

Министерство образования и науки Челябинской области

ГБПОУ «Троицкий технологический техникум»

**Методические указания**  
**к выполнению лабораторных и практических работ**

по дисциплине: **ОП.08. Материаловедение**

по специальности: **22.02.06 Сварочное производство**

Методические указания для выполнения лабораторных работ разработаны на основе программы «ОП.08. Материаловедение» по специальности 22.02.06 Сварочное производство

Разработчик: Мумбаева С.Ю., преподаватель профессионального цикла.

Рассмотрено и одобрено на заседании цикловой методической комиссии преподавателей и мастеров п/о по программам подготовки квалифицированных рабочих технического и строительного профиля

Протокол № \_\_\_\_ от «\_\_\_\_» 20 \_\_\_\_ г.



## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
1 Тематический план лабораторных работ.....	4
2 Требования к оформлению и содержанию лабораторных работ .....	5
3 Лабораторные работы.....	6
3.1 Испытание металлов на растяжение. Определение предела упругости, текучести, прочности, относительное удлинение и сужение .....	6
3.2 Испытание на твердость металлов по Бринеллю и Роквеллу .....	10
3.3 Испытания металлов на ударную вязкость.....	17
3.4 Структура и свойства углеродистой стали по диаграмме Fe-C .....	21
3.5 Структура и свойства чугунов по диаграмме Fe-C.....	25
3.6 Изучение микроструктуры легированных сталей.....	30
3.7 Изучение структуры сплавов на медной основе .....	34
Список использованной и рекомендуемой литературы.....	39
Приложение А Соотношение чисел твердости по Бринеллю, по Роквеллу и по Виккерсу .....	41
Приложение Б Примеры марок меди применяемых .....	43
Приложение В Примеры марок сплавов на основе меди .....	44

## ВВЕДЕНИЕ

Материаловедение относится к числу основополагающих учебных дисциплин для специальностей судостроительной отрасли. Это связано прежде всего с тем, что получение, разработка новых материалов, способы их обработки являются основой современного производства и уровнем своего развития во многом определяют научно-технический и экономический потенциал российского государства.

Производство конкурентоспособных изделий невозможно без должного технологического обеспечения и достаточного уровня знаний в области материаловедения. Материалы обладают отличающимися друг от друга свойствами, причем каждое зависит от особенностей внутреннего строения материала. В связи с этим материаловедение как наука занимается изучением строения материалов в тесной связи с их свойствами.

В результате изучения курса "Материаловедение" студент должен знать и уметь использовать основные типы конструкционных материалов, способы получения заданных свойств, методику и инструментарий контроля структуры и свойств этих материалов. Выполнение лабораторных работ позволит закрепить с помощью овладения практическими навыками основные разделы курса.

Практикум по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Материаловедение» для студентов специальности 22.02.06 «Сварочное производство» определяет подготовку техников в области материалов. При этом изучаются закономерности, определяющие строение и свойства материалов. Данные лабораторные работы составлены в соответствии с утвержденной рабочей программой дисциплины. В процессе выполнения лабораторных работ студенты учатся самостоятельно проводить испытания, работать на соответствующем лабораторном оборудовании. В лабораторных работах, связанных с изучением структур, студенты знакомятся с устройством микроскопов, с основными понятиями металлографии, названием структур. В лабораторные работы включена обработка результатов экспериментов. Каждая лабораторная работа выполняется студентом индивидуально, оформляется по соответствующим схемам, защищается. После защиты всех лабораторных работ студент допускается к сдаче зачета или экзамена.

На проведение лабораторных работ учебным планом отведено 32 часа.

Приступая к выполнению задания, студентам следует внимательно самостоятельно подготовиться, используя настоящие методические указания, материалы лекций и рекомендуемую литературу.

Приступать к работе с приборами следует только после прохождения инструктажа по технике безопасности при работе с данным прибором и проверки преподавателем готовности к выполнению работы.

Изучая материал, нужно отметить недостаточно понятные места и если не удается разобраться в них, то нужно обратиться за консультацией.

## 1 ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Согласно рабочей программе ОП.08 «Материаловедение» перечень тем лабораторных работ и отведенное время на их выполнение приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Темы лабораторных работ

№ лабораторной работы	Наименование темы	Количество часов
1	Испытание металлов на растяжение. Определение предела упругости, текучести, прочности, относительное удлинение и сужение	2
2	Испытание на твердость металлов по Бринеллю и Роквеллу	2
3	Испытания металлов на ударную вязкость	2
4	Структура и свойства углеродистой стали по диаграмме Fe-C	2
5	Структура и свойства чугунов по диаграмме Fe-C	2
6	Изучение микроструктуры легированных сталей	2
7	Изучение структуры сплавов на медной основе	2

## 2 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ И СОДЕРЖАНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Оформление лабораторных работ следует производить на листах формата А4 с одной стороны. Текст писать пастой черного, или синего цвета без сокращения слов, кроме допустимых ГОСТом.

При оформлении на листах формата А4 на первом листе делают основную надпись, как для первого листа, на остальных, как для последующих листов.

В отчете обязательно должны быть отражены следующие разделы: цель работы, содержание работы, выводы, список использованной литературы.

В конце каждой лабораторной работы приведены контрольные вопросы для подготовки и защиты данной работы.

Лабораторные работы необходимо оформить в течение недели после её выполнения и защитить в установленном порядке.

### 3 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

#### 3.1 Лабораторная работа № 1

**Тема:** Испытание металлов на растяжение. Определение предела упругости, текучести, прочности, относительное удлинение и сужение

**Цель работы:** Освоение методики определения показателей прочности и пластичности металлов.

#### Материалы и оборудование:

- 1) Разрывная испытательная машина УМ-5А.
- 2) Образцы для испытания.
- 3) Штангенциркуль.
- 4) Микрометр 0-25мм.
- 5) Линейка и делениями.
- 6) Бумага для записи диаграммы.

#### Краткие теоретические сведения

Механические свойства являются важнейшей характеристикой материалов. Изготавливаемые из них детали конструкций испытывают в процессе эксплуатации самые различные по величине и характеру нагрузки. Поэтому существуют десятки различных методов механических испытаний – по схеме приложения нагрузки, по скорости её изменения, температуре и окружающей среде. Определяемые в них свойства тесно связаны между собой, так как зависят от схожих процессов, протекающих внутри материала.

Наиболее широкое распространение имеет метод испытаний на растяжение. Образец продолговатой формы круглого или прямоугольного сечения, изображенный на рисунке 3.1, зажимают в захватах испытательной машины и начинают растягивать, постепенно увеличивая нагрузку. Испытание проводят до разрушения. Одновременно следят за изменением длины и поперечного сечения образца (его деформацией).

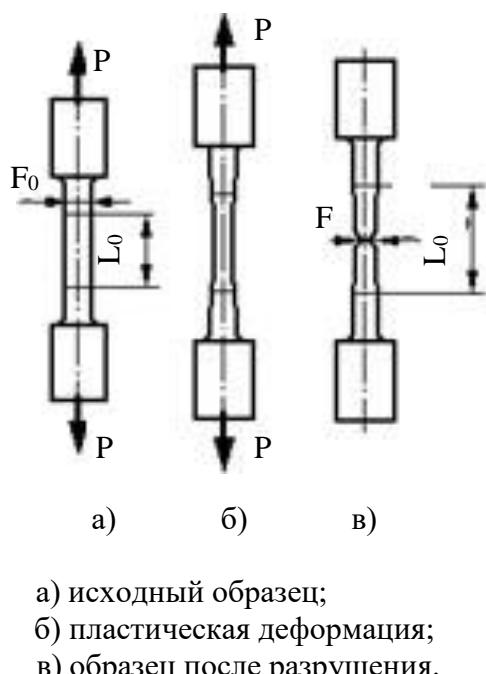


Рисунок 3.1 - Испытание на растяжение

На рисунке 3.1 обозначены следующие характеристики:

$L_0$  – начальная расчетная длина образца, м,

$F_0$  – площадь поперечного сечения образца до разрушения,  $\text{м}^2$ ;

$F$  – площадь поперечного сечения в месте разрыва,  $\text{м}^2$ ;

$P$  - нагрузка, действующая на единицу площади поперечного сечения образца, Н.

Площадь поперечного сечения образца F метрах квадратных вычисляют по формуле:

$$F = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (3.1)$$

где  $d$  – диаметр рабочей части образца, м;

$\pi$  – математическая константа принятая для расчетов равной 3,1416.

Для того чтобы результаты испытаний не зависели от размеров образца показанного на рисунке 3.1 а), используют следующие характеристики:

1) Напряжение  $\sigma$  – нагрузка  $P$ , действующая на единицу площади поперечного сечения образца  $F_0$ :

$$\sigma = \frac{P}{F_0}, \quad (3.2)$$

где  $\sigma$  – напряжение, Па;

Р - нагрузка, действующая на единицу площади поперечного сечения образца, Н;

$F_0$  – площадь поперечного сечения образца,  $\text{м}^2$ .

Единицы измерения напряжения  $\sigma$  в системе СИ – Н/м<sup>2</sup> (Паскаль), а в технике – кгс/мм<sup>2</sup> (1 кгс/мм<sup>2</sup> = 10 МПа).

2) Относительная деформация в процентах вычисляется по формуле:

$$\delta = \frac{(L-L_0)}{L_0} \times 100, \quad (3.3)$$

где  $L_0$  и  $L$  – начальная и текущая длина рабочего отрезка образца, м.

В координатах  $\sigma = f(\delta)$  кривые испытания на растяжение имеют вид, показанный на рисунке 3.2.

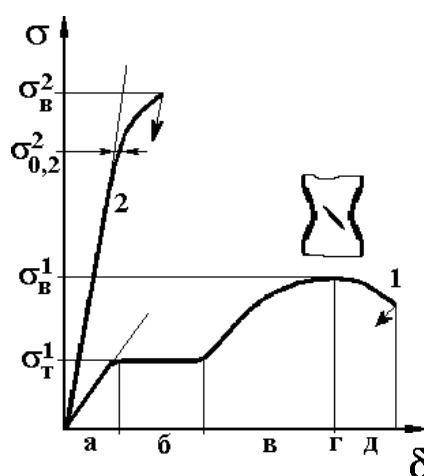


Рисунок 3.2 - Кривые испытаний на растяжение пластичного – 1 и высокопрочного – 2 металлов

Предел текучести  $\sigma_t$  – напряжение, при котором в металле начинается пластическая (необратимая) деформация согласно рисунка 3.2 кривая 1, интервал б. Она осуществляется за счёт движения особого вида дефектов кристаллической решётки – дислокаций.

Временное сопротивление (предел прочности)  $\sigma_v$  – напряжение, при котором в материале начинается разрушение. Другое определение  $\sigma_v$  – напряжение, до которого материал сопротивляется пластической деформации без разрушения.

Условный предел текучести  $\sigma_{0,2}$  ( $\sigma_2$ ) – напряжение, при котором отклонение от упругой деформации (т.е. пластическая деформация) составляет 0,2 % (так условились). Поэтому  $\sigma_t$  иногда называют физическим пределом текучести.

В высокопрочном материале образование шейки почти не выражено, и при достижении предела прочности  $\sigma_v$  сразу идёт разрушение.

После испытания обломки образца складывают и измеряют. Это позволяет оценить характеристики пластичности:

- относительное удлинение  $\delta$  образца при разрушении, определяемое по формуле (3.3);
- относительное сужение  $\psi$  в процентах вычисляемое по формуле:

$$\psi = \frac{(F - F_0)}{F_0} \times 100,$$

(3.4)

где  $F$  – площадь поперечного сечения в месте разрушения (рисунок 3.1, в),  $\text{м}^2$ ;

$F_0$  – начальная площадь поперечного сечения,  $\text{м}^2$ .

Испытание на растяжение относится к разрушающим методам определения механических свойств материалов.

### **Методика выполнения лабораторной работы**

- 1) Получить у преподавателя образец для испытания.
- 2) Произвести замеры начального диаметра рабочей части ( $d_0$ ), с точностью до 0,01мм, и начальной расчетной длины ( $l_0$ ), с точностью до 0,1мм, цилиндрического образца.
- 3) Подготовленный для испытания образец поместить в зажимы машины.
- 4) Включить электродвигатель
- 5) Наблюдать за перемещением стрелки по шкале, указывающей действующую нагрузку. Зафиксировать крайнее правое положение, до которого дойдет стрелка, соответствующее наибольшей нагрузке  $P_v$ , предшествующей разрушению образца.
- 6) После разрыва образца выключить электродвигатель, обе части образца вынуть из зажимов и снять с диаграммного аппарата часть бумажной ленты с записанной диаграммой, по которой определить нагрузки, соответствующие пределу прочности  $P_v$ , пределу пропорциональности  $P_{\text{пп}}$  и пределу текучести  $P_t$ , результаты записать в протокол испытаний согласно таблицы 3.1.

### **Рекомендации по обработке и оформлению полученных результатов**

- 1) Записать название, цель работы и оборудование.
- 2) Зарисовать схему испытуемого образца.
- 3) Рассчитать начальную площадь поперечного сечения по формуле (3.1).
- 4) Определить показатели прочности металла по формуле (3.2) и построить график кривых испытаний в координатах  $\sigma = f(\delta)$ .
- 5) Определить показатели пластичности металла.
- 6) Составить протокол испытания на растяжение согласно таблице 3.1.
- 7) Сделать вывод о проделанной работе.
- 8) Оформить отчет о проделанной работе.

