снабжаются **двумя электродвигателями** (один обеспечивает подачу сварочной проволоки с переменной скоростью, второй – перемещение сварочной головки вдоль шва с постоянной скоростью).

При автоматической сварке сварочные автоматы поддерживают постоянную длину сварочной дуги с допускаемым отклонением $\pm 0,2 \dots 0,3$ мм. Напряжение дуги колеблется в пределах 18..55 В.

6 АВТОМАТИЧЕСКАЯ И ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКАЯ СВАРКА

Автоматическую сварку под слоем флюса или в среде защитных газов с использованием сварочных автоматов различных типов целесообразно применять для получения длинных сварных швов, преимущественно в нижнем положении при изготовлении ответственных высоконагруженных изделий (сварные трубы для нефте- и газопроводов; баки для хранения жидкого горючего и газообразных веществ; судовые конструкции и т.д. и т.п.).

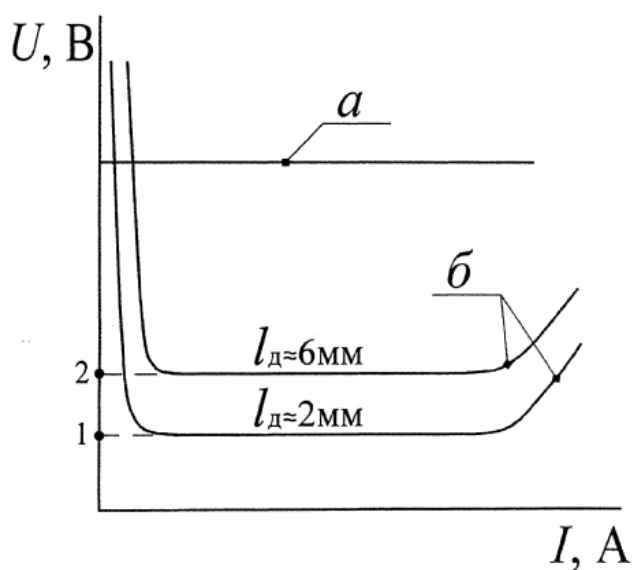


Рисунок 19.6 Вольт-амперные характеристики: а- источника тока (пологопадающая), б- короткой (установленной) и длинной сварочной дуги

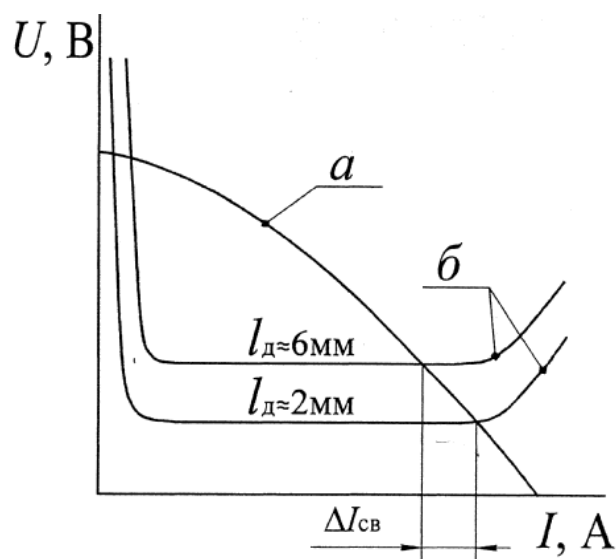


Рисунок 19.7 Вольт-амперные характеристики: а- источника тока (жесткая), б- короткой (установленной) и длинной сварочной дуги: точки 1 и 2 — напряжение короткой и длинной дуги

При сварочно-монтажных работах в строительстве и ремонтных работах для получения коротких швов различного пространственного положения (горизонтальные, вертикальные, потолочные и др.) сварочные автоматы применять невозможно. Для проведения таких работ целесообразно применять полуавтоматическую сварку.

Полуавтоматическая сварка в среде защитных газов (чаще – углекислого газа) или под слоем флюса характеризуются тем, что подача сварочной проволоки механизирована, а перемещение вдоль шва сварочной горелки сварщик производит вручную. Устройство, состоящее из сварочной горелки, механизма подачи электродной проволоки и шкафа управления называется сварочным полуавтоматом. Сварочный пост должен оснащаться источником сварочного тока и другим необходимым оборудованием.

Механизм подачи электродной проволоки автоматов и полуавтоматов конструируется с расчетом обеспечения подачи электродной проволоки со скоростью равной скорости ее плавления. Благодаря этому создается эффект автоматического регулирования скорости подачи электродной проволоки, что обеспечивает стабильность процесса сварки.

7 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

7.1 Ознакомиться с материалом методического пособия.

7.2 Ознакомиться с техникой безопасности при электродуговой сварке.

7.3 В лаборатории сварки ознакомиться с конструкцией установок для автоматической и полуавтоматической сварки; расшифровать их марки; указать технические характеристики.

7.4 Подобрать режимы автоматической сварки под слоем флюса для заданных образцов (приложение 19.1).

7.5 Очистить металлической щеткой пластины из стали, собрать в стык и закрепить в приспособлении.

7.6 Произвести автоматическую сварку под флюсом сварочным автоматом ТС-17М.

7.7 Замерить ширину шва, сломать по шву сваренные пластины, замерить высоту усиления шва и глубину провара.

7.8 Оценить (визуально) по ширине шва и излому его качество.

7.9 Заполнить таблицу 19.1

7.10 Привести примеры автоматической и полуавтоматической сварки при изготовлении изделий и ремонте техники.

Таблица 19.1 Режимы автоматической сварки под слоем флюса

Наименование изделия	Марка материала	Толщина изделия, мм	Марка и диаметр электродной проволоки, мм	Сила тока, А	Напряжение, В	Скорость сварки, м/с

ПРИЛОЖЕНИЕ 19.1 Режимы автоматической сварки под флюсом стыковых швов без подготовки кромок (с одной стороны за один проход на флюсовой подушке)

Толщина свариваемо- го металла, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Зазор между кромками, мм	Переменный ток			Постоянный ток, обратная полярность		
			Величина сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Величина сварочного тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч
2	1,6	0-1	-	-	-	180	24-28	45
2	2,0	0-1	240-260	28-30	28-30	250-280	28-30	45
4		0-2	375-400	28-30	35-40	330-350	29-30	40
6		0-3	465-485	32-34	30-32	430-450	32-34	35-40
2	3,0	0-1	360-380	20-30	60-65	380-400	30-32	35
4		0-2	500-520	28-32	40-45	450-470	31-33	40
6		0-3	550-580	30-33	35-40	510-520	31-33	35
8		0-3,5	600-630	32-36	35-40	620-640	34-36	35
4	4,0	0-2	525-550	28-30	48-50	-	-	-
6		0-3	600-650	28-30	40-42	-	-	-
8		0-3,5	720-780	32-36	32-34	-	-	-
6	5,0	0-3	800-850	32-36	50-55	-	-	-
8		0-3,5	900-950	36-38	45-50	-	-	-
10		3-4	700-750	34-36	30-35	-	-	-
12		4-5	750-800	36-40	25-30	-	-	-
14		4-5	850-900	36-40	20-25	-	-	-
16		5-6	900-950	38-42	15-20	-	-	-
18		5-6	950-1000	40-44	15-20	-	-	-
20		5-6	950-1000	40-44	12-15	-	-	-

ПРИЛОЖЕНИЕ 19.2 Технические данные сварочных автоматов
ТС-17М-У и ТС-17М-1

Сварочный ток	200...1000 А
Диаметр сварочной проволоки	1,6...5 мм
Скорость подачи электродной проволоки	52...403 м/ч
Скорость сварки	16...126 м/ч
Предельный угол наклона сварочной головки в плоскости, перпендикулярной шву	до 45°
Емкость основного бункера для флюса	6,5 дм ³
Вес сварочной проволоки в барабане	до 8 кг

Практическое занятие № 20

ИЗУЧЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОВОЙ СВАРКИ**1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Изучить оборудование и аппаратуру для газовой сварки, научиться выбирать соответствующий наконечник горелки, обеспечивающий оптимальный расход ацетилена.

2 ЗАДАНИЕ

2.1 Ознакомиться с техникой безопасности при газовой сварки

2.2 Ознакомиться с оборудованием и технологией газокислородной сварки.

