

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»  
(СГУГиТ)

Т. В. Ларина

# **МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

Утверждено редакционно-издательским советом университета  
в качестве практикума для обучающихся по направлениям подготовки  
12.03.01 Приборостроение, 12.03.02 Опотехника, 12.03.03 Фотоника  
и оптоинформатика, 27.03.01 Стандартизация и метрология,  
27.03.05 Инноватика (уровень бакалавриата) и специальностям  
17.05.01 Боеприпасы и взрыватели,  
21.05.04 Горное дело (уровень специалитета)

Новосибирск  
СГУГиТ  
2024

УДК 620.22  
Л25

Рецензенты: заместитель начальника цеха № 14 АО «Новосибирский приборостроительный завод» *С. А. Черкасов*  
доктор технических наук, профессор, СГУГиТ *В. С. Айрапетян*

**Ларина, Т. В.**

Л25 Материаловедение : практикум / Т. В. Ларина. – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. – 42 с. – Текст : непосредственный.  
ISBN 978-5-907711-80-8

Практикум подготовлен старшим преподавателем Т. В. Лариной на кафедре фотоники и приборостроения СГУГиТ.

Представлены лабораторные работы для изучения обучающимися тем дисциплины «Материаловедение».

Практикум по дисциплине «Материаловедение» предназначен для обучающихся по направлениям подготовки 12.03.01 Приборостроение, 12.03.02 ОпTOTехника, 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика, 27.03.01 Стандартизация и метрология, 27.03.05 Инноватика (уровень бакалавриата) и специальностям 17.05.01 Боеприпасы и взрыватели, 21.05.04 Горное дело (уровень специалитета).

Рекомендован к изданию кафедрой фотоники и приборостроения, Ученым советом Института оптики и технологий информационной безопасности СГУГиТ.

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

УДК 620.22

ISBN 978-5-907711-80-8

© СГУГиТ, 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
Лабораторная работа № 1. Определение твердости металлов и сплавов.....	5
Лабораторная работа № 2. Диаграмма состояния «железо – цементит».....	18
Лабораторная работа № 3. Микроструктура и свойства углеродистых сталей в равновесном состоянии.....	27
Лабораторная работа № 4. Микроструктура и свойства чугунов .....	33
Заключение.....	40
Библиографический список.....	41

## **ВВЕДЕНИЕ**

Практикум предназначен для изучения дисциплины «Материаловедение». Состоит из четырех лабораторных работ «Определение твердости металлов и сплавов», «Диаграмма состояния "железо – цементит"», «Микроструктура и свойства углеродистых сталей в равновесном состоянии» и «Микроструктура и свойства чугунов». Практикум содержит описание теоретических сведений, описание подготовки к работе, порядок выполнения и содержание лабораторной работы и контрольные вопросы.

## **Лабораторная работа № 1**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

**Цель работы:** ознакомиться с устройством приборов Бринелля и Роквелла и овладеть методикой определения твердости материалов; определить влияние содержания углерода на твердость отожженной углеродистой стали.

#### **Подготовка к работе**

Изучить вопросы по лекционному материалу «Измерение твердости различных материалов»:

- способы и методы измерения твердости;
- устройства твердомеров Бринелля, Роквелла и Виккерса;
- области применения.

#### **Общие теоретические сведения**

Способность материала сопротивляться проникновению в него более твердого тела называется твердостью. У пластичных материалов твердость определяют вдавливанием при постоянной нагрузке прессом стального закаленного шарика определенных размеров (метод Бринелля, рис. 1.1, *а*), алмазного конуса (метод Роквелла, рис. 1.1, *в*) и алмазной пирамиды (метод Виккерса, рис. 1.1, *б*). Данные методы отличаются простотой испытаний, работы на приборах и измерений (табл. 1.1) [1–5].

Известно: чем больше твердость тела, тем сложнее оцарапать его поверхность, разрезать, набить клеймо и т. д.