Таблица 3.1 - Протокол испытания на растяжение

Размеры образца до испытания		Нагрузки, соответствующие			Размеры образца после испытаний	
Диаметр образца $d_0$ , м	Площадь поперечного сечения $F_0$ , м <sup>2</sup>	пределу пропорциональности $P_{\text{пп}}$ , Н	пределу текучести $P_t$ , Н	пределу прочности $P_b$ , Н	Предел пропорциональности $\sigma_{\text{пп}}$ , Н/м <sup>2</sup>	Предел текучести $\sigma_t$ , Н/м <sup>2</sup>
Расчетная длина образца $l_0$ , м					Предел прочности $\sigma_b$ , Н/м <sup>2</sup>	Длина образца $l$ , м
						Диаметр образца $d$ , м
						Площадь поперечного сечения $F$ , м <sup>2</sup>
						Относительное удлинение, %
						Относительное сужение $\psi$ , %

**Вопросы для самоконтроля**

- 1) К какой группе механических испытаний относится испытание на растяжение?
- 2) Как называется оборудование для испытания на растяжение?
- 3) Что представляет собой образец для испытания?
- 4) Как определить расчетную длину образца?
- 5) В чем состоит принцип испытания на растяжение?
- 6) Что называется пределом прочности металла?
- 7) Что называется пределом текучести металла?
- 8) Что называется пластичностью металла?
- 9) Какие величины характеризуют пластичность металла? Единицы измерения.
- 10) Что такое условный предел текучести и для каких металлов он характерен?

Рекомендуемая литература [1], [2], [7].

## 3.2 Лабораторная работа № 2

**Тема:** Испытание на твердость металлов по Бринеллю и Роквеллу

**Цель работы:** ознакомление с методами контроля механических свойств материалов с помощью измерения твердости.

### Оборудование и материалы, инструмент:

- 1) Твердомеры Бринелля и Роквелла;
- 2) Лупа Бринелля;
- 3) Образцы металлов в отожженном и закаленном состоянии.

### Краткие теоретические сведения

Для текущего контроля качества термической обработки металлов используют обычно неразрушающие способы, главным из которых является измерение твёрдости.

Твёрдость – это способность материала сопротивляться проникновению (внедрению) в него другого тела.

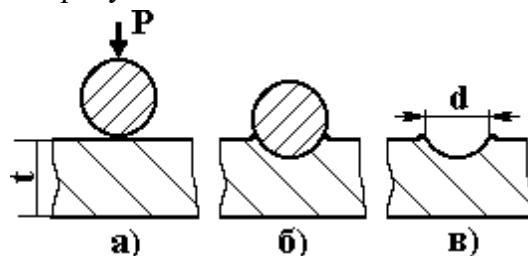
Твёрдость измеряют путём воздействия на поверхность металла наконечника (индентора), изготовленного из малодеформирующегося материала (закалённая сталь, алмаз или твёрдый сплав) и имеющего форму шарика, конуса, пирамиды или иглы. Существует несколько способов измерения твёрдости по характеру воздействия наконечника на материал – царапанием, по отскоку шарика и другие.

Наибольшее распространение получило измерение твёрдости вдавливанием индентора в образец под действием определённой нагрузки. Особенность происходящей при этом деформации заключается в том, что она протекает только в небольшом объёме, окружённом недеформированным металлом. В таких условиях испытания возникают главным образом касательные напряжения, а доля растягивающих напряжений незначительна. Поэтому можно измерять твёрдость даже хрупких материалов.

### Измерение твёрдости по Бринеллю

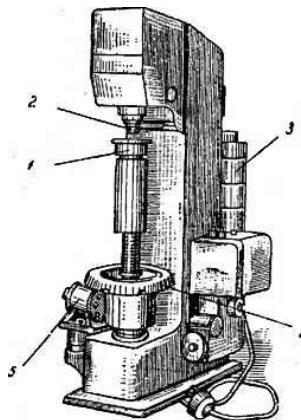
Метод Бринелля (ГОСТ 9012–59) применяют только для пластичных материалов (железо, отожжённая сталь, графитизированные чугуны, цветные металлы и сплавы).

По этому способу в проверяемый образец под действием нагрузки  $P$  вдавливают шарик из закалённой стали показанный на рисунке 3.3.



а) нагружение; б) снятие нагрузки; в) измерение отпечатка.

Рисунок 3.3 – Измерение твердости по Бринеллю



1 – предметный столик; 2 – оправка; 3 – грузы пресса; 4 – подъемный штурвал; 5 – мотор.

Рисунок 3.4 – Пресс типа Бринелля

Испытание проводят на прессе Бринелля изображенном на рисунке 3.4.

После снятия нагрузки на поверхности образца остаётся отпечаток, диаметр  $d$  которого измеряют с помощью микроскопа (лупы) Бринелля с точностью  $\pm 0,05$  миллиметров в двух взаимно перпендикулярных направлениях и получают две величины  $d_1$  и  $d_2$ . За диаметр лунки  $d$  в миллиметрах принимают среднее значение этих величин  $d_{cp}$ , вычисляемое по формуле:

$$d_{cp} = \frac{d_1 + d_2}{2}, \quad (3.5)$$

Твёрдость определяют по формуле:

$$HB = \frac{P}{F}, \quad (3.6)$$

где  $P$  – нагрузка, действующая на образец, кгс;

$F$  – площадь поверхности сферического отпечатка,  $\text{мм}^2$ ;

или по формуле:

$$HB = \frac{0,102P}{F},$$

(3.7)

где  $P$  – нагрузка, действующая на образец, Н;

$F$  – площадь поверхности сферического отпечатка,  $\text{мм}^2$ ;

Площадь поверхности сферического отпечатка в миллиметрах квадратных вычисляем по формуле:

$$F = \pi \times D \times h,$$

(3.8)

где  $D$  – диаметр шарика (индентора), мм;

$h$  – глубина отпечатка, мм.

Так как глубину отпечатка  $h$  в миллиметрах трудно измерить, а гораздо проще измерить диаметр отпечатка, то целесообразно глубину отпечатка выразить через диаметры шарика и отпечатка:

$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}, \quad (3.9)$$

где  $D$  – диаметр шарика (индентора), мм;  
 $d$  – диаметр отпечатка, мм.

Тогда площадь сферического отпечатка принимаем равной площади поверхности шарового сегмента и находим по формуле:

$$F = \frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2}) \quad (3.10)$$

Следовательно, число Бринелля будет характеризоваться формулой:

$$HB = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (3.11)$$

Твердость по Бринеллю можно определить по переводной таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Числа твердости по Бринеллю

Диаметр отпечатка, мм $d_{10}$ , или $2d_5$ , или $4d_{2,5}$	Числа твердости ( $\text{кгс}/\text{мм}^2$ ), при нагрузке $P$ , равной			Диаметр отпечатка, мм $d_{10}$ , или $2d_5$ , или $4d_{2,5}$	Числа твердости ( $\text{кгс}/\text{мм}^2$ ), при нагрузке $P$ , равной		
	30D2	10D2	2,5D2		30D2	10D2	2,5D2
2,90	444	–	–	4,45	183	60,9	15,2
2,95	430	–	–	4,50	179	59,5	14,9
3,00	415	–	34,6	4,55	174	58,1	14,5
3,05	401	–	33,4	4,60	170	56,8	14,2
3,10	388	129	32,3	4,65	166	55,5	13,9
3,15	375	125	31,3	4,70	163	54,3	13,6
3,20	363	121	30,9	4,75	159	53,0	13,3
3,25	352	117	29,3	4,80	156	51,9	13,0
3,30	340	114	28,4	4,85	153	50,7	12,7
3,35	332	110	27,6	4,90	149	49,6	12,4
3,40	321	107	26,7	4,95	146	48,6	12,2
3,45	311	104	25,9	5,0	143	47,5	11,9
3,50	302	101	25,2	5,05	140	46,5	11,6
3,55	293	97,6	24,5	5,10	137	45,5	11,4
3,60	286	95,0	23,7	5,15	134	44,6	11,2
3,65	277	92,3	23,1	5,20	131	43,7	10,9
3,70	269	89,7	22,4	5,25	128	42,8	10,7
3,75	262	87,2	21,8	5,30	126	41,9	10,5
3,80	255	84,9	21,2	5,35	123	41,0	10,3
3,85	248	82,6	20,7	5,40	121	40,2	10,1
3,90	241	80,4	20,1	5,45	118	39,4	9,86
3,95	235	78,9	19,6	5,50	116	38,6	9,66
4,00	229	76,3	19,1	5,55	114	37,9	9,46
4,05	223	74,3	18,6	5,60	111	37,1	9,27
4,10	217	72,4	18,1	5,65	109	36,4	9,10
4,15	212	70,6	17,6	5,70	107	35,7	8,93
4,20	207	68,8	17,2	5,75	105	35,0	8,80
4,25	202	67,1	16,8	5,80	103	34,2	8,59

4,30	196	65,1	16,4	5,85	101	33,7	8,43
4,35	192	63,9	16,0	5,90	99,2	33,1	8,26
4,40	187	62,4	15,6	5,95	97,3	32,4	8,11
				6,0	95,5	31,3	7,96

### Выбор схемы измерения твёрдости по Бринеллю:

1) Выбирают диаметр шарика D из трёх стандартных значений (10; 5; 2,5 мм) так, чтобы он был меньше или равен толщине образца t согласно рис. 3.3, а) или его поперечному размеру – для высоких и узких деталей.

2) Определяют нагрузку в килограмм-силе по формуле, в зависимости от качества испытуемого материала:

$$P = AD^2, \quad (3.12)$$

где D – диаметр шарика, мм;

A – нагрузочный коэффициент. Выбирают его из трёх стандартных значений (30; 10; 2,5) в зависимости от ожидаемой твёрдости измеряемого образца.

Для чёрных металлов (железо, сталь, чугун) используют коэффициенты 30 или 10, для цветных (медь, алюминий, никель, свинец) – 10 или 2,5. Для чистых и легкоплавких металлов обычно берут меньшее значение A, а для сплавов – большее.

Полученное значение твёрдости записывают в виде: 125 НВ или более подробно – 125 НВ 10/3000/10. Здесь указаны условия измерения D = 10 мм, P = 3000 кгс, время нагружения 10 с.

По твёрдости НВ можно определить временное сопротивление разрыву (предел прочности)  $\sigma_b$  пластичных металлов и сплавов. При этом используют следующие эмпирические зависимости:

для стали с твёрдостью 90...175 НВ  $\sigma_b = 0,34 \text{ НВ};$

175...450 НВ  $\sigma_b = 0,35 \text{ НВ};$

для отожжённой меди, латуни, бронзы  $\sigma_b = 0,55 \text{ НВ};$

для наклённой меди, латуни, бронзы  $\sigma_b = 0,40 \text{ НВ};$

для отожжённого дуралюмина  $\sigma_b = 0,56 \text{ НВ};$

для дуралюмина после закалки и старения  $\sigma_b = 0,30 \text{ НВ}.$

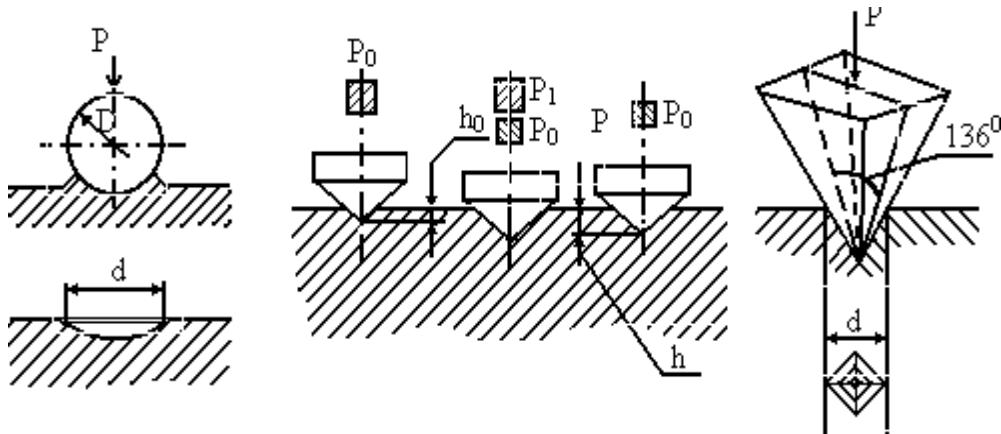
### Измерение твёрдости по Роквеллу

Метод Роквелла (ГОСТ 9013–59) предназначен для контроля высокопрочных материалов (высокоуглеродистая отожжённая сталь, закалённая сталь, белый чугун, высокопрочная бронза, сверхтвёрдые сплавы). Испытание проводят вдавливанием индентора под действием нагрузки в шлифованную поверхность образца. Мерой твёрдости в этом методе является глубина отпечатка D согласно рисунка 3.5.

Сначала прикладывают вручную предварительную нагрузку 10 кгс (100 Н) для устранения влияния упругой деформации и различной степени шероховатости, затем автоматически – основную (шкальную)  $P_{шк}.$

В методе Роквелла используют три шкалы, приведенные в таблице 3.3, применяемые для разных по твёрдости материалов. Они отличаются типом индентора (конус из алмаза или твёрдого сплава, стальной шарик диаметром 1,58 мм), нагрузкой и показаны на циферблате прибора разной окраской. Твёрдость по Роквеллу измеряется в условных единицах, соответствующих глубине отпечатка 2 мкм.

Примечание: метод Роквелла не применим для чистых металлов и пластичных сплавов.



$P_0$  – предварительное нагружение;  $P_1$  – основное нагружение;  $h$  – измерение углубления.

Рисунок 3.5 – Схема измерения твёрдости по Роквеллу

Таблица 3.3 – Выбор схемы измерения твёрдости по Роквеллу

Шкала	Наконечник	$P_{шк}$ , кгс	Назначение
HRC Черная	Конус	150	а) высокоуглеродистая отожженная сталь б) закаленная сталь
HRA Черная	Конус	60	а) высокотвердые сплавы б) тонкие твердые поверхностные слои
HRB Красная	Шарик	100	а) среднеуглеродистая отожженная сталь б) твердые цветные сплавы

Число твердости по Роквеллу обозначается HR с добавлением индекса шкалы, по которой проводилось испытание, например HRC.