2.2 Определить мощность пламени, номер наконечника и диаметр присадочной проволоки для свариваемых пластин заданной толщины.

2.3 Очистить металлической щеткой пластины из стали, собрать под прихватку, попарно прихватить и сварить пластины в один проход.

2.4 Замерить ширину шва, сломать по шву сваренные пластины, замерить высоту усиления шва и глубину провара.

2.5 Оценить (визуально) по ширине шва и излому его качество.

2.6 Разработать технологию газокислородной сварки конкретного изделия и заполнить таблицу 20.1 (по заданию преподавателя).

3 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Газокислородной сваркой называется процесс сварки плавлением, при которой место соединения свариваемых изделий нагревают до расплавления кромок высокотемпературным газовым пламенем, которое получают при сгорании горючего газа в атмосфере кислорода.

Горючие газы, применяемые при сварке: ацетилен – C_2H_2 , пропан – C_3H_8 , бутан – C_4H_{10} , метан – CH_4 (природный газ содержит до 95% метана), водород, пары бензина и керосина и др.

Ацетилен C_2H_2 получают при взаимодействии карбида кальция с водой в ацетиленовых генераторах: $CaC + 2H_2O = C_2H_2 + Ca(OH)_2$.

При разложении 1 кг карбида кальция получают 0,25 – 0,3 м³ ацетилена.

Ацетилен – бесцветный газ с характерным запахом: он легче воздуха; при горении в технически чистом кислороде образует пламя, имеющее температуру 3150⁰С. При содержании в воздухе от 2,8 до 65% ацетилена образуется взрывоопасная смесь. Ацетилен воспламеняется при температуре 420⁰С. Становится взрывоопасным при сжатии свыше 0,18 МПа, а также при длительном соприкосновении с медью, серебром и их сплавами.

В зависимости от соотношения кислорода и ацетилена (отношение $V=O_2/C_2H_2$ называется коэффициентом смеси) различают:

1. Нормальное пламя при $O_2:C_2H_2 = 1,0 - 1,2$ применяется при сварке большинства сплавов, в том числе конструкционных сталей.

2. Окислительное пламя при $O_2:C_2H_2 > 1,0$ применяют при сварке медных сплавов и при пайке.

3. Науглероживающее пламя при $O_2:C_2H_2 < 1,0$ применяют при сварке чугуна и наплавке твердых сплавов на лезвия почвообрабатывающих органов.

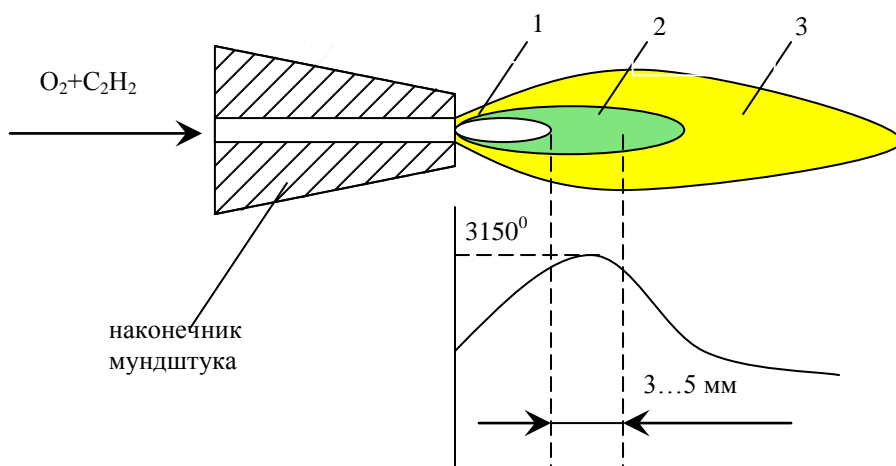


Рисунок 20.1 Схема сварочного пламени: 1-ядро, 2-восстановительная (рабочая) зона, 3-окислительная зона

Сварка пропаном производится с избытком кислорода O_2 : $C_2H_8 = 3,5 \dots 3,8$, что вызывает окисление металла шва. Для предотвращения этого сварку пропаном производят проволокой, содержащей раскислители Mn и Si: Св-08ГС, Св-12ГС, Св-08Г2С и др.

4 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ.

4.1 Ацетиленовые генераторы – это аппараты для получения ацетилена из карбида кальция и воды. Они состоят из следующих основных частей: газообразователь, в котором при взаимодействии карбида кальция и воды образуется ацетилен; газгольдер (газосборник), служащий для сбора и хранения газа; предохранительное устройство для выпуска газа в атмосферу при повышении давления; устройство для регулировки выработки ацетилена, в зависимости от его потребления; предохранительный (водяной) затвор для предотвращения попадания ацетилено-кислородного пламени в газосборник при обратном ударе пламени.

Классификация ацетиленовых генераторов производится по следующим признакам:

- По способу взаимодействия карбида кальция с водой ГОСТ5190-67 устанавливает следующие системы ацетиленовых генераторов:

- КВ - «карбид в воду» (выход ацетилена 95%);
- ВК - «вода на карбид», с вариантами «мокрого» и «сухого» процесса (выход ацетилена 85 – 90%);
- ВВ - «вытеснение воды».

Каждая из систем имеет свои преимущества и недостатки и в одном генераторе, могут быть использованы несколько систем (например, в генераторе типа АНВ сочетаются системы: «вода на карбид» и «вытеснение воды»).

- По давлению выходящего ацетилена:

- генераторы низкого давления (до 0,01 МПа);
- генераторы среднего давления (до 0,15 МПа).

- По виду установки:

- передвижные и однопостовые с производительностью до 1,25 м³/ч;
- стационарные и многопостовые с производительностью от 3 до 160 м³/ч;
- По производительности: 0,5; 0,75; 1,25; 2,5; 3,5; 10; 20; 40; 80 и 160 м³/ч;

4.2 Ацетилен может находиться в сжатом состоянии в **ацетиленовых баллонах**.

Ацетиленовые баллоны ёмкостью 40 л содержат 5,5 м³ ацетилена под давлением 1,5 МПа. Для предотвращения взрывоопасности баллон с ацетиленом заполнен древесным углём, пропитанным ацетиленом (в 1 объёме ацетона при давлении 0,15 МПа, растворяется 23 объёма ацетилена). Ацетиленовые баллоны окрашиваются в белый цвет с красной надписью «Ацетилен».

4.3 **Технический кислород** (98,5...99,5%) для сварки поступает по трубопроводам под давлением 0,5...1,6 МПа или в баллонах под давлением 15 МПа. Стандартный баллон для кислорода ёмкостью 40 дм³ содержит 6 м³ кислорода. Некоторые вещества (жиры, масла) в среде сжатого кислорода способны самовоспламеняться, необходимо соблюдать особую осторожность при работе с кислородными баллонами.

4.4 **Газосварочные горелки** служат для получения газосварочного пламени и регулирования его мощности.

Сварочные горелки подразделяются по мощности пламени на горелки микромощности ГС-1, малой мощности (Г2-04), средней мощности (Г3-03) и большой мощности (ГС-4).

По принципу действия они подразделяются на:

- инжекторные горелки низкого давления горючего газа (0,001 МПа), применяются при получении ацетилена в генераторах низкого давления; подача горючего газа в смесительную камеру происходит за счёт подсоса его струёй кислорода;
- безинжекторные горелки, в которые горючий газ и кислород подаются примерно под одинаковым давлением 0,05 – 0,1 МПа из баллонов.

Горелки комплектуются несколькими сменными наконечниками с различным диаметром отверстия сопла для сварки материалов различной толщины.

4.5 **Редукторы** – устройства, для снижения давления газа (кислорода, ацетилена и др. газов) при поступлении его из баллонов в газовую горелку. При сварке применяют кислородные редукторы, снижающие давление кислорода от 1,5 до 0,03 – 0,15 МПа, ацетиленовые редукторы, пропановые редукторы, снижающие давление от 1,9 до 0,01 МПа. На редукторах устанавливают манометры для контроля давления газа.

5 ТЕХНОЛОГИЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ.

В технологию газовой сварки входят: способ сварки, режим сварки и техника сварки.

5.1 Способ сварки – правый или левый зависит от направления движения горелки по отношению к направленному металлу (рисунок 20.2).