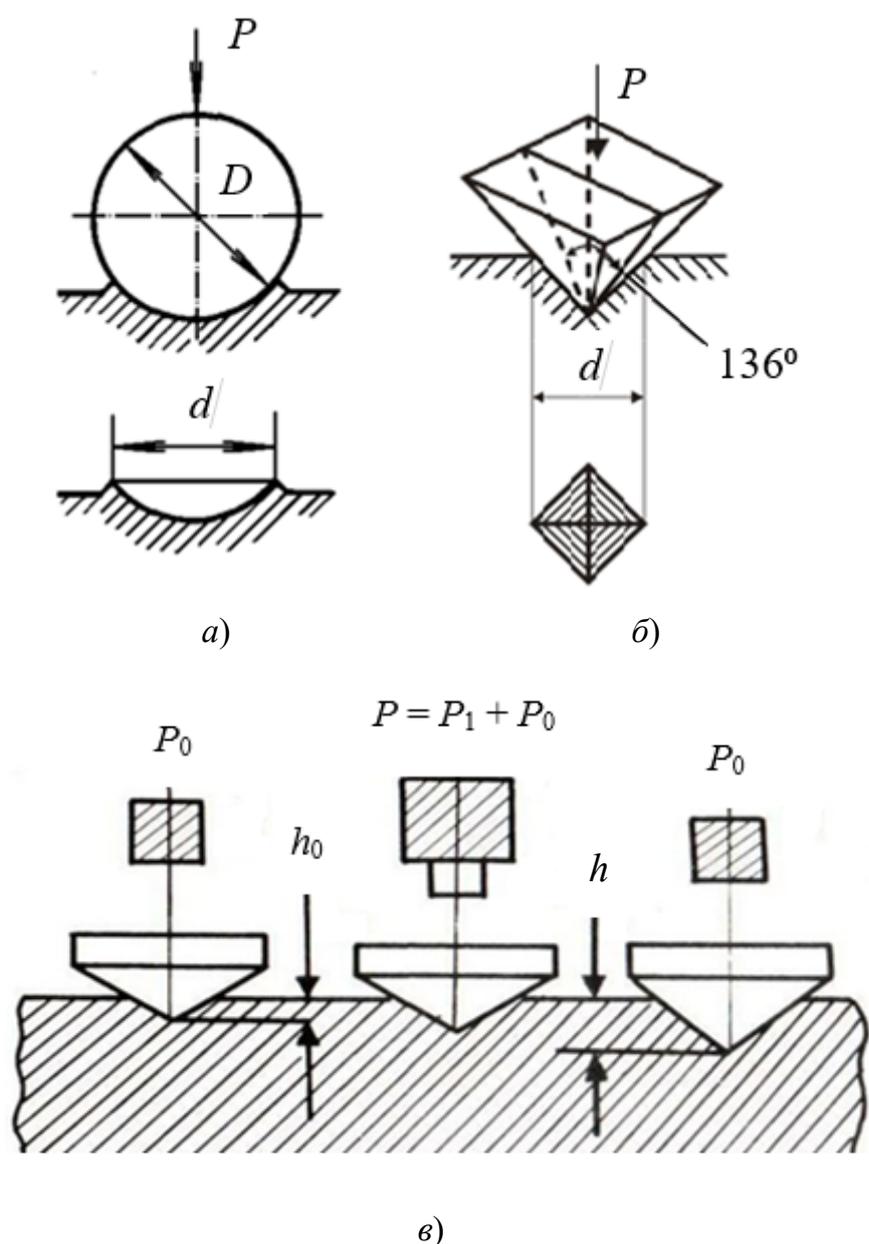


Рис. 1.1. Схемы определения твердости:

а) по Бринеллю; б) по Виккерсу; в) по Роквеллу

Обозначения:  $d$  – диаметр отпечатка, мм;  $D$  – диаметр вдавливаемого шарика, мм;  $P_0$  – предварительная нагрузка, кгс;  $P_1$  – основная нагрузка, кгс;  $P$  – общая нагрузка ( $P_0 + P_1$ ), кгс;  $h_0$  – глубина внедрения индентора под действием предварительной нагрузки, мм;  $h$  – глубина внедрения индентора под действием общей нагрузки, мм