Значения твёрдости по Роквеллу не связаны линейно с другими механическими свойствами материалов, но их можно пересчитать на твёрдость по Бринеллю с помощью эмпирических переводных таблиц.

### Методика выполнения

Требования к образцам для измерения твердости:

поверхность образца должна быть плоской, так как на выпуклой поверхности индентор вдавливается в материал на большую глубину, чем па плоской.

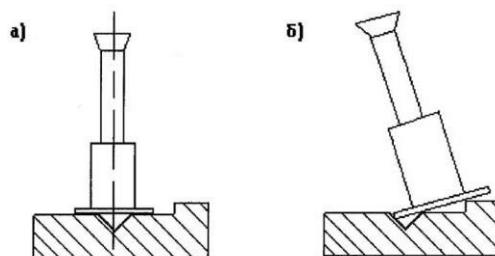
#### а) Требования к режиму нагружения:

- 1) нагрузку необходимо прикладывать плавно, чтобы исключить возникновение динамических эффектов;
- 2) время выдержки под нагрузкой не должно превышать определенной величины, чтобы избежать проявления эффектов ползучести;
- 3) минимальная толщина образца должна быть не меньше десятикратной глубины отпечатка, чтобы исключить продавливание образца насквозь;
- 4) расстояние до краев образца и между соседними отпечатками должно быть таким, чтобы не допустить влияния краевых эффектов и пластически деформированных зон вокруг отпечатков друг друга;
- 5) величина нагрузки должна быть такой, чтобы размер отпечатка превышал размер элементов структуры материала – зерен, колоний, включений фаз и других.

#### б) Измерение твердости по Бринеллю:

- 1) получить от преподавателя образец пластичного металла или сплава. Записать в отчёт материал и размеры образца.

- 2) произвести обмер толщины образца.
- 3) выбрать схему измерения твёрдости по Бринеллю (определить диаметр шарика  $D$  и нагрузку  $P$ ). Оправку с шариком выбранного диаметра вставить во втулку шпинделя и закрепить винтом;
- 4) установить на подвесе рычага грузы с выбранной нагрузкой (усилие от самой подвески 187,5 кгс);
- 5) поворотом маховика по часовой стрелке до упора стол поднять так, чтобы шарик коснулся поверхности образца;
- 6) отцентрировать образец (центр будущего отпечатка должен быть удалён от края образца и от других следов измерений не менее чем на  $4d$ ), после этого продолжать поднимать образец вместе с наконечником до упора;
- 7) затем нажатием кнопки «Пуск» включить нагружение, после выдержки происходит разгружение, затем прибор выключается;
- 8) поворотом маховика освободить образец.
- 9) после испытания надо измерить диаметр отпечатка с помощью лупы Бринелля (с точностью  $\pm 0,05$ мм).



а) правильное расположение лупы; б) неправильное расположение лупы.

Рисунок 3.6 – Положение лупы при измерении отпечатка

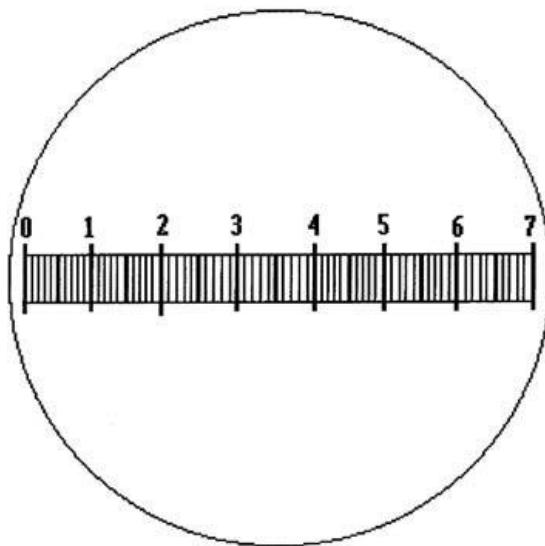


Рисунок 3.7 – Отсчёт по шкале лупы

Лупа имеет шкалу, изображенную на рисунке 3.7, малое деление которой равно 0,1 мм. Лупу нижней опорной частью плотно устанавливают согласно рисунка 3.6, а) на испытываемую поверхность образца над отпечатком. При этом окно в нижней части лупы обратить к свету. Поворачивая окуляр надо добиться, чтобы края отпечатка были резко очерчены и затем, передвигая лупу, совместить один край отпечатка с началом шкалы.

Если схема измерения была выбрана правильно, выполняется условие  $0,3D \leq d \leq 0,6D$ . В противном случае надо повторить измерение с другой нагрузкой.

в) Измерение твердости по Роквеллу:

- 1) получить от преподавателя образец высокопрочного материала для измерения твёрдости по Роквеллу. Записать в отчёт материал образца;
- 2) образец с плоскопараллельными опорной и измеряемой поверхностями поставить на столик изучаемым торцом вверх так, чтобы место укола было удалено от края и других отпечатков более чем на четыре диаметра;
- 3) включить прибор тумблером на правой панели. С помощью штурвала поднять столик с образцом, следя за малой стрелкой индикатора, пока она не установится точно на красной точке. При этом предварительная нагрузка составит 10 кгс;
- 4) вращая маховик, повернуть шкалу индикатора так, чтобы чёрный ноль установился на большой стрелке;
- 5) кратковременно нажать педаль пуска и произвести цикл «нагружение – разгружение». При этом большая стрелка поворачивается по циферблату против часовой стрелки (не больше одного оборота). Время приложения нагрузки 5 – 7 секунд. Затем большая стрелка повернётся обратно (окончание нагружения) и, остановившись, покажет число твёрдости по выбранной шкале Роквелла;
- 6) освободить образец, вращая штурвал столика против часовой стрелки (он при этом опускается);
- 7) считать число твердости с точностью до половины цены деления шкалы.

Примечание: если в процессе нагружения большая стрелка сделала больше одного оборота, измерение бракуется – образец слишком мягкий для выбранной шкалы.

**Рекомендации по обработке и оформлению полученных результатов**

- 1) Записать название, цель работы и оборудование.
- 2) Описать испытуемые образцы
- 3) Описать выбранную схему измерения твёрдости.
- 4) Зарисовать схему измерения отпечатка.
- 5) Определить среднее значение величины диаметра отпечатка по формуле (3.5).
- 6) Определить значение твёрдости по таблице 3.2.
- 7) Определить величину предела твердости металла по формуле (3.11).
- 8) Определить твердость по Бринеллю, соответствующую твердости по Роквеллу по таблице А.1 в приложении А.
- 9) Записать результаты в отчёт. Отчет оформить в виде таблицы 3.4.
- 10) После измерения твердости по Роквеллу записать результаты измерения в отчет.
- 11) Сравнить значения твёрдости материала, полученные разными методами.
- 12) Сделать выводы о проделанной работе.

Таблица 3.4 - Протокол испытаний на твердость по Бринеллю

№ образца	Материал	Толщина образца, мм	Диаметр шарика, мм	Нагрузка, кгс	Диаметр отпечатка, мм, в направлении			Твердость HB, кгс/мм <sup>2</sup>	Твердость HR	Предел прочности в, кгс/мм <sup>2</sup>
					a-a (d <sub>1</sub> )	b-b (d <sub>2</sub> )	d <sub>cp</sub>			

### **Вопросы для самоконтроля**

- 1) Что называется твердостью?
- 2) К каким методам относятся испытания на твердость?
- 3) В каких единицах измеряется твердость по Бринеллю, Роквеллу?
- 4) В чем состоят достоинства и недостатки обоих методов?
- 5) Как определяется твердость по Бринеллю, Роквеллу?
- 6) Почему используются разные инденторы?
- 7) Для чего применяется предварительное нагружение в методе Роквелла?
- 8) Как работает индикатор твердомера Роквелла?

Рекомендуемая литература [1], [2], [5], [7].

### **3.3 Лабораторная работа № 3**

**Тема:** Испытания металлов на ударную вязкость

**Цель работы:** Освоение методики определения ударной вязкости металлов.

#### **Материалы и оборудование:**

- 1) Маятниковый копер с переменным запасом энергии.
- 2) Стандартные металлические образцы для испытания.
- 3) Штангенциркуль.

#### **Краткие теоретические сведения**

При обработке металлов, при эксплуатации металлических деталей и изделий могут иметь место процессы пластической деформации, протекающие с различной скоростью. Одни детали или изделия могут деформироваться в течение ряда лет, другие – за малые доли секунды.

Для массовых динамических испытаний практически применяется один метод – ударный изгиб призматических образцов с надрезом. Испытания проводят на маятниковых копрах. В результате таких испытаний определяется ударная вязкость ( $a_H$ ), которая является характеристикой сопротивления материала воздействию динамических нагрузок.

Ударная вязкость – способность металла противостоять без разрушения действию ударной нагрузки.

Ударная вязкость определяется в Джоулях на метр квадратный ( $\text{Дж}/\text{м}^2$ ) по формуле:

$$a_H = \frac{A_H}{F}, \quad (3.13)$$

где  $A_H$  – работа, затраченная на деформацию и разрушение образца при ударном изгибе, Дж ( $\text{кгс}\cdot\text{м}$ );

$F$  - площадь поперечного сечения образца в месте надреза,  $\text{м}^2$  ( $\text{см}^2$ ).

Наибольшее распространение получили динамические испытания на изгиб, так как эти испытания достаточно просты, надежны, позволяют определять работу деформации и разрушения.

Для того чтобы сделать напряженное состояние более жестким для динамических испытаний на изгиб применяют образцы с надрезом (для испытаний хрупких материалов, например чугуна, могут применяться динамические испытания на ударную вязкость на образцах без надреза). Кроме того, применение образцов с надрезом значительно уменьшает энергию необходимую для их разрушения, что позволяет уменьшить размеры копра.

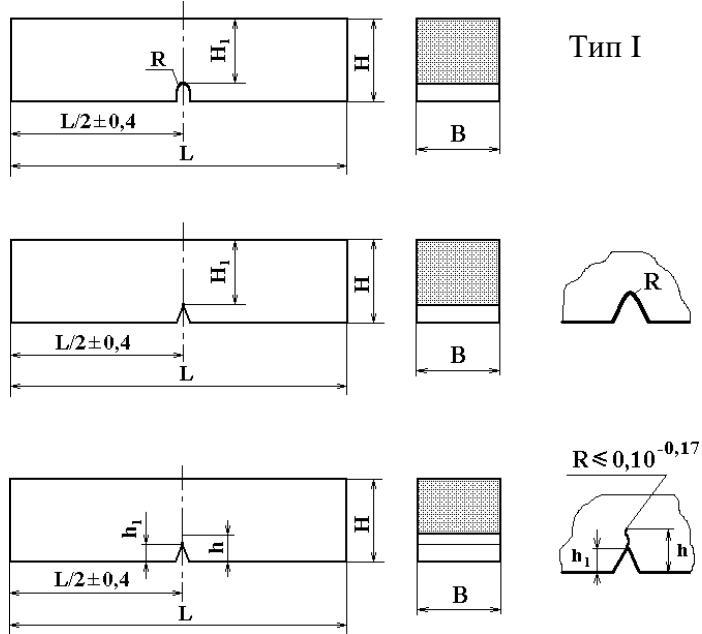


Рисунок 3.8 - Типы образцов для испытания на ударную вязкость

ГОСТ 9454-60 (испытания на ударную вязкость) рекомендует призматические образцы типов U, V, T, различающиеся видом надреза. Стандарт распространяется на черные, цветные металлы и сплавы и устанавливает метод испытания на ударный изгиб при температуре от  $-100^{\circ}\text{C}$  до  $1000^{\circ}\text{C}$ . Основным считается тип I на рисунке 3.8.

В зависимости от выбранного образца работу удара обозначают KU, KV или KT, где K - символ работы удара; U, V, T - вид концентратора.

Например: KV-40 50/2/2. Числа обозначают: 50 - максимальная энергия удара, Дж; 2 - глубина концентратора, мм; 2 - ширина образца, мм;  $-40$  - температура испытания,  $^{\circ}\text{C}$ .

Числа не указывают при определении работы удара на копре с максимальной энергией удара 300 Дж, глубине концентратора 2 мм (для U и V), 3 мм (для T), при ширине образцов 10 мм.

Ударную вязкость также обозначают сочетанием букв и цифр. Например, KCT+100 150/3/7.5, где КС - символ ударной вязкости; Т - вид концентратора; 150 - максимальная энергия удара маятника, Дж; 3 - глубина концентратора, мм; 7.5 - ширина образца, мм; +100 - температура испытания,  $^{\circ}\text{C}$ .

Желательно, чтобы образцы имели шлифованную поверхность, на них не должно быть трещин, заусенцев. Поверхность надреза не должна иметь рисунок, царапин и других дефектов, так как они могут, существенно исказить результаты испытаний, поскольку именно дно надреза обычно является местом начала образования трещины, развитие которой приводит к разрушению образца.

### Проведение испытаний

Для испытаний на ударную вязкость наибольшее распространение получили маятниковые копры. В данной работе испытания проводятся на маятниковом копре, изображенном на рисунке 3.9. Максимальная энергия маятника 30 кгс·м.

Основной частью копра является массивный маятник, который может качаться на оси. В поднятом положении маятник обладает определенным запасом энергии (в зависимости от высоты подъема). При падении маятник, проходя через вертикальное положение, ударяет по образцу и разрушает его, на что затрачивается часть энергии маятника. Оставшаяся часть энергии затрачивается на подъем маятника после удара. Зная высоту подъема маятника до и после удара и его вес, можно подсчитать работу, затраченную на разрушение образца.