При правом способе сварку ведут слева направо, сварочное пламя направляют на сваренный участок шва, а присадочную проволоку перемещают вслед за горелкой. Так как при правом способе пламя направлено на сварной шов, то обеспечиваются лучшая защита от кислорода и азота воздуха, большая глубина проплавления, замедленное охлаждение металла шва в процессе кристаллизации. Теплота пламени рассеивается меньше, чем при левом способе, поэтому угол разделки кромок делает не 90° , а $60 - 70^\circ$, что уменьшает количество наплавленного металла и коробления. При правом способе производительность на 20 – 25% выше, а расход газов на 15 – 20% меньше, чем при левом. Правый способ целесообразнее применять при сварке металла толщиной более 5 мм и металлов с большей теплопроводностью.

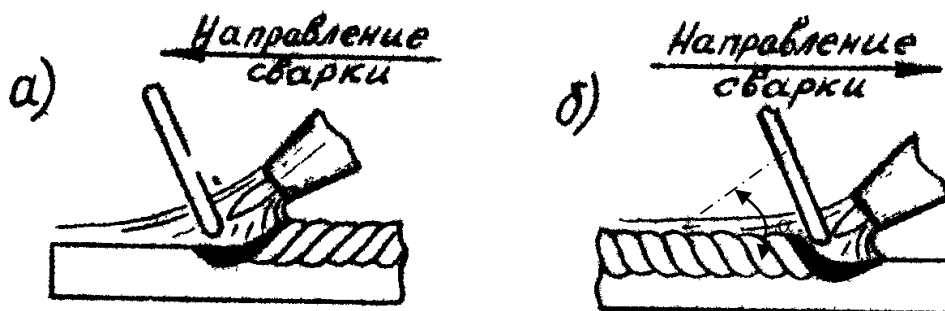


Рисунок 20.2 Схемы левой (а) и правой (б) способов газовой сварки

При левом способе сварку ведут справа налево, сварочное пламя направляют на ещё не сваренные кромки металла, а присадочную проволоку перемещают впереди пламени. При левом способе сварщик хорошо видит свариваемый металл, поэтому внешний шва лучше, чем при правом способе. Предварительный подогрев кромок свариваемого металла обеспечивает хорошее перемешивание сварочной ванны. Благодаря этим свойствам левый способ наиболее распространён и применяется для сварки тонколистовых материалов (до 3 мм) и легкоплавких металлов.

Мощность сварочной горелки при правом способе выбирают из расчёта 120 – 150 л/ч ацетилена, а при левом – 100 – 130 л/ч на 1 мм толщины свариваемого металла.

2. Режим газокислородной сварки включает основные параметры: мощность сварочного пламени, вид пламени, марку и диаметр сварочной проволоки, флюс (если он необходим).

5.2 Тепловая мощность сварочного пламени определяется расходом ацетилена проходящего за 1 час через горелку. Она регулируется сменными наконечниками горелки (номером наконечника). Мощность пламени в л/ч определяется по эмпирической формуле:

$$V_A = k \cdot S, ,$$

где S – толщина свариваемого металла, мм;

k – опытный коэффициент, зависящий от вида материала, л/ч·мм (для углеродистых сталей $k=100...130$, для меди – $150...200$, для алюминия – $75...100$, для нержавеющей сталей – $70...80$).

5.3 Вид пламени зависит от соотношения кислорода и горючего газа (нормальное, окислительное, науглероживающее).

5.4 Марка сварочной проволоки выбирается по возможности близкой по химическому составу к материалу свариваемых изделий.

5.5 Диаметр сварочной проволоки выбирается в зависимости от толщины свариваемых изделий:

$$\begin{aligned} d_{\text{пр.}} &= S / 2 + 1 && \text{при левой сварке;} \\ d_{\text{пр.}} &= S / 2 && \text{при правой сварке,} \end{aligned}$$

где S – толщина свариваемых изделий в мм.

При $S > 15$ мм диаметр присадочной проволоки принимают равным 6...8 мм.

5.6 Флюсы применяются для защиты расплавленного металла от окисления и удаления образующихся окислов. В качестве флюсов применяют буру, борную кислоту, окислы и соли бария, калия, лития, натрия, фтора и др.

6 ТЕХНИКА СВАРКИ

Скорость нагрева регулируют изменением угла наклона мундштука к поверхности свариваемого металла. Чем толще металл, больше его теплопроводность, тем больше угол наклона мундштука к поверхности свариваемого металла.

6.1 Движение мундштука горелки.

В процессе сварки газосварщик концом мундштука горелки совершает одновременно два движения: поперечное (перпендикулярно оси шва) и продольное (вдоль оси шва). Основным является продольное движение. Поперечное движение служит для равномерного прогрева кромок основного металла и получения шва необходимой ширины.

6.2 Газовой сваркой можно выполнять нижние, горизонтальные (на вертикальной плоскости), вертикальные и поперечные швы. Горизонтальные и потолочные швы обычно выполняют правым способом сварки, вертикальные – левым способом (снизу вверх).

6.3 Движения присадочной (сварочной) проволоки заключаются в поперечных колебаниях её конца, чем достигается интенсивное перемешивание ванны и удаление из неё шлаков и окислов.

Таблица 20.1 Сводные данные по расчету технологии газовой сварки

Эскиз сварного соединения после сварки	Горючий газ	Марка сварочной проволоки	Способ сварки	Номер наконечника	Коэфф смеси	Угол наклона горелки	Диаметр сварочной проволоки
Масса наплавленного металла	Основное технологическое время	Штучное время	Расход горючего газа	Расход кислорода	Расход карбида кальция	Расход присадочной проволоки	

ПРИЛОЖЕНИЕ 20.1 Пример разработки технологии газокислородной сварки

Исходные данные:

- тип сварного соединения – стыковое;
- толщина свариваемых изделий – 10 мм;
- марка свариваемых изделий – сталь 20;
- длина шва – 1 м

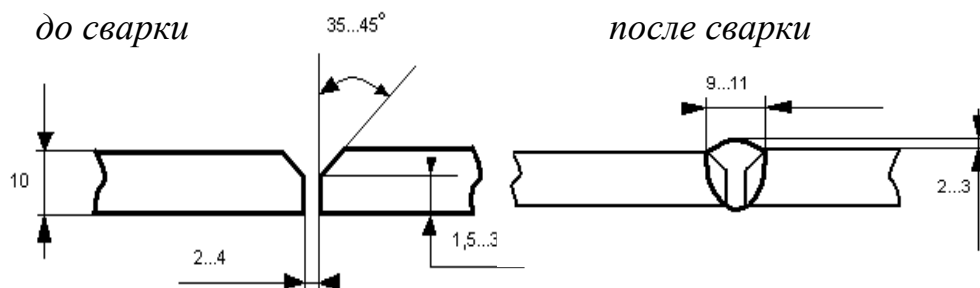


Рисунок 20.3 Эскиз сварного соединения

Выбор горючего газа

Для сварки конструкционных сталей выбираем в качестве горючего газа ацетилен.

Выбор сварочной (присадочной) проволоки

Сварочная проволока выбирается по материалу изделия, т.е. их химический состав должен быть примерно одинаков (таблица 20.2).

Выбираем сварочную проволоку Св-08А

Способ сварки

См. раздел 5.1. Принимаем правый способ.

Выбор наконечника

Выбирается по тепловой мощности сварочного пламени (или по расходу горючего газа за ед. времени [л/ч]), см. раздел 5.2.

$$V_A = k \cdot S = (100 \dots 130) \cdot 10 = 1000 \dots 1300 \text{ л/ч}$$

Выбираем горелку средней мощности ГЗ-03 с номером наконечника № 5 (таблица 20.3).

Коэффициент смеси

См. раздел 3.

Выбираем коэффициент смеси $\beta = 1 \dots 1,2$

Выбор наклона горелки (α , рисунок 20.2).

Зависит от толщины свариваемых изделий.

S, мм	до 1	1...3	3...5	5...7	7...10	10...12	Более 12
α	10°	20°	30°	40°	50°	60°	80°

Принимаем $\alpha = 50^\circ$.