## Методы определения твердости

Способ нагружения	Методы определения твердости по:					
	Бринеллю ГОСТ 9012–59	Роквеллу ГОСТ 9013–59			Виккерсу ГОСТ 2999–75	Хрущеву – Берковичу ГОСТ 9450–76
		шкала А	шкала В	шкала С		
Статический						
Индентор (материал, размер)	Стальной закаленный или твердосплавный шарик, Ø 10, 5 и 2,5 мм	Алмазный конус с углом при вершине 120°	Стальной закаленный шарик Ø 1,58 мм	Алмазный конус с углом при вершине 120°	Алмазная четырехгранная пирамида с углом при вершине 136°	Алмазная четырехгранная пирамида с углом при вершине 136°
Величина нагрузки Р, кгс	$P = K \cdot D_{ш}^2$ где $D_{ш}$ – диаметр индентора; $K$ – коэффициент от рода материала	$P = P_0 + P_1$ $P$ – общая нагрузка, кгс; $P_0$ – предварительная нагрузка (10 кгс); $P_1$ – основная нагрузка			От 9,8 (1 кгс) до 980 Н (100 кгс)	От 0,05 (5 кгс) до 5 Н (500 кгс)
Обозначение твердости, размерность	<i>HB (HBW)</i>	<i>HRA</i>	<i>HRB</i>	<i>HRC</i>	<i>HV</i>	<i>H</i>
	МПа или кгс/мм <sup>2</sup>	Число отвлеченное и выражается в условных единицах			МПа, кгс/мм <sup>2</sup>	МПа, кгс/мм <sup>2</sup>
Область применения	Для материалов малой и средней твердости (индентор стальной). Для твердых материалов (индентор твердосплавный)	Для особо твердых материалов (например, карбидов вольфрама), для тонких листовых материалов или тонких слоев (0,3–1,0 мм)	Для относительно мягких материалов < 400 <i>HB</i> , для изделий толщиной от 0,8 до 2 мм	Для относительно твердых материалов > 450 <i>HB</i> , закаленных сталей, тонких поверхностных слоев толщиной более 0,5 мм	Универсальный метод, особенно пригодный для тонких или твердых сплавов	Для отдельных зерен, фаз и структурных составляющих сплава, очень тонких слоев (сотые доли миллиметра)

Тело будет сопротивляться внедрению в него резца (при резании), клейма (при клеймении), напильника (при царапании) и т. д. С другой сто-

роны, те тела (резцы, напильники, клейма), которые должны по условиям работы внедряться в другие, сами должны быть твердыми, так как только в этом случае они будут способны проникнуть в другое тело, оставаясь сами цельными и не деформируясь. У инструментальных сталей значение твердости значительно выше, чем у конструкционных сталей, за счет более высокого содержания углерода. После отжига сталь имеет наименьшую твердость. После нормализации ее твердость повышается, а после закалки делается очень большой. Твердость по Бринеллю обозначается как *HB* (*HBW*), определяется как отношение приложенной нагрузки *P* к площади поверхности сферического отпечатка поверхности отпечатка *F*. Число твердости по Бринеллю измеряется в кгс/мм<sup>2</sup> или МПа, но записывают без единиц измерения:

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

где *HB* – обозначение твердости по Бринеллю, если индентор – стальной закаленный шарик;

*HBW* – обозначение твердости по Бринеллю, если индентор – твердосплавный шарик;

*P* – нагрузка, кгс;

*F* – площадь поверхности сферического отпечатка индентора (шарика), мм<sup>2</sup>;

*D* – диаметр индентора (шарика), мм;

*d* – диаметр отпечатка, мм.

Испытание на твердость по Бринеллю производится на прессе за счет вдавливания в испытываемый образец стального или твердосплавного шарика определенного диаметра под действием заданной нагрузки в течение определенного времени [3, 4]. Если в качестве индентора используется стальной закаленный шарик, то значение твердости обозначается как *HB* и применяется для определения твердости мягких металлов и сплавов с числом твердости по Бринеллю не свыше *HB* 450. Если в качестве индентора используется твердосплавный шарик, то значение твердости обозначается как *HBW*. Данный способ используют для определения твердости твердых материалов с числом твердости по Бринеллю свыше *HB* 450.

## Порядок выполнения работы

1. Изучить устройство прессы Бринелля.

2. Зная толщину образцов отожженных сталей марок 30, 50, У7 и латуни ЛС59-1, определить диаметр индентора по табл. 1.2 и установить его в шпинделе прессы (рис. 1.2).

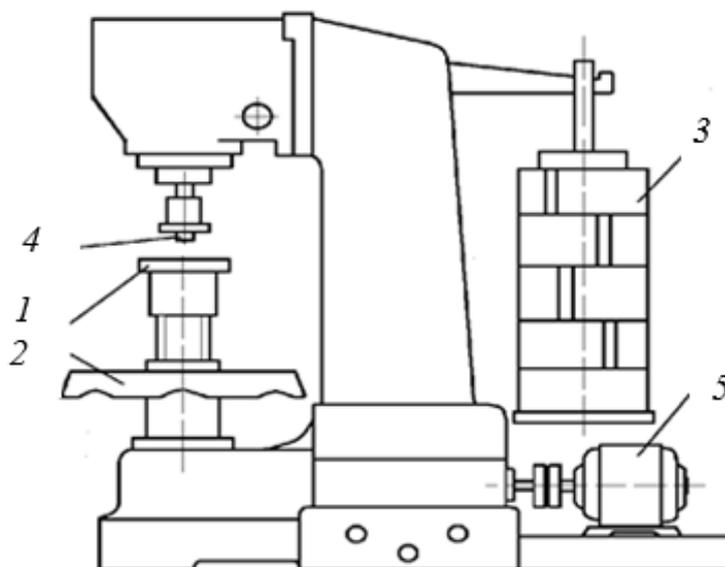


Рис. 1.2. Схема прессы Бринелля:

1 – столик для центровки образца; 2 – маховик; 3 – грузы;  
4 – шарик; 5 – электродвигатель

Таблица 1.2

### Выбор диаметра индентора от толщины изделия

Толщина изделия $t$ , мм	Диаметр индентора, мм
$t \leq 3$	2,5
$3 < t \leq 6$	5
$t > 6$	10

3. Выбрать необходимую нагрузку для четырех образцов по табл. 1.3.