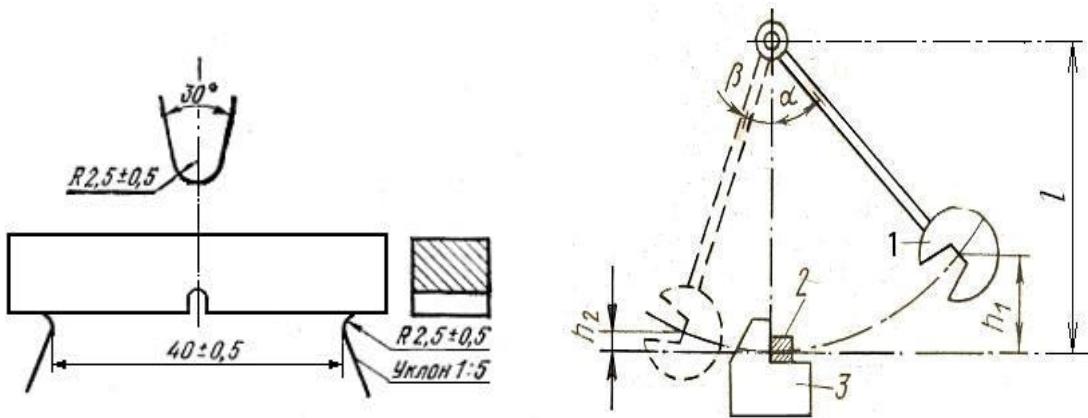


Рисунок 3.9 - Схема испытания на ударный изгиб

Работа в Джоулях, затраченная на разрушение образца, определяется по формуле:

$$A_H = P(h_1 - h_2), \quad (3.14)$$

где  $P$  – масса маятника, кг;

$h_1$  – высота подъема маятника до излома, м;

$h_2$  – высота подъема маятника после излома, м.

Высоту подъема маятника можно выразить через длину маятника и углы подъема до и после излома, в следующем виде:

$$A_H = Pl(\cos \beta - \cos \alpha), \quad (3.15)$$

где  $l$  – длина маятника, м;

$\alpha$  – угол подъема маятника до излома образца, в градусах;

$\beta$  – угол подъема маятника после излома образца, в градусах.

Величина  $Pl$ , выбитая на маятнике, называется запасом энергии маятника.

Площадь поперечного сечения образца  $F$  в метрах квадратных определяется по формуле:

$$F = B \times H, \quad (3.16)$$

где  $B$  – толщина образца, м;

$H$  – ширина образца, м.

### Методика выполнения

- 1) Получить у преподавателя образец из стали или цветных металлов.
- 2) Установить образец на опоры прибора надрезом в сторону движения маятника.  
Устанавливать образец с полностью поднятым маятником опасно.
- 3) Поднять маятник до высшего начального положения и закрепить его.
- 4) Определить начальный угол подъема маятника до разрушения.
- 5) Установить стрелку угломера в нулевое положение.
- 6) Освободить маятник и остановить его после разрушения образца.

Таблица 3.5 - Протокол испытаний на ударную вязкость

№ образца	Материал образца	Размеры поперечного сечения образца $a \times b$ , см	Площадь поперечного сечения образца, см <sup>2</sup>	Угол подъема маятника, градусы		Работа удара $A_h$ , Дж (кгс м)	Ударная вязкость $KC$ , Дж/м <sup>2</sup> (кгс м/см <sup>2</sup> )	Характеристика излома
				до излома образца	после излома образца			

**Рекомендации по обработке и оформлению полученных результатов**

- 1) Записать название, цель работы и оборудование.
- 2) Описать испытуемый образец
- 3) Перед испытаниями нужно замерить штангенциркулем с точностью до 0,1мм ширину и толщину образцов в месте надреза, так как при их изготовлении возможны отклонения от стандартных размеров. Результаты замеров занести в таблицу (протокол испытаний).
- 4) Определить площадь сечения образца в месте надреза.
- 5) Зарисовать схему испытания на ударный изгиб.
- 6) Определить запас энергии маятника и величину удара.
- 7) Вычислить величину ударной вязкости.
- 8) Составить и оформить отчет о проделанной работе и заполнить таблицу 3.5.
- 9) Сделать выводы о проделанной работе.

**Вопросы для самоконтроля**

- 1) К какой группе механических испытаний относится испытание на ударную вязкость?
- 2) Как называется оборудование для испытания на ударную вязкость?
- 3) Что представляет собой образец для испытания на ударную вязкость?
- 4) Образцы каких металлов испытывают на ударную вязкость в лабораторной работе?
- 5) Запасом какой энергии обладает маятник, закрепленный в верхнем начальном положении? Как определить значение этого запаса энергии?
- 6) Что называется вязкостью металла?
- 7) Что называется хрупкостью металла?
- 8) Что называется ударной вязкостью металла?
- 9) В каких единицах измеряется ударная вязкость?
- 10) От чего зависит величина работы копра при испытании образца на ударную вязкость?

Рекомендуемая литература [1], [2], [5], [7].

### 3.4 Лабораторная работа №4

## Тема: Структура и свойства углеродистой стали по диаграмме Fe-C

## Цель работы:

- 1) Приобретение практических навыков определения микроструктуры углеродистых незакаленных сталей с помощью микроскопического анализа.
  - 2) Определение ориентировочного состава и марки сталей.

## **Материалы и оборудование:**

- 1) Оптический микроскоп МИМ-7.
  - 2) Микрошлифы углеродистых сталей.

## Краткие теоретические сведения

Под структурой металлов и сплавов понимается их строение, выявляемое и изучаемое современными различными методами исследования и, в частности, методом микроскопического анализа.

Микроскопическим анализом (или микроанализом) называется исследование строения металлов и сплавов с помощью специальных микроскопов (оптических или электронных) при увеличении от 50 до 100000 раз на специально приготовленных объектах — микрошлифах, репликах (оттисках) или тонких фольгах.

Структурные составляющие - это части структуры, имеющие при рассмотрении под микроскопом одинаковое строение с характерными присущими особенностями. Например, дозвтектоидная углеродистая сталь в отожженном состоянии имеет все структурные составляющие: феррит и перлит (смотри ниже).

## Микроструктура углеродистых сталей.

Сталью называют сплавы железа с углеродом при содержании углерода до 2,14 %. Стали углеродистые промышленного производства - сложные по химическому составу сплавы. Кроме углерода в их состав входит ряд примесей.

В настоящей работе студенты знакомятся с микроструктурой углеродистых незакаленных (т.е. медленно охлажденных) сталей, которая определяется в своей основе левой «стальной» частью диаграммы - состояния железо - цементит изображенной на рисунке 3.10 и зависит от содержания углерода.

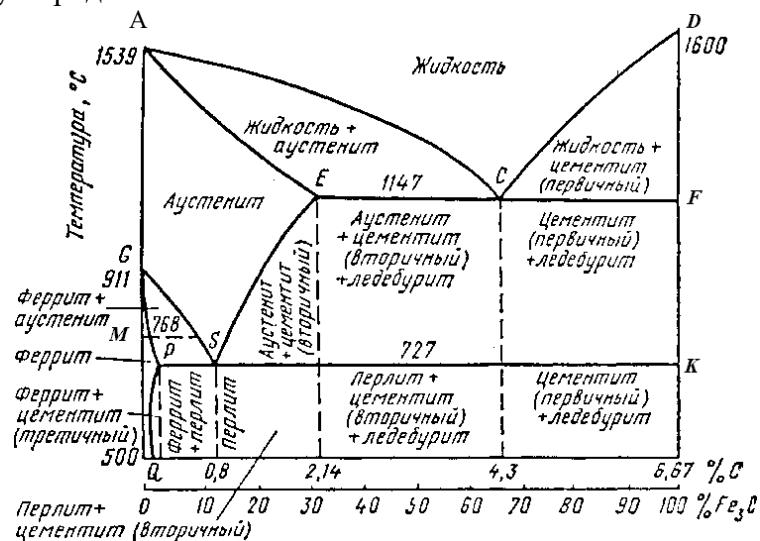


Рисунок 3.10 - Диаграмма железо – цементит

При охлаждении большинства сталей кристаллизация жидкой фазы заканчивается образованием аустенита.

Аустенит (область AESG на диаграмме) - твердый раствор углерода в  $\gamma$ -железе, с максимальной растворимостью углерода 2,14 % при температуре 1147 $^{\circ}$ C (точка Е). Со снижением температуры растворимость углерода в  $\gamma$ -железе уменьшается (линия ES) и при температуре 727 $^{\circ}$ C составляет 0,8 % (точка S). Аустенит обозначают А он имеет твердость HB = 1600 - 2000 МПа. При дальнейшем охлаждении:

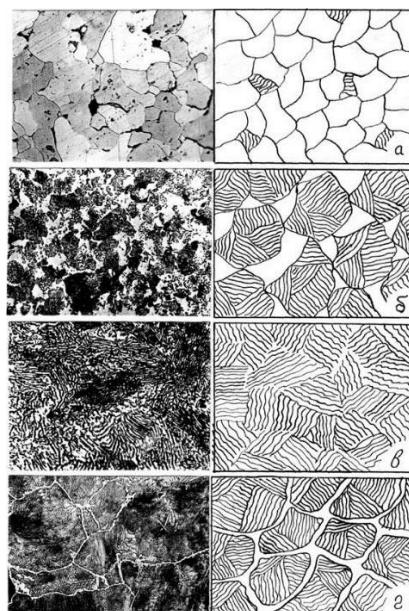
- доэвтектоидных сталей (< 0,8 % углерода) от линии GS до GPS происходит превращение аустенита в феррит;
- заэвтектоидных сталей (> 0,8 % и < 2,14 % углерода) от линии ES до SK из аустенита выделяется цементит;
- всех сталей ниже линии PSK происходит превращение аустенита в перлит.

Феррит (обозначают Ф) — твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе. Феррит может быть высокотемпературный, с максимальной растворимостью углерода 0,1 % при температуре 1499 $^{\circ}$ C, и низкотемпературный, с максимальной растворимостью углерода 0,02 % при температуре 727 $^{\circ}$ C и растворимостью менее 0,01 % при температуре ниже 600 $^{\circ}$ C. Феррит имеет хорошие пластические свойства ( $\delta = 40\%$ ), но невысокие прочность и твердость (HB 800 - 1000 МПа).

Цементит (обозначают Ц) - химическое соединение железа с углеродом железа -  $Fe_3C$  с содержанием углерода - 6,67 % (6,69 %). Он имеет сложную ромбическую решетку. Цементит обладает высокой твердостью (HB = 8000 МПа), хрупок и выступает в сплавах, как отдельная фаза. Цементит может быть первичный, кристаллизующийся из расплава; вторичный, выделяющийся из аустенита; третичный, выделяющийся из феррита.

Перлит (обозначают П) - механическая смесь (эвтектоид) феррита с цементитом, образующаяся при распаде аустенита с содержанием углерода 0,8 % (точно 0,81 %) при температуре 727 $^{\circ}$ C. Структура перлита представляет собой эвтектоидную смесь тонких пластинок феррита и цементита ( $\Phi + \text{Ц}$ ) или округлых зерен цементита в ферритной основе. Твердость перлита близка к твердости аустенита (HB 2000 МПа), а  $\delta = 15\%$ .

Микроструктура сталей с очень низким содержанием углерода состоит из зерен феррита показанных на рисунке 3.10, а. Зерна феррита после травления остаются светлыми. Границы между зернами растравливаются в узкие желобки и выглядят на шлифе в виде темных линий.



а- доэвтектоидная сталь (0,1%С); б - доэвтектоидная сталь (0,6%С);  
в - эвтектоидная сталь (0,8%С); г - заэвтектоидная сталь (1,2%С).

### Рисунок 3.10 – Микроструктура углеродистой стали

Микроструктура эвтектоидной стали (0,8 % С) состоит из зерен только перлита, представляющего собой механическую смесь феррита и цементита. При небольших увеличениях зерна перлита окрашены в темные тона серый или серо-бурый, а пластинки цементита и феррита в них неразличимы.

При средних и больших увеличениях зерна перлита после травления кажутся состоящими из светлых и темных полос как на рисунке 3.10, в. Наличие этих полос объясняется тем, что пластинки феррита растворяются в кислоте быстрее пластинок цементита, вследствие чего получается микрорельеф.

Свет, падающий на поверхность микрошлифа, дает тени от выступающих пластинок цементита, отбрасываемые на углубленные пластинки феррита.

Микроструктура доэвтектоидных сталей, содержащих углерод в количестве от 0,02% до 0,8 %, состоит из феррита (0,006 % С) и перлита (0,8 % С). С увеличением содержания углерода в стали в ее структуре увеличивается количество перлита и соответственно уменьшается количество феррита. На рисунке 3.10, б показана микроструктура, стали с 0,6 %С. Светлые зерна - феррит, темные - перлит.

По микроструктуре доэвтектоидной стали можно приблизительно определить содержание в ней углерода, для чего нужно ориентировочно определить площадь (в процентах), занимаемую перлитом и ферритом.

В связи с тем, что в феррите растворено небольшое количество углерода, практически можно считать, что в доэвтектоидной стали весь углерод содержится в перлите.

Тогда содержание углерода в стали можно определить по формуле:

$$C = \frac{F_n \times 0,8}{100}, \quad (3.17)$$

где С – количество углерода, %;

$F_n$  – площадь, занимаемая перлитом, %.

Предположим, что 20% всей площади занято ферритом, а 80% перлитом. Содержание углерода тогда будет равно, согласно формуле (3.17):

$$C = \frac{80 \times 0,8}{100} = 0,64\%$$

Микроструктура заэвтектоидных сталей (0,8 ... 2,14 % С) состоит из перлита и вторичного цементита, который можно увидеть на рисунке 3.10, г. Вторичный цементит различим в виде белой сетки, окружающей зерна перлита. Перлит и цементит содержат строго определенное количество углерода - 0,8 и 6,67 % соответственно. Определив количество той или иной структурной составляющей в структуре углеродистой стали, можно легко определить приблизительное содержание углерода в стали.