Диаметр сварочной проволоки

См. раздел 5.5.

$$D = 10/2 = 5 \text{ мм}$$

Основное (технологическое) время

$$t_0 = M/k_n,$$

где M - масса наплавленного металла (находится аналогично как при электродуговой сварки)

k_n – коэффициент наплавки, зависящий от номера наконечника

№ наконечника	0	1	2	3	4	5	6	7
k_n	180...300	240...360	360...420	420...600	780...840	900...960	1020...1080	1080...1260

$$t_0 = 468 \text{ г/900...960} = 0,52...0,49 \text{ часов}$$

Общее (штучное) время

$$t_{\text{шт}} = t_0/k_n = 0,52...0,49/0,5 = 1,04...0,98 \text{ часа}$$

где k_n - коэффициент использования сварочного поста (для условий мелкосерийного производства $k_n = 0,3...0,7$)

Расход газов

Горючего газа: $W_{\Gamma} = V_A \cdot t_0 = (1000...1300) \cdot (0,52...0,49) = 490...676 \text{ л}$

Кислорода: $W_K = \beta \cdot W_{\Gamma} = 1,1 \cdot (490...676) = 539...744 \text{ л}$

Расход карбида кальция

$$W(\text{CaC}_2) = W_{\Gamma}/k = (490...676)/260 = 1,9...2,6 \text{ кг}$$

где $k = 230...300 \text{ л/кг}$ (выход ацетилена от одного кг карбида кальция)

Расход присадочной проволоки

$$M_{\text{пр}} = M \cdot k_n = 468 \cdot (1,15...1,18) = 538...552 \text{ г}$$

где k_n - коэффициент потерь (15...18 %)

Выбор оборудования

Ацетиленовый генераторы выбираются по производительности C_2H_2 . Выбираем АСМ–1,25–3 (производительность $1,25 \text{ м}^3/\text{ч}$).

ГОСТ 9365-79 - резинурукова для различных видов горючего газа и кислорода.

Таблица 20.2 Проволока стальная сварочная (ГОСТ2246-70)

Марка	Химический состав, %						
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Si	P
Низкоуглеродистая проволока							
Св-08	до 0,10	до 0,3	0,35...0,6	до 1,15	до 0,3	до 0,04	до 0,04
Св-08А	до 0,10	до 0,3	0,35...0,6	до 0,12	до 0,25	до 0,03	до 0,03
Св-08АА	до 0,10	до 0,3	0,35...0,6	до 0,1	до 0,25	до 0,02	до 0,03
Св-08ГА	до 0,10	до 0,3	0,8...1,1	до 0,1	до 0,25	до 0,025	до 0,03
Св-10ГА	до 0,12	до 0,3	1,1...1,4	до 0,2	до 0,3	до 0,025	до 0,03
Св-10Г2	до 0,12	до 0,3	1,5...1,9	до 0,2	до 0,3	до 0,03	до 0,03
Легированная проволока							
Св-08ГС	до 0,10	0,6...0,85	1,4...1,7	до 0,2	до 0,35	до 0,025	до 0,03
Св-12ГС	до 0,14	0,6...0,9	0,8...1,1	до 0,2	до 0,3	до 0,025	до 0,03
Св-08Г2С	0,05...0,11	0,7...0,95	1,8...2,1	до 0,2	до 0,25	до 0,025	до 0,03
Св-10ГН	до 0,12	0,15...0,35	0,9...1,1	до 0,2	0,9...1,2	до 0,025	до 0,03
Св-18ХГС	0,15...0,22	0,9...1,2	0,8...1,1	0,8...1,1	до 0,4	до 0,025	до 0,025
Св-08ХГ2С	0,05...0,11	0,7...2,1	0,7...2,1	0,7...1	до 0,25	до 0,03	до 0,03

Таблица 20.3 Технические характеристики наконечников и пропановых горелок низкого давления (ГОСТ 1077-79Е)

Показатели	Номера наконечников																
	Ацетиленовые горелки																
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7
Давление кислорода, МПа	0,05...0,4	0,05...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	0,2...0,4	0,2...0,4	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 горючего газа, МПа	Не ниже 0,001 при питании от генератора и 0,01...0,04 при питании от баллона									Не ниже 0,035	Давление пропана 0,01...0,06						
Расход кислорода, л/ч	27...80	54...135	130...260	250...440	430...750	740...1200	1150...1950	1900...3100	3100...5000	5000...8000	185...540	260...540	520...840	840...14000	1350...2200	2200...3600	3500...5800
Расход горючего газа, л/ч	25...60	50...125	120...240	230...400	400...700	600...1100	1050...1750	1700...2800	2800...4500	4500...7000	30...70	70...140	140...240	240...400	400...650	650...1000	1050...1700

Примечание: наконечники №8,9 применяются для горелки большой мощности ГС-4

Лабораторная работа № 21

**КОНТРОЛЬ ЭЛЕМЕНТОВ СВАРНОГО ШВА УНИВЕРСАЛЬНЫМ
ШАБЛОНОМ СВАРЩИКА****1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

- 1.1 Изучение элементов разделки под сварной шов и элементов сварного шва.
- 2.2 Приобретение практических навыков по контролю:
- элементов разделки под сварной шов;
 - элементов сварного шва.
- 3.3 Изучение устройства и принципа работы универсального шаблона сварщика УШСЗ.

2 ЗАДАНИЕ

- 2.1 Изучить элементы разделки под сварной шов и элементы сварного шва.
- 2.2 Изучить принцип работы универсального шаблона сварщика.
- 2.3 Произвести контроль:
- 2.3.1 Глубины раковин, глубины забоин, превышение кромок глубины разделки стыка до корневого слоя и высоту усиления шва;
 - 2.3.2 Зазора между свариваемыми изделиями;
 - 2.3.3 Притупления и ширины шва;
 - 2.3.4 Углов скоса кромок.

3 МАТЕРИАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

- 3.1 Универсальный шаблон сварщика (индикатор) УШСЗ.
- 3.2. Комплект сварных изделий (пластин) с элементами разделки кромок и элементами сварного шва.
- 3.3 Методические указания, плакаты.

4 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**4.1 Элементы разделки кромок и элементы сварного шва**

Формы поперечного сечения подготовленных кромок и выполненного шва при ручной дуговой сварке установлены ГОСТ 5264-84 и ГОСТ 11534-75. Форма разделки кромок определяются толщиной свариваемого металла и положением шва в пространстве (рисунок 21.1).

Стыковое соединение без разделки кромок (рисунок 21.1, а) рекомендуется для толщин металла не более 3 мм. Наличие зазора обеспечивает полное протравление. При $s = 1...2$ мм зазор a должен быть равным $0...1$ мм, при $s = 3$ мм должен составлять 1,5 мм.

Стыковые соединения с V-образной разделкой кромок (рисунок 21.1, б) рекомендуется для толщин $3...21$ мм. Если толщина больше (до 30 мм) или необходимо уменьшить угловые деформации и площадь сечения шва, то применяют стыковые соединения с X-образной разделкой кромок (рисунок 21.1, в). При этом необходимо иметь в виду, что сварка такого соединения требует доступа к нему с двух сторон.

Из угловых соединений (рисунок 21.1, *г*, *д*, *е*) соединение типа *г* рекомендуется для толщин не более 8 мм, типа *д* – для толщин не более 26 мм, типа *е* – для больших толщин.