При определении содержания углерода в заэвтектоидной стали необходимо учитывать содержание углерода не только в перлите, но и в цементите. Содержание углерода, в процентах, в заэвтектоидной стали подсчитывается по формуле:

$$C = 0,8x + 6,67 - 100 - x, \quad (3.18)$$

где  $x$  - доля площади, занятая в структуре перлитом, %:

(100 -  $x$ ) - доля площади, занятая в структуре цементитом.

Феррит - очень пластичная, но малопрочная фаза, цементит очень тверд и статически прочен, но практически непластичен. Поэтому увеличение содержания углерода в стали (или,

что-то же, увеличение содержания перлита и цементита) приводит к повышению прочности и твердости стали и уменьшению её пластичности.

Кроме того, в зависимости от вида продукции и способа ее изготовления предусмотрены государственные стандарты и технические условия на отдельные виды продукции.

По ГОСТ 380-2005 изготавливают двадцать марок, стали углеродистой обыкновенного качества, имеющих широкое применение в машиностроении, строительстве и т.д.

По химическому составу выделяют стали низкоуглеродистые, где содержание углерода меньше или равно 0,3%, среднеуглеродистые, где содержание углерода от 0,3% до 0,7% и высокоуглеродистые, с содержанием углерода больше 0,7%.

По качеству стали классифицируют на стали обыкновенного качества и качественные. Под качеством стали имеют ввиду совокупность свойств, определяемых металлургическим процессом ее производства. Стали обыкновенного качества содержат вредных примесей до 0,05% серы и 0,045 % фосфора, качественные - не более 0,04% серы и 0,035 % фосфора.

При классификации по структуре учитывают структуру в отожженном (равновесном) состоянии. Углеродистые стали разделяют на три класса - доэвтектоидные (имеющие перлито-ферритную структуру), эвтектоидные (структура - перлит), заэвтектоидные (имеющие перлито-цементитную структуру).

По назначению углеродистые стали делятся на конструкционные, используемые для изготовления деталей машин, и инструментальные.

Углеродистую инструментальную сталь применяют для изготовления режущего инструмента, работающего при малых скоростях резания и не подвергаемого существенному разогреву в процессе эксплуатации.

### **Методика выполнения**

Для выполнения работы каждому студенту предоставляется микроскоп МИМ-7 и набор шлифов углеродистых незакаленных сталей с различным содержанием углерода. Необходимо:

- 1) включить микроскоп в сеть;
- 2) просмотреть под микроскопом все шлифы набора;
- 3) выключить микроскоп из сети;
- 4) приступить к оформлению отчета.

### **Рекомендации по обработке и оформлению полученных результатов**

- 1) Записать название, цель работы и оборудование.
- 2) Зарисовать их микроструктуру и стрелками указать на каждой зарисовке структурные составляющие полученных шлифов.
- 3) Определить количество структурных составляющих в образцах, подсчитать содержание углерода по формуле (3.17) или (3.18), установить марку стали каждого образца.
- 4) Оформить отчет по работе.
- 5) Сделать выводы о проделанной работе.

### **Вопросы для самоконтроля**

- 1) Что такое сталь?
- 2) Дать определение всем структурным составляющим железоуглеродистых сплавов.
- 3) Каковы основные критические точки у сталей?
- 4) Какие элементы в составе стали кроме Fe и C являются постоянными? Какие элементы в составе стали являются вредными?

Рекомендуемая литература [1], [3], [7].

### 3.5 Лабораторная работа № 5

**Тема:** Структура и свойства чугунов по диаграмме Fe-C

**Цель работы:**

- 1 Изучить микроструктуры белых, серых, высокопрочных и ковких чугунов
- 2 Установить взаимосвязь между их химическим составом, строением и свойствами.

**Материалы и оборудование:**

- 1 Оптический микроскоп МИМ-7
- 2 Микрошлифы чугунов.

**Краткие теоретические сведения**

Чугунами называются литьевые железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода от 2,14% до 6,67 %. В технических чугунах кроме углерода содержится кремния до 4...8%, марганца до 2%, серы до 0,15% и фосфора до 0,3%. Чугуны затвердевают с образованием эвтектики, называемой ледебуритом.

Чугун отличается от стали составом (более высоким содержанием углерода), лучшими литьевыми качествами, малой величиной пластической деформации. Они дешевле стали и не обрабатываются давлением из-за низкой пластичности.

Благодаря сочетанию высоких литьевых свойств (жидкотекучести, температуры плавления), достаточной прочности и износостойкости, а также относительной дешевизне чугуны получили широкое распространение в машиностроении. Их используют для производства качественных отливок сложной формы.

В зависимости от того, в какой форме присутствует углерод в этих сплавах, различают белые, серые, высокопрочные и ковкие чугуны.

**Белый чугун**

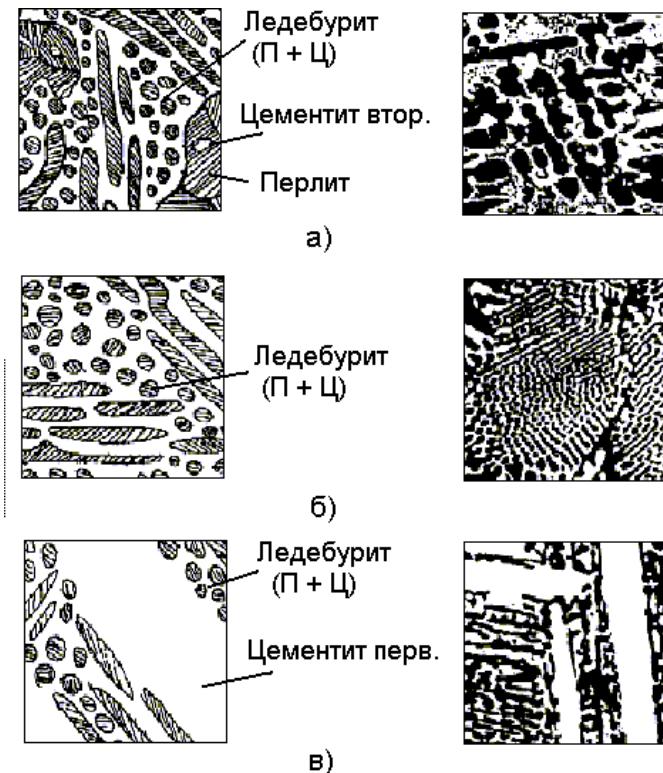
Белыми называют чугуны, у которых весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита.

Фазово-структурные превращения и микроструктура белых чугунов описываются диаграммой состояния Fe-Fe<sub>3</sub>C, согласно которой они подразделяются на доэвтектические (углерода меньше 4,3 %), эвтектический (содержание углерода равно 4,3 %), и заэвтектические (углерода больше 4,3 %). При цеховой температуре структура белого доэвтектического чугуна показана на рисунке 3.11, а и состоит из ледебурита, перлита и вторичного цементита.

Из-за большого количества цементита белые чугуны тверды (НВ 4500 -5500 МПа), хрупки и для изготовления деталей машин почти не используются. Вследствие высокой твердости они хорошо сопротивляются износу, но очень плохо обрабатываются резанием, поэтому их применение ограничивается изготовлением лишь некоторых литых изделий, работающих на истирание и обычно не требующих дополнительной механической обработки.

Ограничено применение имеют отбеленные чугуны (отливки из серого чугуна с поверхностным слоем белого чугуна). Из них изготавливают прокатные валки, лемеха плугов, тормозные колодки, вагонные колеса и другие детали, работающие в условиях износа. Белый чугун используется также как передельный для получения с помощью графитизирующего отжига ковкого чугуна.

На рисунке 3.11 показаны микроструктуры белого доэвтектического, эвтектического и заэвтектического чугунов.



- а) микроструктура белого доэвтектического чугуна и ее схематическое изображение;  
 б) микроструктура ледебурита и ее схематическое изображение;  
 в) микроструктура белого заэвтектического чугуна и ее схематическое изображение.

Рисунок 3.11 - Микроструктуры белых чугунов

### Серый чугун

Серыми называют чугуны, у которых весь углерод или часть его присутствует в свободном состоянии в форме графита. Термины: белый и серый чугуны связаны с видом излома, определяемым наличием либо светлых кристаллов цементита, или темных кристаллов графита. Графит имеет практически нулевую прочность и пластичность. Он обеспечивает пониженную твердость, хорошую обрабатываемость резанием, высокие антифрикционные свойства вследствие низкого коэффициента трения, а также способствует гашению вибрации и резонансных колебаний. Кроме того, графит способствует при охлаждении отливки некоторому увеличению ее объема, чем обеспечивается хорошее заполнение формы.

Обыкновенный серый чугун - это сплав сложного состава. Химический состав серого чугуна колеблется в пределах: 3,2 - 3,8% C, 1 - 5 % Si, 0,5 - 0,9 % Mn, 0,2 - 0,4 % P, до 0,12 % S. Факторами, способствующими графитизации (выделению углерода в свободном состоянии), являются низкая скорость охлаждения и наличие в химическом составе чугуна графитизирующих элементов Si, Ni, Cu (препятствуют графитизации Mn, S, Cr, W).

Практически, изменяя в чугуне содержание кремния при постоянном количестве марганца, получают различную степень графитизации.

На рисунке 3.12 показана микроструктура обыкновенного серого чугуна на феррито-перлитной основе.



Рисунок 3.12 – Микроструктура серого чугуна на феррито-перлитной основе

На свойства серого чугуна оказывают большое влияние вид графитовых включений, их размеры, характер металлической основы. От формы и количества графита зависит прочность и пластичность чугуна (от 0,5% относительного удлинения при пластинчатой форме графита до 20% - при шаровидной форме). Вытянутые пластинки графита фактически являются трещинами в металлической основе и сильными концентраторами напряжений, на их концах при приложении нагрузки напряжения быстро достигают разрушающих величин. Твердость и износостойкость чугунов растет с увеличением перлита в металлической основе серого чугуна (различают чугуны с ферритной, феррито-перлитной и перлитной основой).

Обыкновенный серый чугун является одним из важнейших литейных машиностроительных материалов и характеризуется высокими литейными и удовлетворительными механическими свойствами, хорошей обрабатываемостью резанием, высокой износостойкостью, нечувствительностью к поверхностным дефектам.

Ферритные и феррито-перлитные серые чугуны СЧ10, СЧ15, СЧ18 используют для слабо- и средненагруженных деталей: крышки, фланцы, маховики, корпуса редукторов и др.

Перлитные серые чугуны СЧ21, СЧ25 применяют для деталей, работающих при повышенных статических и динамических нагрузках: блоки цилиндров, картеры двигателей, поршни цилиндров, станины станков и пр.

Перлитные модифицированные серые чугуны СЧ30, СЧ35, СЧ40, СЧ45 обладают наиболее высокими механическими свойствами. Их применяют при высоких нагрузках: зубчатые колеса, гильзы двигателей, шпинNELи, распределительные валы и пр. Структура модифицированных чугунов - перлитная основа с небольшим количеством изолированных пластинок графита.

### Высокопрочный чугун

Высокопрочными называют чугуны, в которых графит имеет шаровидную форму. Их получают модифицированием магнием, церием, иттрием, которые вводят в жидкий чугун в количестве 0,02% - 0,08%. По структуре металлической основы высокопрочный чугун может быть ферритным (допускается до 20% перлита) или перлитным (допускается до 20% феррита). Шаровидный графит является более слабым концентратором напряжений, чем пластинчатый графит, поэтому меньше снижает механические свойства чугуна (см. рисунок 3.13). Высокопрочный чугун обладает более высокой прочностью и некоторой пластичностью.

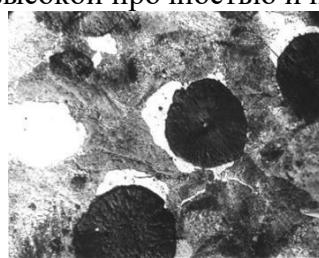


Рисунок 3.13 – Микроструктура высокопрочного чугуна

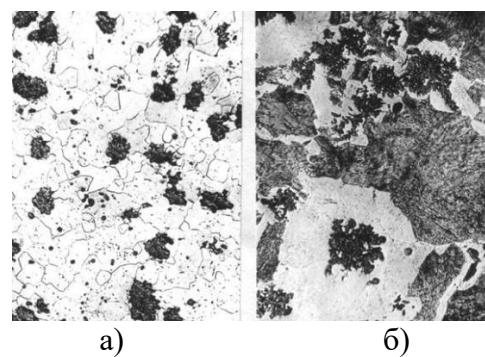
Обычный состав высокопрочного чугуна: от 2,7% до 3,8% С; от 1,6% до 2,7% Si; от 0,2% до 0,7% Mn; меньше или равно 0,02% S; меньше или равно 0,1% P.

Из высокопрочных чугунов изготавливают прокатные валки, кузнечно-прессовое оборудование, корпуса паровых турбин, коленчатые валы и другие ответственные детали, работающие при высоких циклических нагрузках и в условиях изнашивания.

### Ковкий чугун

Ковкими называют чугуны, в которых графит имеет хлопьевидную форму. Их получают путем специального графитизирующего отжига (томления) отливок из белых доэвтектических чугунов.

Обычный состав ковкого чугуна 2,4-2,8 %С; 0,8-1,4%Si; ≤1% Mn; ≤0,1%S; ≤ 0,2 % P. Структура - ферритная или феррито-перлитная (рисунок 3.5.4).