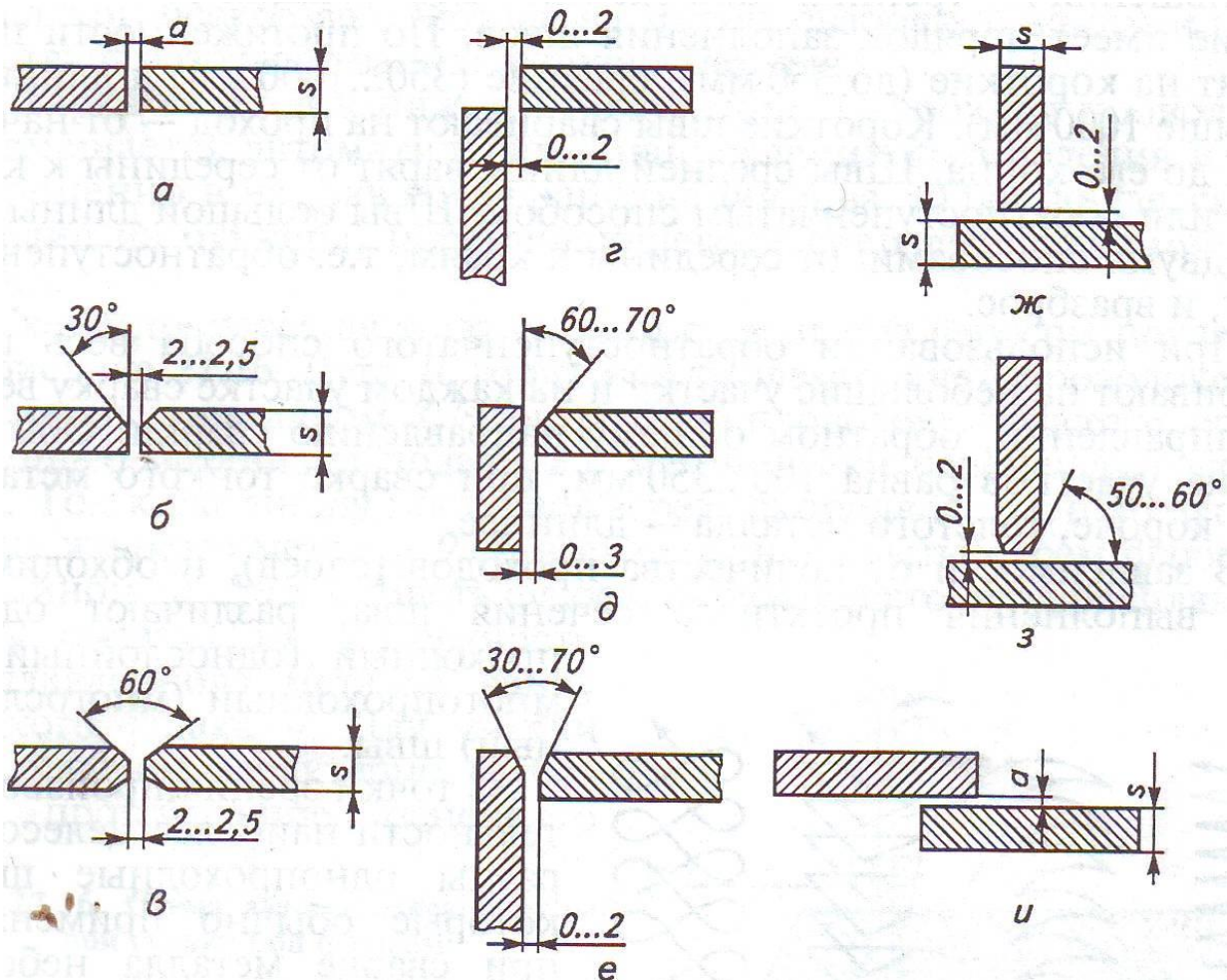


Рисунок 21.1 Рекомендуемые типы соединений для ручной дуговой сварки
а, б, в – стыковые; г, д, е – угловые; ж, з – тавровые; и – нахлестку

Тавровые соединения, изображенные на рисунке 21.1, *ж*, рекомендуется для толщины не более 5...6 мм. Если толщина больше, то с вертикально расположенной детали снимают двусторонние фаски (рисунок 21.1, *з*).

Нахлесточное соединение (рисунок 1, *и*) применяют при $s = 2...6$ мм. Допустимый зазор $a = 0...4$ мм. В отличие от стыкового соединения нахлесточное облегчает сборку сварных узлов, однако из-за несоосности соединяемых деталей при работе в таких соединениях возникает изгибающий момент, снижающий прочность соединения, особенно из высокопрочных материалов. Нахлесточное соединение нерационально как с точки зрения уменьшения расхода металла, так и снижения массы конструкции. В нахлесточном, тавровом и угловом соединениях выше вероятность образования трещин при сварке.

4.2 Назначение универсального шаблона сварщика УШСЗ

Универсальный шаблон сварщика (индикатор) УШСЗ (в дальнейшем – шаблон) предназначен для контроля элементов разделки под сварной шов, электродов и элементов сварного шва.

Шаблон состоит из основания 1, соединенного осью 4 с движком 2 и закрепленного на движке указателя.

Общий вид шаблона представлен на рисунке 21.2.

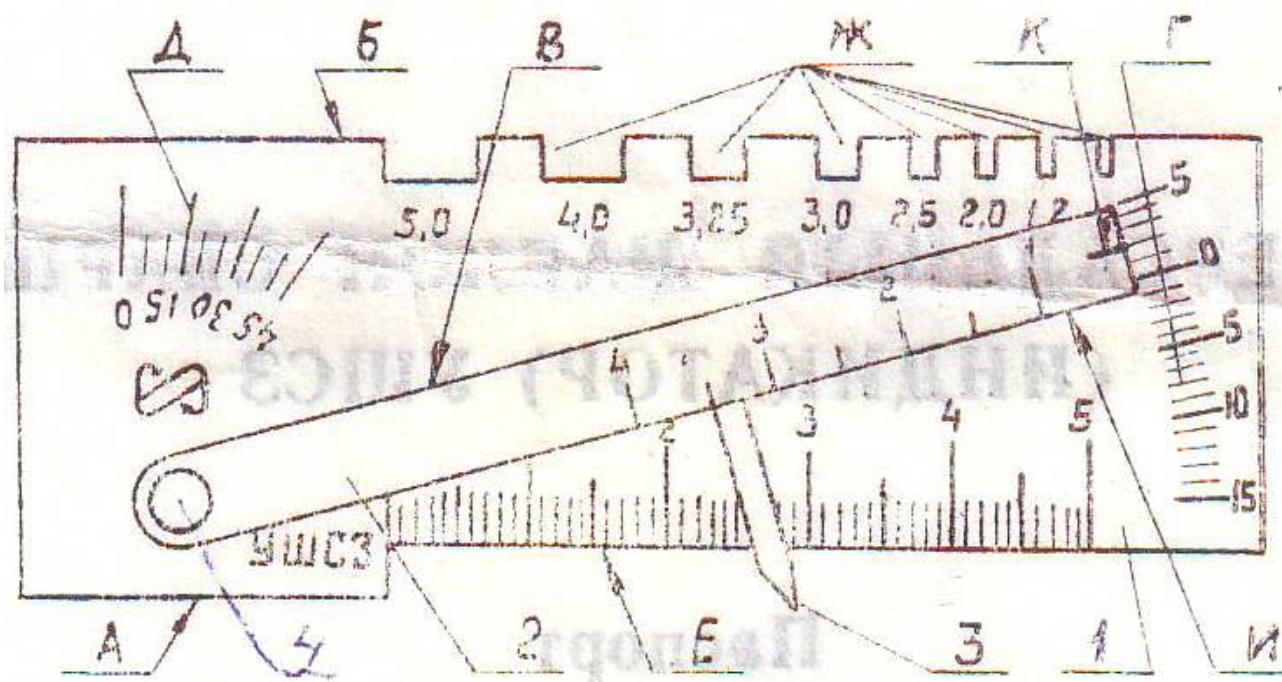


Рисунок 21.2 Универсальный шаблон сварщика УШСЗ

1 – основание; 2 – движок; 3 – указатель; 4 – ось; А, Б, В – установочные поверхности шаблона; Г, Д, Е, И – шкалы; Ж – пазы

Показатели назначения:

Шкала Г – предназначена для контроля глубины дефектов (вмятин, забоев), глубины разделки шва до корневого слоя, превышения кромок ($0...15 \pm 0,5$ мм), контроль высоты усиления шва ($0...5 \pm 0,5$ мм);

Е – предназначена для контроля величины притупления и ширины шва ($0...50 \pm 0,15$ мм);

И – предназначена для контроля зазора ($0,5...4,0 \pm 0,25$ мм);

Д – предназначена для контроля углов скоса кромок ($0...45 \pm 2,5$ градусов);

Пазы Ж – для определения номинального значения диаметра электрода (1,0; 1,2; 2,0; 2,5; 3,0; 3,25; 4,0; 5,0 мм).

4.3 Принцип работы шаблона

Контроль производится следующим образом.

Контроль глубины раковин, глубины забоин, превышение кромок глубины разделки стыка до корневого слоя и высоту усиления шва производят при установке шаблона поверхностью А на изделие, затем поворотом движка 2 вокруг оси 4 ввести указатель 3 в соприкосновение с измеряемой поверхностью. Результат считывается против риски К по шкале Г.

Контроль зазора производится введением движка 2, его клиновидной части в контролируемый зазор. По шкале И, нанесенной на движке считывается результат.

Контроль притупления шва, ширины шва производить при помощи шкалы Е, пользуясь ею как измерительной линейкой.

Контроль углов скоса кромок производится при установке шаблона поверхностью Б на образующую изделия. Затем, поворотом движка 2 совместить без зазора его поверхность В с измеряемой поверхностью. Результат считывается по шкале Д против поверхности движка В.

Определение диаметров электродов производится с помощью пазов Ж.

5 ПОРЯДОК РАБОТЫ

5.1 Ознакомиться с методическим указанием.

5.2 Для выданного сварного изделия (пластины) произвести контроль:

5.2.1 Глубины раковин, глубины забоин, превышение кромок глубины разделки стыка до корневого слоя и высоту усиления шва;

5.2.2 Зазора между свариваемыми изделиями;

5.2.3 Притупления и ширины шва;

5.2.4 Углов скоса кромок.

5.3 Все полученные данные занести в протокол работы.

5.4 Оценить качество выполненного шва. Определить внешним осмотром состояние сварного шва.

6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен включать в себя краткий конспект основных теоретических положений, а также протокол проведения работы.

7 ОТЧЕТ О РАБОТЕ

Таблица 21.1 Протокол проведенных контрольных измерений

Положение и эскиз сварного соединения (в разрезе)	Глубина дефекта, мм	Высота усиления шва	Зазор между свариваемыми изделиями	Притупление шва	Ширина шва	Угол скоса кромок

Лабораторная работа № 22

ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ СВАРКИ**1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

- 1.1 Изучить сущность и технологические особенности электроконтактной точечной сварки.
- 1.2 Изучить оборудование и получить практические навыки работы на нем.
- 1.3 Освоить технологию электроконтактной точечной сварки изделий.

2 ЗАДАНИЕ

- 2.1 Изучить устройство точечной сварочной машины МТ-1222, принципы ее работы, настройку и порядок электроконтактной сварки изделий.
- 2.2 Подготовить точечную сварочную машину для сварки заданных изделий.
- 2.3 Оценить прочность сварного соединения по характеру разрушения сварной точки на отрыв.

3 СУЩНОСТЬ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ

Электроконтактной точечной сваркой называют способ получения неразъёмных сварных соединений нагревом их в месте контакта до пластического состояния с одновременным сжатием (осадкой), обеспечивающим взаимодействие атомов металла (рисунок 22.1).

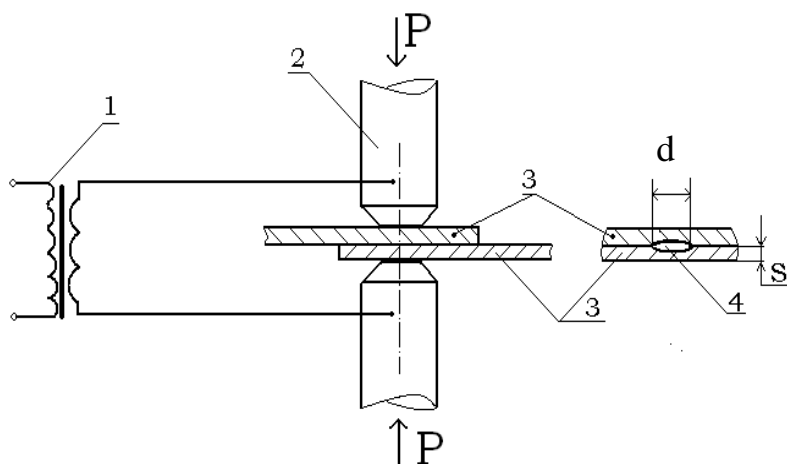


Рисунок 22.1 Схема процесса электроконтактной точечной сварки: 1-сварочный трансформатор; 2-электроды; 3-свариваемые заготовки; 4 –сварная точка; P – давление приложенное к электродам, [кН]; d – диаметр сварной точки, [мм]; S – толщина свариваемых изделий, [мм].

Заготовки, собранные в нахлестку, устанавливают между электродами машины и сдавливают между собой. Создается надежный контакт как между свариваемыми заготовками в зоне сжатия, так и между заготовками и электродами для лучшего токопровода.

Включают ток, который от сварочного трансформатора через токоподводящие шины и медные электроды подводится к заготовкам.

При прохождении тока за счет электросопротивления заготовки нагреваются, особенно интенсивно нагреваются участки металла, прилегающие к контакту между заготовками, так как эти участки имеют более высокое электросопротивление и менее подвержены охлаждающему действию электродов. Тепло Q , выделяющееся в контакте, определяется по формуле Джоуля-Ленца

$$Q = J_{\text{св}}^2 R_{\text{об}} t ,$$

$$R_{\text{об}} = R_{\text{к}} + 2R_{\text{м}} + 2R_{\text{п}} ,$$

где Q – количество тепла, Дж; $J_{св}$ – сварной ток, А; $R_{об}$ – общее сопротивление в зоне сварки, Ом; R_m – сопротивление свариваемого металла, Ом; R_k – сопротивление контакта, Ом; $R_{п}$ – сопротивление переходное между деталью и электродом, Ом; t – время нагрева, с.

В момент образования в зоне сварки расплавленного ядра заданных размеров (ГОСТ15878–79) ток выключают. Заготовки кратковременно выдерживают между электродами под действием усилия сжатия. Это необходимо для кристаллизации жидкого металла и охлаждения его в зоне сварки.

4 ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ

Электроконтактная точечная сварка служит для соединения заготовок из сталей различных марок: углеродистых и легированных, из цветных металлов, титана и их сплавов, а также из разнородных материалов. Она широко применяется для сварки на заводах автомобильной и авиационной промышленности, вагоностроения, в радиоэлектронике и приборостроения для сварки листовых заготовок со стержнями или с профильными заготовками: уголками, швеллерами и др. На ремонтных предприятиях электроконтактную точечную сварку можно использовать при ремонте громоздких пространственных конструкций (кабин, оперения и т.д.). При этом более технологично использовать подвесные сварочные клещи (например, КТР-12-3) или односторонние пистолеты (ПТ-12-3).

Технологический процесс точечной сварки содержит следующие операций. Перед сваркой производят правку, очистку поверхности и сборку деталей. Правку применяют, чтобы устранить местные неровности и не допустить зазоры. Свариваемые поверхности деталей очищают от ржавчины, окалины, масла и других загрязнений до чистого металла.

Зачистку осуществляют механическим способом (абразивными кругами, вращающейся щеткой и др.) или химическими (в серноокислых ваннах с последующей нейтрализацией в щелочной ванне, промывкой проточной водой и просушкой горячим воздухом), масло и грязь удаляют, протирая поверхность бензином или ацетоном. Детали из алюминиевых сплавов обрабатывают в ваннах с раствором ортофосфорной кислоты и хромпика с последующей промывкой в холодной воде, затем протирают салфетками или волосными щетками, дополнительно промывают в теплой воде и просушивают горячим воздухом.

5 НАЗНАЧЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА ТОЧЕЧНОЙ СВАРОЧНОЙ МАШИНЫ МТ-1222

Точечная сварочная машина МТ-1222 предназначена для сварки деталей из листового металла с максимальной толщиной до $S=3$ мм.

Техническая характеристика точечной сварочной машины МТ-1222

Номинальный вторичный ток, кА.....	12
Наибольшая мощность, кВ А.....	160
Усилие, кН	
номинальное.....	630

минимальное сварочное.....	120
Вылет хоботов, мм.....	500
Раствор хоботов, мм.....	80...220
Наибольший ход верхнего электрода, мм.....	80
Средняя производительность при рабочем ходе 10 мм, сварок в мин....	120..150

6 МЕТОДИКА ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА

Одним из основных условий получения качественного сварного соединения является правильный выбор параметров технологического режима сварки. К параметрам технологического режима при электроконтактной точечной сварке относят: величину и плотность тока, время включения тока, усилие сжатия, форму и диаметр контактной поверхности электродов, усилие и время предварительного обжатия и ковочное усилие. Эти параметры графически изображаются циклограммой сварки. В зависимости от марки свариваемого материала и его толщины выбирают наиболее рациональную циклограмму сварки (рисунок 22.2).