а) – ферритная основа, б) – феррито-перлитная основа.

Рисунок 3.14 - Микроструктура ковкого чугуна

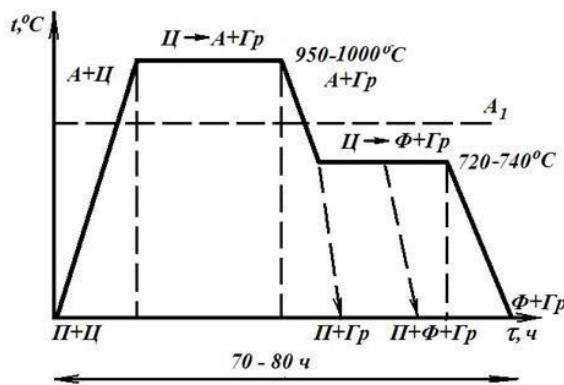


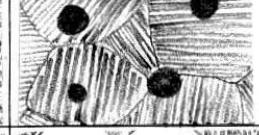
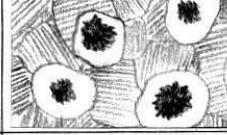
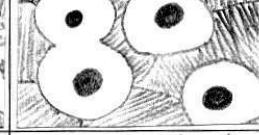
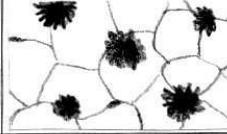
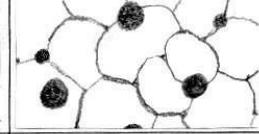
Рисунок 3.15 - Схема отжига белого чугуна на ковкий

Отсутствие литейных напряжений, снятых во время отжига, благоприятная форма и изолированность графитных включений обуславливают высокие механические свойства ковких чугунов.

Из ковкого чугуна изготавливают детали высокой прочности, работающие в тяжелых условиях износа, способные воспринимать ударные и знакопеременные нагрузки, в том числе клапаны, муфты, картеры редукторов, коленчатые валы и другое.

В таблице 3.6 показаны схематические структуры рассматриваемых чугунов.

Таблица 3.6 – Схемы структур чугунов в зависимости от формы графита

Структура металлической основы (твёрдость)	Тип чугуна и форма графита		
	Серый с пластинчатым графитом	Ковкий с хлопьевидным графитом	Высокопрочный с шаровидным графитом
Перлит (250 НВ)			
Перлит и феррит (200 НВ)			
Феррит (150 НВ)			
$\delta, \%$	0,2-0,5	5-10	10-15

### Методика выполнения

Для выполнения работы каждому студенту предоставляется микроскоп МИМ-7 и набор шлифов чугунов. Необходимо:

- 1) включить микроскоп в сеть;
- 2) просмотреть под микроскопом все шлифы набора;
- 3) выключить микроскоп из сети;
- 4) приступить к оформлению отчета.

### Рекомендации по обработке и оформлению полученных результатов

- 1) Записать название, цель работы и оборудование.
- 2) Зарисовать участок диаграммы состояния Fe - C (чугуны).
- 3) Зарисовать схему отжига белого чугуна на ковкий чугун.
- 4) Зарисовать схему микроструктуры чугунов.
- 5) Сделать выводы о проделанной работе.

### Вопросы для самоконтроля

- 1) Что такое чугун?
- 2) Что такое ледебурит, цементит, графит?
- 3) Как называются графитизированные чугуны по стальной основе?
- 4) Какую форму графита имеют серые чугуны?
- 5) Какую форму графита имеют высокопрочные чугуны?
- 6) Какую форму графита имеют ковкие чугуны?
- 7) Какими характерными свойствами обладают чугуны?
- 8) Для чего используются белые чугуны?
- 9) Дать характеристику чугуна на рисунке 3.16.

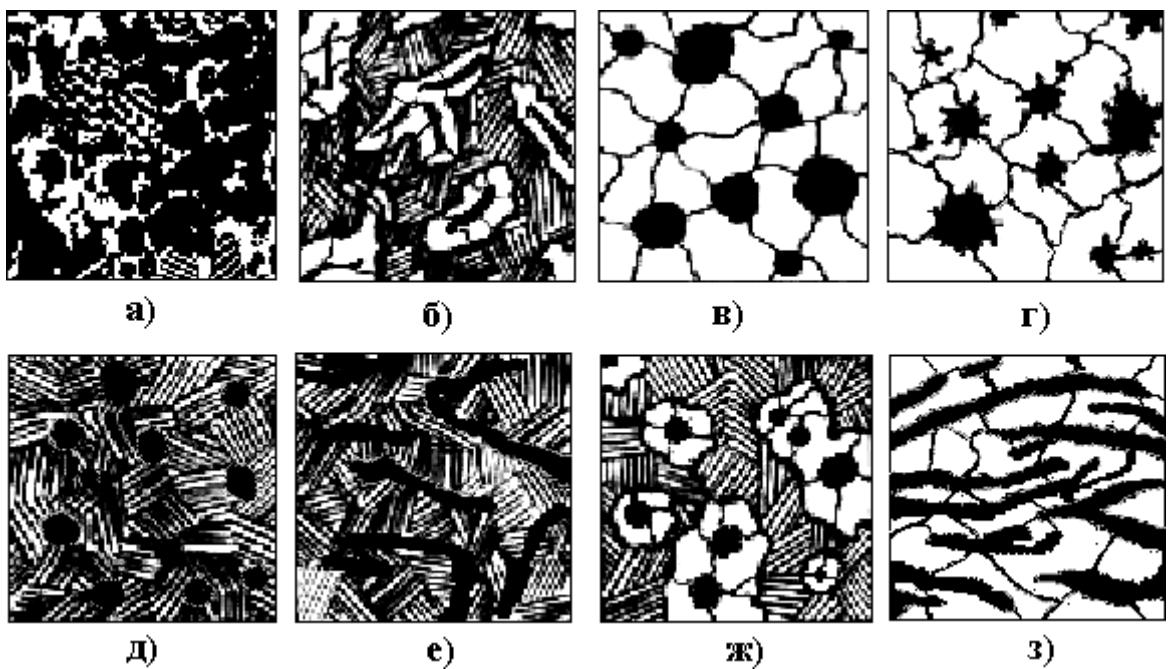


Рисунок 3.16 – Варианты структур для ответов на вопросы для самоконтроля

Рекомендуемая литература [1], [3], [7].

### 3.6 Лабораторная работа № 6

**Тема:** Изучение микроструктуры легированных сталей

**Цель работы:**

- 1) Ознакомление с методами микроанализа структуры металлов и сплавов.
- 2) Изучение структуры чистых металлов и различных типов твёрдых сплавов.

**Материалы и оборудование:**

- 1) Оптический микроскоп МИМ-7
- 2) Металлографические шлифы.

#### Краткие теоретические сведения

Из 106 элементов периодической системы Д.И. Менделеева 82 металла, поэтому изучение их структуры и свойств так важно для практических целей в машиностроении.

Металлы обычно являются кристаллическими телами или кристаллами. Кристаллом называют бесконечное упорядоченное расположение атомов в пространстве. Все кристаллические материалы обладают анизотропией – зависимостью свойств материала от направления в нём. Это объясняется тем, что в каждом направлении в кристалле расстояние между атомами или молекулами строго определённое, а значит и силы взаимодействия между ними в каждом случае различные.

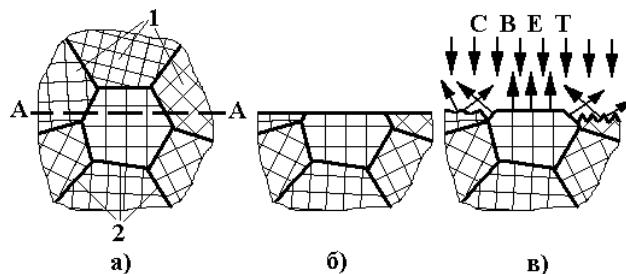
Под микроанализом понимают изучение строения металлов и сплавов с помощью металлографического микроскопа при увеличении в 50—2000 раз.

При помощи микроанализа определяют:

- 1) форму и размер кристаллических зерен, из которых состоит металл или сплав;
- 2) изменение внутреннего строения сплава, происходящее под влиянием различных режимов термической и химико-термической обработки, а также после внешнего механического воздействия на сплав;

- 3) микропороки металла — микротрещины, раковины и тому подобное;
- 4) неметаллические включения — сульфиды, оксиды и другие;
- 5) химический состав некоторых структурных составляющих по их характерной форме и характерному окрашиванию специальными реактивами и в некоторых случаях приблизительно определяют химический состав изучаемого сплава.

Реальные кристаллы содержат большое количество нарушений в упорядоченном расположении атомов. Поэтому чаще встречаются не моно-, а поликристаллы (рисунок 3.4.1, а), которые состоят из большого количества зёрен, в которых одна и та же кристаллическая решётка (показана штриховкой) ориентирована в пространстве по-разному.



а – схема поликристалла (1 – зёра или кристаллиты; 2 – границы зёрен);  
 б – полированный шлиф; в – отражение света от травленого шлифа.

Рисунок 3.17 - Микроанализ поликристаллического материала

Для проведения микроанализа образец разрезают (плоскость разреза А–А) и на одной из его половин шлифовкой и полировкой приготавливают шлиф как показано на рисунке 3.17, б. Его поверхность гладкая и чаще всего не показывает структуры металла. Заточенный образец шлифуется на шлифовальной бумаге, до полного удаления рисок, с постепенным переходом от бумаги с крупной зернистостью до бумаги микронной зернистостью. При переходе с одного номера зернистости на другой необходимо очищать образец от абразива и менять направление шлифовки на 90°. Шлифовка образцов производиться либо вручную, когда шлифовальная бумага кладется на ровные плоские плиты (стекло, мрамор), либо на специальных шлифовальных станках, с закреплением шлифовальной бумаги на вращающихся дисках или лентах. Для шлифовки образцов, кроме шлифовальной бумаги можно применять специальные пасты.

Предварительное полирование проводят на специальном полировальном станке с кругом диаметром 200-250 миллиметров, обтянутым грубым сукном, со скоростью 400-600 об/мин. Сукно смачивается полировальной жидкостью, которая составляется путем смешения окиси хрома или окиси алюминия в литре воды. Окончательное полирование ведется на тонком мягким сукне (фетре), смачиваемом тонкой взвесью тех же окислов, до полного уничтожения рисок и получения зеркальной поверхности, что занимает при хорошо отшлифованной поверхности 5-7 минут. После полирования шлиф промывают водой, затем спиртом и сушат на воздухе или, прикладывая его к фильтровальной бумаге.

Для выявления структуры шлиф подвергают действию специального реактива – травителя, состав которого зависит от изучаемого материала и цели металлографического исследования. Обычно травители – растворы кислот, щёлочей или солей.

В процессе травления скорость и характер растворения разных зёрен шлифа будет разной из-за анизотропии, так как они выходят на поверхность шлифа разными направлениями.

Границы зёрен – это дефект кристалла, где атомы более активны и легче переходят в раствор. Поэтому на границах зёрен в поликристалле шлиф будет растворяться сильнее.

При освещении травленой поверхности лучи света будут по-разному отражаться от её рельефа. Поэтому при наблюдении шлифа в отражённых лучах будут видны светлые и тёмные зёра, отделённые друг от друга темными полосами границ как показано на рисунке 3.18.

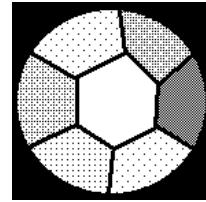
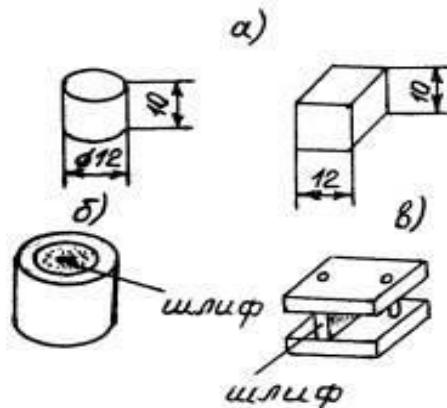


Рисунок 3.18 - Структура поликристалла однофазного сплава

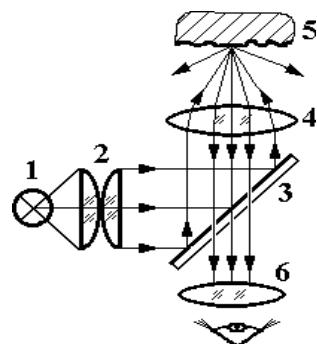
Удобной является цилиндрическая форма образца 10-12 миллиметров с высотой 0,7-0,8 диаметра, например диаметром 12 миллиметров и высотой 10 миллиметров. Удобны также прямоугольные образцы, например, с площадью основания  $12 \times 12$  миллиметров и высотой 10 миллиметров. Образцы небольшого сечения (проволока, листы и другое) монтируют заливкой в специальные оправки. Кроме заливки в оправку, образцы малого размера можно монтировать в зажиме или запрессовать в пластмассу.



а – нормальные размеры шлифов; б – шлиф, залитый легкоплавким сплавом; в – шлиф, зажатый в струбцину

Рисунок 3.19 - Металлографические шлифы

Чаще всего размер зёрен в современных металлах и сплавах не превышает 10...100 микрометров (0,01...0,10 мм), что гораздо меньше разрешающей способности человеческого глаза (0,3 миллиметра). Поэтому металлографический анализ обычно проводят с помощью оптического микроскопа, схема которого представлена на рисунке 3.20.



1 – источник света; 2 – конденсор; 3 – полупрозрачное зеркало; 4 – объектив;  
5 – объект; 6 – окуляр проецирует его в глаз оператора

Рисунок 3.20 - Схема микроскопа на отражение

Свет от лампы 1 попадает в конденсор 2, формирующий яркий равномерный пучок, который отражается от полупрозрачного зеркала 3, проходит через объектив 4 и фокусируется

на объекте 5. Полученное изображение поверхности (в отражённых лучах) увеличивается объективом, проходит через полупрозрачное зеркало и попадает в окуляр 6. Окуляр дополнительно увеличивает изображение и проецирует его в глаз.

Увеличение микроскопа можно определить по формуле:

$$M_M = M_{об} \times M_{ок},$$

(3.19)

где  $M_{об}$  и  $M_{ок}$  – увеличение объектива и окуляра.

Для получения изображения необходимо установить изучаемый шлиф на предметный стол микроскопа полированной поверхностью в сторону объектива. Включить микроскоп тумблером на блоке питания. Посмотреть в окуляр микроскопа и, вращая рукоятку грубой настройки резкости микроскопа, приблизить объектив к шлифу до появления изображения. Получить резкое изображение с помощью рукоятки тонкой настройки. При изучении шлифа перемещать образец с помощью винтов предметного стола.

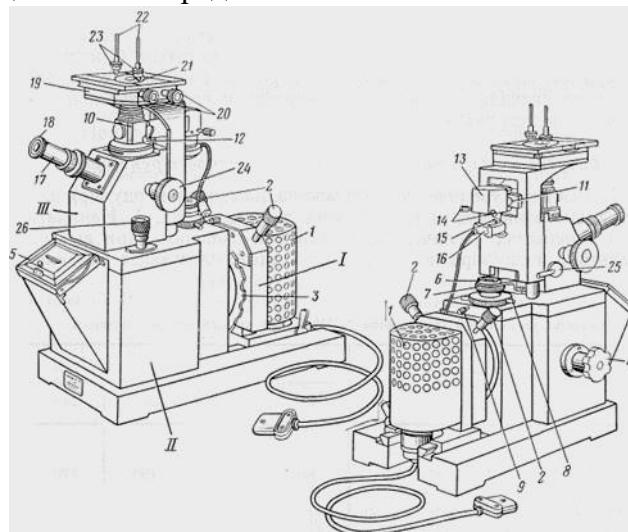


Рисунок 3.21 - Общий вид микроскопа МИМ-7

Микроскоп МИМ-7, изображенный на рисунке 3.21 состоит из трех основных частей: осветителя, корпуса и верхней части.

Осветитель I имеет фонарь 1, внутри кожуха которого находится лампа. Центровочные винты 2 служат для совмещения центра нити лампы с оптической осью коллектора.

Корпус II микроскопа. В корпусе микроскопа находятся: диск 3 с набором светофильтров; рукоятка 4 переключения фотоокуляров; посадочное устройство для рамки 5 с матовым стеклом или кассеты с фотопластинкой 9×12 мм; узел апертурной диафрагмы, укрепленный под оправой осветительной линзы 6; кольцо с накаткой 7, служащее для изменения диаметра диафрагмы; винт 8, вращением которого смещается диафрагма для создания косого освещения; винт 9 для фиксации поворота апертурной диафрагмы.

Верхняя часть III микроскопа имеет следующие детали:

1. Иллюминаторный тубус 10, в верхней части которого расположено посадочное отверстие под объектив. На патрубке иллюминаторного тубуса расположена рамка с линзами 11 для работы в светлом и темном поле и рукоятка 12 для включения диафрагмы 24 при работе в темном поле; под кожухом 13 – пентапризма. В нижней части кожуха 13 расположены центрировочные винты 14 полевой диафрагмы, диаметр которой изменяют при помощи поводка 15. Под конусом полевой диафрагмы находится фотозатвор 16.

2. Визуальный (зрительный) тубус 17, в отверстие которого вставляется окуляр 18. При визуальном наблюдении тубус вдвигают до упора, а при фотографировании выдвигают его до отказа.

3. Предметный столик 19, который при помощи винтов 20 может передвигаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях. В центре предметного столика имеется окно, в него вставляют одну из сменных подкладок 21 с отверстиями различного диаметра. На предметном столике расположены держатели, состоящие из вертикальных колонок 22 и пружинящих прижимов 23, которыми микрошлиф прижимается к подкладке предметного столика. Макрометрический винт 24 служит для перемещения предметного столика в вертикальном направлении и этим производится грубая наводка на фокус. Зажимным винтом 25 фиксируют определенное положение предметного столика, чтобы он самопроизвольно не опускался. Для установки столика 19 на нужной высоте на кронштейне столика нанесена риска, которая устанавливается против точки, нанесенной на корпусе микроскопа.

4. Микрометрический винт 26, с помощью которого объектив перемещают в вертикальном направлении и точно наводят на фокус. Расход микрометрической подачи 3 мм, цена деления барабана — 0,003 мм.

### **Методика выполнения**

- 1) Изучить устройство и принцип работы металлографического микроскопа.
- 2) Рассмотреть микрошлиф под микроскопом.

### **Рекомендации по обработке и оформлению полученных результатов**

- 1) Записать название, цель работы и оборудование.
- 2) Зарисовать оптическую схему микроскопа.
- 3) Кратко описать методику приготовления микрошлифа.
- 4) Кратко описать структуру микроскопа МИМ-7.
- 5) Оформить отчет по работе.
- 6) Сделать выводы о проделанной работе.

### **Вопросы для самоконтроля**

- 1) Что такое микроанализ и для чего его используют?
- 2) Назовите этапы приготовления микрошлифа
- 3) Что входит в оптическую систему микроскопа МИМ-7?
- 4) Что называют объективом и окуляром?
- 5) Как подсчитать общее увеличение микроскопа?
- 6) Что представляет собой осветительная часть микроскопа?
- 7) Какие структурные составляющие можно увидеть на нетравленом шлифе?

Рекомендуемая литература [1], [4], [7].

## **3.7 Лабораторная работа № 7**

**Тема:** Изучение структуры сплавов на медной основе

### **Цель работы:**

- 1) Получение практического навыка микроанализа основных групп медных сплавов – латуней и бронз.
- 2) Изучение их микроструктуры, свойств, маркировки и области применения.

### **Материалы и оборудование:**

- 1) Микроскоп металлографический.
- 2) Коллекция микрошлифов однофазных и двухфазных латуней и бронз.

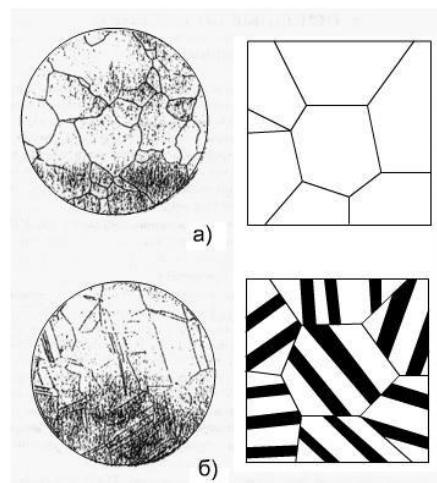
## Краткие теоретические сведения

Медь – это пластичный металл светло-розового цвета, плавится при  $1083^{\circ}\text{C}$ , имеет плотность  $8,96 \text{ г/см}^3$  обладает гранецентрированной кубической решеткой.

Отличительная особенность меди – ее малое электросопротивление, высокая теплопроводность, хорошая коррозионная стойкость во многих естественных средах (атмосфера, земля, морская и пресная вода). Последнее свойство объясняется как химической стойкостью самой меди (по электрохимическому потенциалу медь положительнее водорода), так и устойчивостью образующихся продуктов коррозии.

Предел прочности меди в отожженном состоянии составляет  $250 \text{ МПа}$ , относительное удлинение  $50\%$ , относительное сужение  $75\%$ . Для упрочнения меди используется наклеп. Путем наклена можно довести предел прочности до  $450 \text{ МПа}$ , но при этом пластичность понижается.

Примеси оказывают существенное влияние на механические, технологические и физические свойства меди. Растворимые примеси ( $\text{Al}$ ,  $\text{Sn}$ ,  $\text{Zn}$  и другие) повышают механические свойства, но значительно снижают электро - и теплопроводность. Нерастворимые примеси ( $\text{Pb}$ ,  $\text{Bi}$ ) образуют легкоплавкие эвтектики, которые затрудняют горячую обработку давлением из-за горячеломкости. Примеси ( $\text{S}$ ,  $\text{O}$ ) образуют тугоплавкие эвтектики, которые располагаются по границам зерен, что приводит к появлению хрупкости меди. Микроструктура литой меди полигидрическая, зернистая показана на рисунке 3.22, а. Микроструктура холоднодеформированной меди, подвергнутой последующему рекристаллизационному отжигу, такая же, но с наличием двойников изображенных на рисунке 3.22, б.



а) литая;  
б) холоднодеформированная, после рекристаллизационного отжига.

Рисунок 3.22 - Микроструктура меди (справа - схематическое изображение)

Медь применяется для изготовления сплавов на медной основе, токопроводящих деталей, фольги и т.п.

## Латуни

Латуни представляют собой двойные или многокомпонентные медные сплавы, в которых цинк является основным легирующим компонентом. Цинк способен растворяться в меди в твердом состоянии до  $39\%$ , смотри рисунок 3.23.

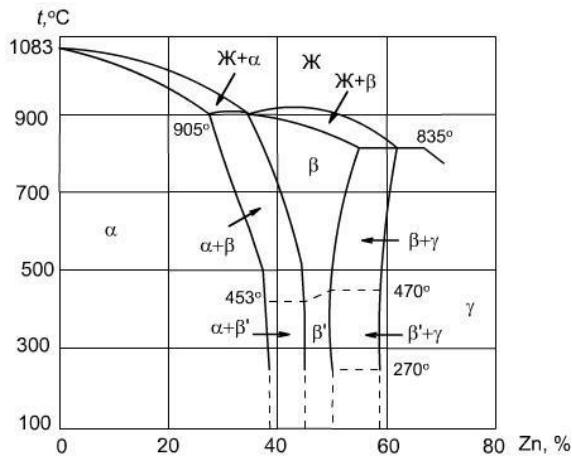
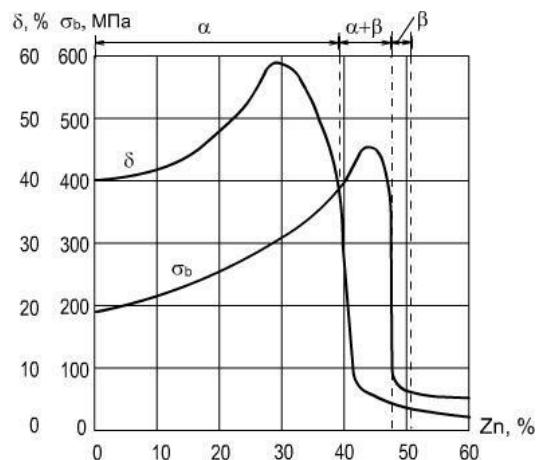


Рисунок.3.23 - Диаграмма состояния меди-цинк



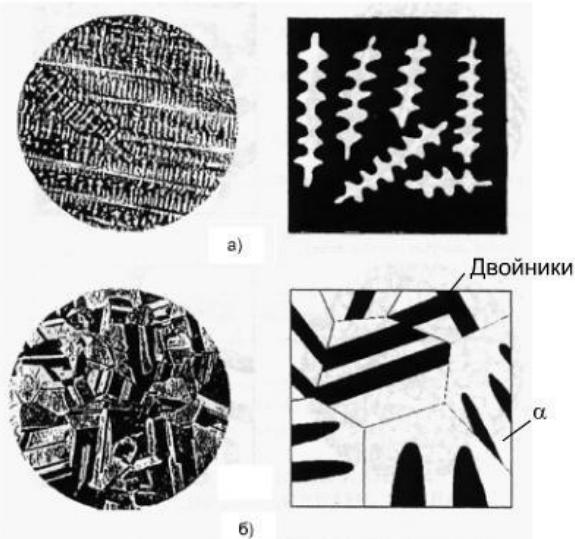
δ - относительной удлинение; σ<sub>b</sub> - предел прочности

Рисунок 3.24 - График изменения механических свойств латуней, в зависимости от содержания цинка

Твердый раствор Zn в Си имеет кристаллическую решетку меди и называется  $\alpha$ -фазой. При содержании цинка, превышающем 39 %, наряду с  $\alpha$ -фазой образуется  $\beta$ -фаза, представляющая собой твердый раствор на базе химического соединения.

Количество  $\beta$ -фазы зависит от того, насколько содержание цинка превышает его предел растворимости в меди (39 %). Поэтому латуни, содержащие цинк до 39 %, имеют структуру, состоящую из зерен  $\alpha$ -фазы и называются однофазными. Латуни с содержанием цинка более, 39 %, но менее 46 % имеют структуру, состоящую из зерен  $\alpha$  и  $\beta$ -фазы и относятся к двухфазным.

Микроструктура литой однофазной латуни имеет дендритное строение (см. рис. 3.25, а). Эта же латунь после холодной обработки давлением и рекристаллизационного отжига, показана на рисунке 3.25, б, имеет зернистую структуру с наличием двойников.