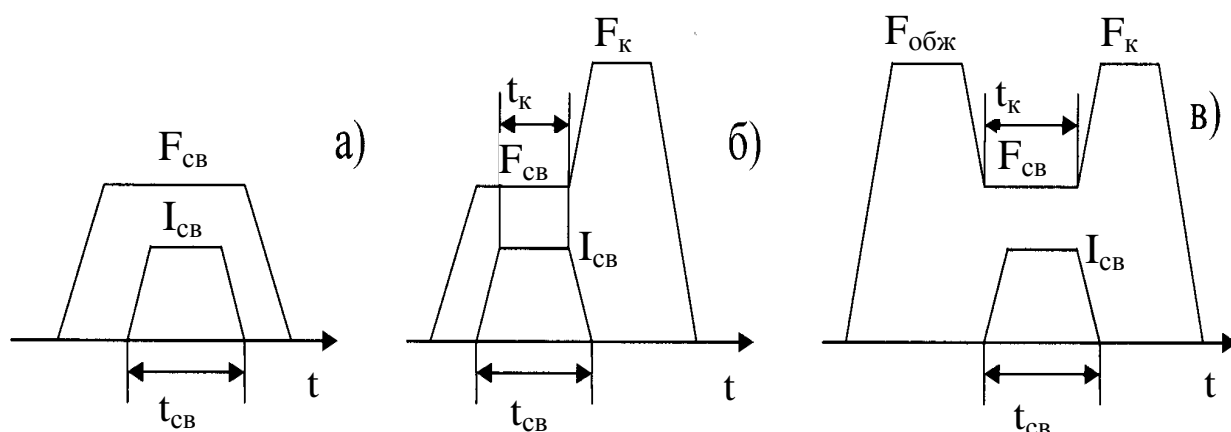


Рисунок 22.2 Наиболее распространенные циклограммы усилия и тока при точечной сварке: а) с постоянным сварочным усилием F_{CB} ; б) то же и приложением ковочного усилия F_K ; в) с предварительным обжатием $F_{обж}$ и проковкой;

Величина и плотность тока, J_{CB}

С увеличением толщины свариваемых листов величина тока должна повышаться. Для сварки из малоуглеродистых сталей величина J определяется из следующей формулы

$$J_{CB} = 6500 S,$$

где S – толщина свариваемого листа, мм.

При сварке деталей повышенной электро- и теплопроводности плотность тока увеличивают.

Время включения тока, (t_{CB}) .

С увеличением толщины свариваемых заготовок время включения тока увеличивают для лучшего прогрева заготовок по толщине.

Снижение величины может привести к непроварам. Время включения тока можно определить по эмпирическим формулам:

- для малоуглеродистой стали $t_{CB} = (0,2..0,4) S$

- для нержавеющей стали $t_{св}=(0,1..0,15) S$
- для незакаливающихся алюминиевых сплавов $t_{св}=(0,15..0,2) S$
- для закаливающихся алюминиевых сплавов $t_{св}=(0,08..0,12) S$

Усилие сжатия возрастает с увеличением толщины и твердости свариваемого материала. Для сварки неправильных (неровных) заготовок или при расположении точек вблизи элементов жесткости усилие сжатия следует увеличить.

Форма и диаметр контактной поверхности электродов, $d_э$. Рабочим торцам электродам в зависимости от свариваемого материала, конфигураций свариваемых заготовок и конструкций сварочной машины придают плоскую или сферическую форму. Для сварки заготовок из сталей концам электродов придают плоскую форму с диаметром контактной поверхности $d_э=5,5 \cdot S$ (мм), (S – толщина свариваемых заготовок). Для сварки заготовок из легких сплавов концам электродам придают сферическую форму с радиусом $R=50 \cdot S$ (мм).

Время предварительного сжатия ($t_{псж}$) должно быть достаточным для того, чтобы механизм сжатия успел свести электроды и развить полное сварочное давление до включения тока.

Время проковки, (t_k) определяется длительностью нахождения уже сваренной точки под сжимающим воздействием электродов. Оно должно быть достаточным для полного затвердевания и упрочнения ядра, чтобы под действием сил, возникающих при литейной усадке остывающего металла, и сил упругости заготовок, стремящихся восстановить первоначальную форму, не произошел разрыв ещё не остывшего ядра.

Таблица 22.1 Ориентировочные режимы электроконтактной точечной сварки

Толщина свариваемого металла, мм	Циклограммы	$J_{св}$, кА	$t_{св}$, с	$F_{св}$, кН	F_k , кН	t_k , с	$d_э$, м
до 0,5	а	6..7	0,08..0,10	1,2..16,8	-	-	4
		4,0..5,0	0,08..0,12	2,5..3,0			4
0,8	а	7..8,5	0,1..0,14	2,0..2,8	-	-	5
		4,5..5,0	0,12..0,16	3,0..4,0			5
1,0	а	8,5..9,5	0,12..0,16	2,5..3	-	-	5
		5,0..5,7	0,14..0,18	3,5..5,0			5
1,5	а	11,0..12	0,16..0,24	4,0..5,0	-	-	6
		7,0..8,0	0,2..0,24	5,0..7,0			6
2,0	а, б	12,0..13,	0,3..0,32	6,0..7,0	-	-	8
		8,0..9,0	0,24..0,3	8,0..9,5			
3,0	б	14,0..15	0,3..0,48	9,0..10,0	18,0..20	0,36..0,54	10
		16,0..21	0,3..0,34	10,0..11	20,0..22	0,38..0,42	9
4,0	б, в	18,0..19	0,7..0,9	13,0..15	20,0..24	0,8..1,0	10
		11,0..12	0,4..0,5	15,0..17	24,0..26	0,5..0,6	9

Примечание: в числителе данные для малоуглеродистых, в знаменателе для высоколегированных сталей.

7 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

7.1 Для заданных образцов с учетом их толщины и марки стали рассчитать по приведенным в пособии формулам и по таблице 22.1 технологические режимы сварки и заполнить таблицу 22.2.

7.2. Установить полученные технологические режимы сварки на точечной машине.

7.3. Изменив по требованию преподавателя один из параметров режима сварки, провести повторную сварку следующей пары образцов.

7.4. Произвести контроль качества полученного сварного соединения технологической пробой (рисунок 22.3) позволяющий установить примерные размеры литой зоны и характер разрушения соединения.

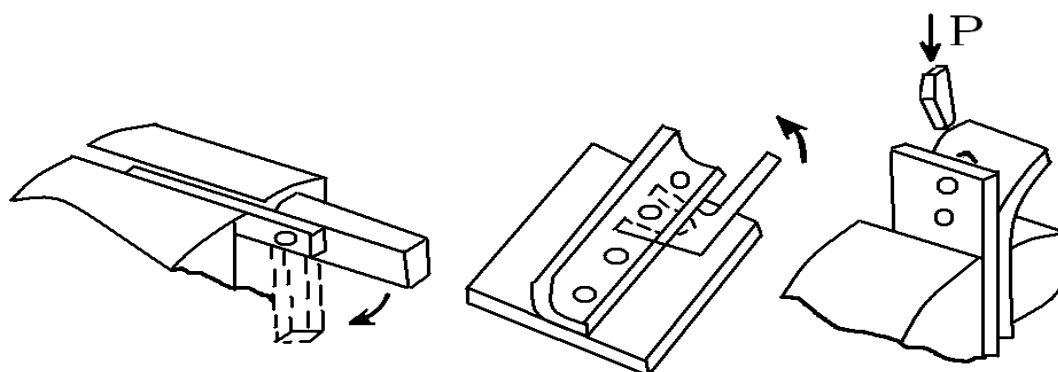


Рисунок 22.3 Приемы технологической пробы

8 ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ О РАБОТЕ

8.1 Привести схему и описание процесса получения сварного соединения электроконтактной точечной сваркой.

8.2 Указать, какие металлы и какой толщины свариваются точечной сваркой. Выполнить расчеты режимов сварки.




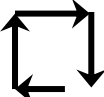

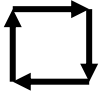








8.3 Привести таблицу технологических режимов сварки (таблица 22.2).

8.4 Привести выводы по результатам работы.