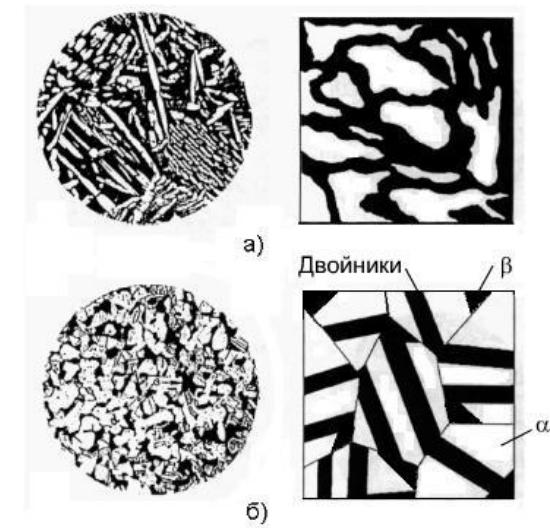


а) литая;

б) деформированная и отожженная

Рисунок 3.25 - Микроструктура однофазной латуни (справа - схематическое изображение)

Микроструктура литой двухфазной  $\alpha + \beta$  латуни состоит из светлых зерен  $\alpha$ -фазы и темных зерен  $\beta$ -фазы. В деформированной и отожженной  $\alpha + \beta$ -латуни на зернах  $\alpha$ -фазы имеются ее двойники (рисунок 3.26).



а) литая;

б) после деформации и отжига

Рисунок 3.26 - Микроструктура двухфазной латуни (справа – схематическое изображение)

Таким образом, латуни, содержащие от 39 до 46 % Zn, имеют двухфазную структуру  $\alpha + \beta$  и обладают низкой пластичностью, поэтому они хорошо обрабатываются давлением лишь в горячем состоянии, в отличие от  $\alpha$ -латуни, которая хорошо обрабатывается в холодном состоянии.

По технологическому признаку латуни подразделяют на литейные и обрабатываемые давлением. Двойные латуни маркируются буквой Л и числом, характеризующим среднее содержание меди в сплаве.

Для повышения прочности, коррозионной стойкости и некоторых специальных свойств разработаны специальные многокомпонентные латуни. Олово существенно снижает обесцинкование латуней при работе в пресной и морской воде, поэтому оловянные латуни иногда называют "морскими" (ЛО90-1, ЛО62-1).

Марганец улучшает стойкость латуней в морской атмосфере (ЛМц58-2). Кремний резко упрочняет латуни, также повышает коррозионную стойкость (ЛК80-3). Более сложные по составу латуни содержат совместно алюминий (до 2 %), железо, никель, марганец, кремний (по 1–3 %). Отличительная особенность этих сплавов еще более высокая прочность и стойкость в различных средах. К этой группе сплавов относится латунь ЛЖМц59-1-1.

Литейные латуни нормируются по ГОСТ 17711-93, они содержат те же элементы, что и латуни, обрабатываемые давлением, от последних литейные латуни отличает, как правило, большее легирование цинком и другими металлами. Вследствие малого интервала кристаллизации литейные латуни обладают хорошими литейными характеристиками. В марке литейной латуни указывается содержание цинка. Например: ЛЦ40С – литейная латунь, содержащая 40 % Zn и 1 % Pb.

### Бронзы

Бронзами называют сплавы меди, в которых цинк и никель не являются основными легирующими элементами.

Название бронзам дают по названию основного легирующего элемента, например, оловянная, алюминиевая и т.п. Отдельные бронзы в качестве легирующего компонента содержат цинк, но он не является основным. Но фазовому составу бронзы делят на однофазные и двухфазные. Однофазные бронзы состоят из зерен твердого раствора легирующих элементов в меди, называемого  $\alpha$  - фазой.

По технологическому признаку бронзы, как и латуни, делят на две группы: литейные и деформируемые. Литая однофазная бронза имеет структуру неоднородного твердого раствора, т.е. дендритную структуру. Дендриты любого сплава всегда обогащены более тугоплавким компонентом, а междендритные объемы – более легкоплавким. Схемы микроструктуры, литой и деформированной однофазных бронз аналогичны соответствующим схемам латуни на рисунке 3.26.

В двухфазных бронзах наряду с  $\alpha$  -фазой присутствуют кристаллы более твердого химического соединения той или иной природы, которые могут присутствовать в структуре либо в виде отдельных кристаллов, либо являться составной частью эвтектоида. Например микроструктура литой двухфазной бронзы БрА10 состоит из следующих структурных составляющих – светлых участков  $\alpha$ -фазы (это твердый раствор алюминия в меди) и темных участков эвтектоидной смеси  $\alpha$ -фазы и химического соединения показанных на рисунке 3.27.

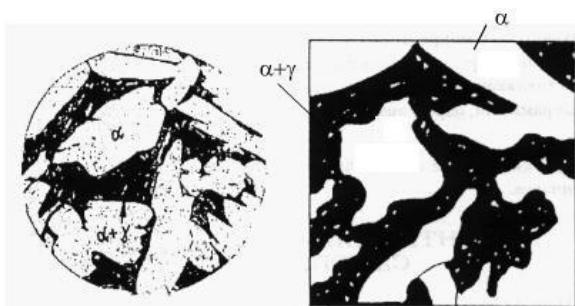


Рисунок 3.27 - Микроструктура литой двухфазной бронзы (справа – схематическое изображение)

Оловянные бронзы – это сплавы меди с оловом, которые могут содержать, добавки фосфора, свинца, цинка, никеля и других легирующих элементов. Обладая достаточной прочностью, они имеют высокую коррозионную стойкость (особенно в морской воде), хорошие антифрикционные свойства низкий коэффициент трения, высокое сопротивление износу. Небольшие добавки фосфора (0,1 – 0,4 %) в оловянные бронзы вводят с целью их раскисления. Добавки цинка улучшают литейные свойства (вследствие уменьшения интервала кристаллизации), а добавки свинца – антифрикционные свойства.

Алюминиевые бронзы содержат обычно добавки марганца, железа, никеля, свинца. Марганец улучшает коррозионную стойкость, никель и железо - прочностные свойства, свинец – антифрикционные свойства и обрабатываемость резанием алюминиевых бронз.

Помимо оловянных и алюминиевых бронз в судовых механизмах применяются кремнистые и бериллиевые бронзы. Последние близки к алюминиевым бронзам по значению свойств и технологическим характеристикам. Большинство литейных оловянных бронз применяется для изготовления ответственных отливок. Отливки из алюминиевых бронз обычно получают литьем в кокиль или песчаные формы.

### **Методика выполнения**

- 1) Изучить сплавы на основе меди.
- 2) Рассмотреть классификацию медных сплавов.
- 3) Изучить и зарисовать микроструктуры латуней и бронз.
- 4) Определить к какой группе по структуре и назначению принадлежат латуни и бронзы, для каких изделий применяются, какими свойствами должны обладать.
- 5) Выписать типичные режимы термической обработки для сплава на основе меди.

### **Рекомендации по обработке и оформлению полученных результатов**

- 1) Записать название, цель работы и оборудование.
- 2) Зарисовать график изменения механических свойств латуней (см. рис. 3.24).
- 3) Зарисовать схемы микроструктуры предложенных латуней.
- 4) Описать их химический состав, механические свойства, применение.
- 5) Зарисовать схемы микроструктуры заданных бронз в литом состоянии.
- 6) Описать их химический состав и применение.
- 7) Сделать выводы о проделанной работе.

### **Вопросы для самоконтроля**

- 1) Чем объясняется хорошая коррозионная стойкость меди в естественных средах?
- 2) Каким образом упрочняют медь?
- 3) Какой сплав используется для изготовления гребных винтов?
- 4) Медь какой марки (М0 или М4) имеет больше примесей?
- 5) Что такое латунь?
- 6) Как влияет цинк на свойства однофазных латуней?
- 7) Какие латуни называются однофазными?
- 8) Чем отличаются технологические свойства однофазных и двухфазных латуней?
- 9) В каком состоянии латунь или бронза имеет дендритное строение?
- 10) Как маркируют деформируемые латуни?
- 11) Как маркируют литейные латуни?
- 12) Какие латуни относят к многокомпонентным, специальным?
- 13) Какие латуни называют "морскими"?
- 14) Что такое бронза?
- 15) Дайте характеристику свойств оловянных бронз
- 16) Как классифицируют бронзы по технологическому признаку?
- 17) Где применяется бронза?

Рекомендуемая литература [1], [4], [7].

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ И РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

Основная:

1. Заплатин, В. Справочное пособие по материаловедению / В. Заплатин, Ю. Сапожников, А. Дубов. Издательство – Academia, 2019. - 360 с.
2. Заплатин, В. Основы материаловедения / В. Заплатин, Ю. Сапожников, А. Дубов. Издательство – Academia, 2018. - 272 с.
3. Лабораторный практикум по материаловедению / Издательство – Academia, 2018. - 240 с.
4. Материаловедение и сварка: учеб. пособие / Г. Б. Коптяева, О. М. Тимохова. – 2-е изд., исправ. и доп. – Ухта: УГТУ, 2019. - 159 с.: ил.
5. Соколова, Е. Материаловедение / Рабочая тетрадь, 2018. - 96 с.

Дополнительная:

6. Рацковский, А. С. Технология судостроительных материалов / А.С.Рацковский, В. И. Васильев, А. Д. Гармашов, Л. И. Шведов. Учебник - Л.: Судостроение, 2020. – 312 с.
7. Самохощкий, А.И. Лабораторные работы по металловедению и термической обработке металлов / А. И. Самохощкий, М.Н.Кунявский. - М., Машиностроение, 2019. – 174 с.

**Приложение А**  
**Соотношение чисел твердости по Бринеллю, по Роквеллу и по Виккерсу**

Таблица А.1 - Соотношение чисел твердости по Бринеллю, по Роквеллу и по Виккерсу

Твердость по Виккерсу	Твердость по Бринеллю D=10мм, P= 3000 кгс		Твердость по Роквеллу		
	Диаметр отпечатка в мм	Число твердости	шкала		
			C 150 кгс	B 100 кгс	A 60 кгс
1	2	3	4	5	6
1224	2,20	780	72		84
1116	2,25	745	70		83
1022	2,30	712	68		82
941	2,35	682	66		81
868	2,40	653	64		80
834	2,45	627	62		79
746	2,50	601	60		78
694	2,55	578	58		78
650	2,60	555	56		77
606	2,65	534	54		76
587	2,70	514	52		75
551	2,75	495	50		74
534	2,80	477	49		74
502	2,85	461	48		73
474	2,90	444	46		73
460	2,95	429	45		72
435	3,00	415	43		72
423	3,05	401	42		71
401	3,10	388	41		71
390	3,15	375	40		70
380	3,20	363	39		70
361	3,25	352	38		69
344	3,30	341	36		68
334	3,35	331	35		67
320	3,40	321	33		67
311	3,45	311	32		66
303	3,50	302	31		66
292	3,55	293	30		65
285	3,60	285	29		65
278	3,65	277	28		64
270	3,70	269	27		64
261	3,75	262	26		63
255	3,80	255	25		63
249	3,85	248	24		62
240	3,90	241	23	102	62
235	3,95	235	21	101	61

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6
228	4,00	229	20	100	61
222	4,05	223	19	99	60
217	4,10	217	17	98	60
213	4,15	212	15	97	69
208	420	207	14	95	59
201	4,25	201	13	94	58
197	430	197	12	93	58
192	4,35	192	11	92	57
186	4,40	187	9	91	57
183	4,45	183	8	90	56
178	4,50	179	7	90	56
174	4,55	174	6	89	56
171	4,60	170	4	88	55
166	4,65	167	3	87	54
162	4,70	163	2	86	53
159	4,75	159	1	85	53
155	4,80	156	0	84	52
152	4,85	152		83	
149	4,90	149		82	
148	4,95	146		81	
143	5,00	143		80	
140	5,05	140		79	
138	5,10	137		78	
134	5,15	134		77	
131	5,20	131		76	
129	5,25	128		75	
127	5,30	126		74	
123	5,35	123		73	
121	5,40	121		72	
118	5,45	118		71	
116	5,50	116		70	
115	5,55	114		68	
113	5,60	111		67	
110	5,65	110		66	
109	5,7	109		65	
108	5,75	107		64	

Приложение Б  
Примеры марок меди

Таблица Б.1 - Медь: марки, назначение

Марка металла	Содержание меди, %, не менее	Примеры применения
M0	99,95	Для изготовления сплавов на медной основе, применяемых для фасонного литья слитков, обрабатываемых давлением.
M1	99,90	
M3	99,5	Для производства труб, трубопроводов морской воды, в том числе паропроводов отработавшего пара при температуре до 250 °C, патрубков циркуляционных насосов.
M4	99,0	Для изготовления сплавов на медной основе, применяемых для фасонного литья.

**Приложение В**  
**Примеры марок сплавов на основе меди**

Таблица В.1 - Двойные деформируемые латуни, применяемые в судостроении: марки, назначение ГОСТ 15527–2004

Марка сплава	Наименование сплава	Медь, %	Примеры применения
Л96	Томпак	96	Ножи рубильников.
Л90	Томпак	90	Фланцы трубопроводов морской воды.
Л68	Латунь	68	Трубы теплообменных аппаратов в средах.
Л63	Латунь	63	Пар – конденсат, детали, не соприкасающиеся с морской водой.

Таблица В.2 - Деформируемые латуни ГОСТ 15527 –2004

Марка сплава	Наименование сплава	Содержание добавок Zn, %	Примеры применения
ЛО70-1	Латунь оловянная	Sn – 1 % Sn – 1 %	Трубы теплообменных аппаратов, работающих на морской воде.
ЛО62-1			
ЛЖМц59-1-1	Латунь железомарганцевая	Mn – 1 % Fe – 1 %	Детали арматуры, работающие при температуре 250 °C.
ЛС59-1	Латунь свинцовая	0,6 – 1 %	Детали иллюминаторов, детали, работающие на трение.

Таблица В.3 - Литейные латуни ГОСТ 17711–93

Марка сплава	Содержание добавок Zn, %	Область применения
ЛЦ40Мц3Ж	Mn – 3 %, Fe – 1 %	Гребные винты.
ЛЦ16К4	Si – 4 %	Арматура, работающая в морской воде, при протекторной защите до 250 °C.
ЛЦ38Мц2С2	38 Mn – 2 %, Pb – 2 %	Антифрикционные детали.