Таблица 22.2 Выбранные технологические режимы электроконтактной точечной сварки

Толщина каждой детали	Форма и диаметр контактной поверхности электродов, мм	Усилие сварки, мм	Продолжительность включения сварочного тока, с	Сварочный ток, А	Номер ступени трансформатора	Качество сварного соединения

ПРИЛОЖЕНИЕ 22.1 Условные обозначения органов управления и индикации регулятора цикла сварки РЦС-503

Значение символа	Символ	Значение символа	Символ
Сеть		Пауза	
Включено		Одиночная сварка (автоматический цикл)	
Выключено		Серия сварки (автоматический цикл)	
Предварительное сжатие		Плюс	
Сжатие		Нарастание (модуляция тока по переднему фронту)	
Сварка		Нагрев (фазовое регулирование)	
Проковка		Клапан (цепь управления)	

ПРИЛОЖЕНИЕ 22.2 Значения выдержек времени позиций сварочного цикла РЦС-503

Позиция сварочного тока	Диапазо	Деление шкалы												Точность отсчета, в %
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
		Длительность, сек												
Предварительное сжатие	-		0,015	0,22	0,44	0,6	0,86	1,06	1,26	1,46	1,66	1,86	2,00	± 30
Сжатие, проковка, Пауза	1	-	0,015	0,08	0,12	0,16	0,22	0,26	0,30	0,34	0,38	0,42	0,46	
	2	-	0,08	0,40	0,66	0,88	1,08	1,28	1,48	1,70	1,90	2,10	2,18	
Сварка (верхний переключатель)	1	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	-	0
	2	0,08	0,14	0,20	0,26	0,34	0,40	0,48	0,56	0,62	0,68	0,76	-	5
Сварка (нижний переключатель)	1	-	0,015	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,42	1,64	1,84	2,05	10
	2	-	0,08	0,76	1,44	2,10	2,86	3,46	4,26	5,00	5,64	6,36	7,00	

Лабораторная работа № 23

ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК И ДЕТАЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОГО НАГРЕВА

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить технологические процессы обработки заготовок и деталей с применением электроконтактного нагрева; приобрести практические навыки рационального выбора оборудования, материалов и режимов для различных операций обработки, восстановления и упрочнения деталей.

2 ВВЕДЕНИЕ

Электроконтактный нагрев сопротивлением осуществляется путем пропускания электрического тока по проводящему материалу. Если проводящим материалом является изделие, которое необходимо нагревать, то такой нагрев называется прямым электронагревом.

Количество выделяемого в проводнике тепла в Дж, определяется по закону Джоуля-Ленца:

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

где I - величина тока, А;

R - электросопротивление изделия, Ом;

τ - время нагрева, с.

Если нагреваемое изделие имеет относительно высокую электропроводность, то для нагрева его до высокой температуры требуется ток большой величины (в десятки и сотни тысяч ампер).

3 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОГО НАГРЕВА

Большие значения тока для нагрева изделий наиболее просто могут быть получены при помощи понижающих трансформаторов переменного тока.

В таких трансформаторах элементы вторичной цепи (вторичная обмотка трансформатора 1 или 2 витка, подводящие шины, электроды-контакты) включаются последовательно с заготовкой, и в каждом из них выделяется тепло, пропорционально сопротивлению каждого элемента. Сопротивление всех этих элементов следует уменьшать различными способами. Особую трудность представляет обеспечение малых переходных сопротивлений контактных зажимов. Даже при сравнительно малом сопротивлении в контактах, равном 0,01 Ом и токе в 1000 А, в них выделяется теплота эквивалентная 10 кВт мощности.

Задание №1. Предложите конструктивные способы уменьшения сопротивления элементов вторичной цепи. Приведите марки трансформаторов электроконтактного нагрева.

Трансформаторы установок электроконтактного нагрева обычно работают в повторно-кратковременном режиме, который характеризуется продолжительностью включения ПВ

$$ПВ\% = \tau_p / (\tau_p + \tau_{п}) \times 100,$$

где τ_p и $\tau_{п}$ - продолжительность работы и паузы.

Мощность нагрева регулируют изменением подводимого к заготовке напряжения. Для этого первичную, а иногда и вторичную обмотку разбивают на секции и включают их по определенной схеме.

Трансформаторы в машинах контактной сварки и наплавки работают в прерывистом режиме, при котором частота включения может достигать десятков тысяч в час. Управление циклической работой таких трансформаторов осуществляет специальная аппаратура.

Задание №2. Приведите примеры названий и марки машин для контактной сварки и аппаратуры управления их работой.

4 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОГО НАГРЕВА

4.1 Контактная стыковая, точечная и роликовая сварка в машиностроении.

Задание №3. Приведите примеры применения контактной сварки в тракторном и сельскохозяйственном машиностроении.

4.2 Восстановление и упрочнение деталей машин и оборудования с использованием методов контактной сварки.

Задание №4. Приведите примеры:

- контактной точечной сварки при ремонте машин;
- контактной приварки (напекания) порошковых материалов (укажите конкретные детали, оборудование, материалы, режим обработки и т.д.)

4.3 Электроконтактный нагрев при операциях обработки давлением в ремонтном производстве

На ремонтно-обслуживающих предприятиях АПК для нагрева заготовок деталей перед операциями осадки, высадки, раздачи, гибки и т.п. используются электропечи сопротивления, либо печи на газовом или жидком топливе. Это приводит к неоправданным электрическим затратам, особенно если необходимо нагревать только часть изделия.

Наиболее рациональным в этом случае, является использование серийных установок контактной стыковой сварки, подвергнутых достаточно простой модернизации.

В принципе, любая машина для стыковой сварки малой и средней мощности с ручным или механическим приводом зажимного устройства может быть использована для электроконтактного нагрева при условии изготовления соответствующих электродов-контактов. Уровень модернизации, включающий механизацию и частичную автоматизацию управления работой установки, определяется производственной необходимостью.

Одним из важнейших вопросов по подготовке машины контактной сварки к использованию при контактном нагреве является разработка конструкции и изготовление электродов-контактов и модернизация аппаратуры управления режимов работы машины.

Электроды-контакты должны обеспечить надежную передачу тока на нагреваемые заготовки при возможно меньшем сопротивлении в зоне контакта; контакты должны изготавливаться из специальной электродной бронзы (таблица 23.1)

Задание №5. Выпишите из справочной литературы 2-3 примера машин стыковой сварки, которые можно использовать как нагревательные; приведите их краткие характеристики и укажите возможную потребность в модернизации.

Укажите, как обеспечить контроль за температурой нагрева и управление процессом нагрева.

4.4 Электроконтактный нагрев при операциях термической и химико-термической обработки

На модернизированных машинах контактной стыковой сварки (см. п. 4.3) можно производить нагрев для операций термической и химико-термической обработки.

Таблица 23.1 Техническая характеристика электродов

Материал марка	Состав, %	Обра- ботка	Свойства			Назначение
			V. %	НВ		
Медь М1	ЮОСи	Наклеп	98	700...900	200	Т, Ш, Р сварка алюминиевых
Бронза БрХКд 0.5-0.3	0.25...0.5 Сг 0.2...0.35 Си ост. Си	Термо- механи- ческая	83...85	1100...1250	370	С, Т, Ш, сварка стали, алюминиевых и медных сплавов
Бронза БрХ	0,4... 1.0 Сг ост. Си		80...82	1200...1400	400	С, Т, Ш, сварка стали и титановых сплавов
Бронза БрХЦр	0,4... 1,0 Сг 0.03...0.8 2г ост. Сг		78...80	1400...1600	500	

Примечание: V - электропроводность электрода по отношению к отоженной меди; Т_р - температура начала рекристаллизации, °С; С - стыковая, Т - точечная, Ш - шовная, Р - рельефная виды сварок.

Задание №6. Укажите, какие операции ТО и ХТО можно производить при электроконтактном нагреве, и каковы параметры и результаты режима обработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оськин В.А., Евсиков В.В. Материаловедение. Технология конструкционных материалов. Кн. 1. – М.: КолосС, 2008.
2. Сварочные работы / В.А. Чебан. – Ростов н/Д : Феникс, 2011.
3. Каховский Н.И., Фартушный В.Г., Ющенко К.А. Электродуговая сварка сталей. Справочник. Киев.: «Наукова Думка», 1975.
4. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению / Под общ. ред. С.С. Некрасова.- М.: Агропромиздат, 1991.- 281 с.
5. Материаловедение: Практикум / Под ред. С.В. Ржевской.- М.: Логос, 2004.- 272 с.