4. Установить образец на столике прессы Бринелля.

5. Поднять образец и прижать его к индентору без приложения нагрузки.

6. Вдавить индентор в образец.

7. Провести испытание с другими образцами.

Выбор диаметра  $D$  шарика и нагрузки  $P$ 

$P, Н$	$D, мм$			Примечание
	10	5	2,5	
$30 D^2$	30 000	7 500	1 875	Материалы с $HB$ 130–450 (стали, чугуны)
$15 D^2$	15 000	–	–	Материалы от $HB$ 50 (высокопрочные сплавы на основе титана)
$10 D^2$	10 000	2 500	625	Материалы с $HB$ 35–140 (медь, латуни, бронзы)
$5 D^2$	5 000	1 250	312,5	Материалы с $HB < 35$ (алюминий, магний, цинк)
$2,5 D^2$	2 500	625	156,25	Материалы с $HB$ 8–35 (подшипниковые сплавы)
$1,25 D^2$	1 250	312,5	78,125	Материалы с $HB < 20$ (свинец, олово, припой)
$0,5 D^2$	500	125	31,25	Материалы с $HB < 20$ (мягкие металлы при повышенных температурах)

8. Измерить диаметр отпечатка (рис. 1.3) с помощью лупы Бринелля. Внести данные в табл. 1.4.

9. Вычислить площадь отпечатка и по формуле (1.1) рассчитать значение твердости и определить его по табл. 1.5.

10. Построить график зависимости от содержания в стали углерода и твердости ( $HB$ ).

11. Сделать выводы.

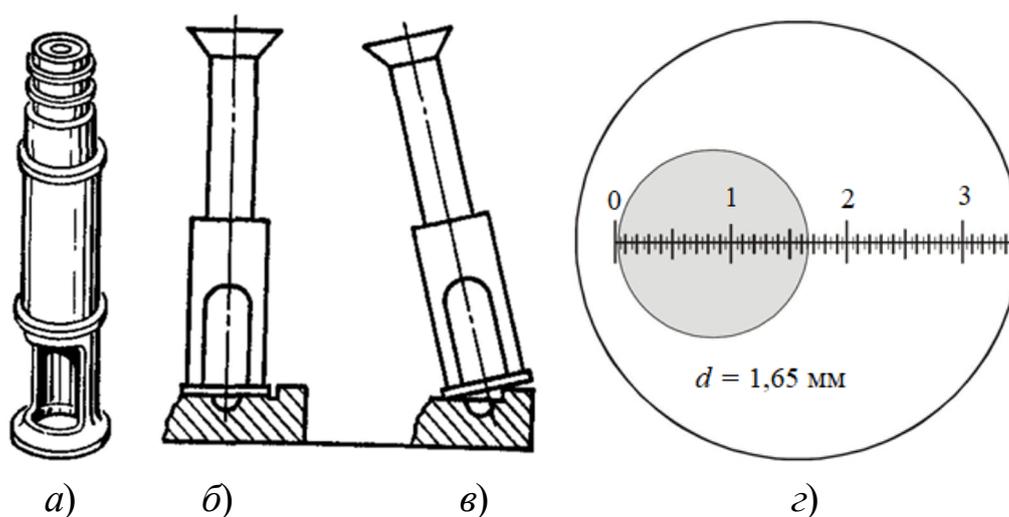


Рис. 1.3. Лупа Бринелля для замера отпечатка:

*a)* внешний вид лупы; *б)* правильное положение лупы при замера отпечатка;  
*в)* неправильное положение лупы; *г)* отсчет по шкале

## Исходные данные и результаты измерения твердости по Бринеллю

Исследуемый материал	Прибор Бринелля					
	Диаметр шарика $D_{ш}$ , мм	Нагрузка $P$ , кгс	Время $\tau$ , с	Диаметр отпечатка $d_{отп}$ , мм	Твердость $HB$ , кгс/мм <sup>2</sup>	Предел прочности $\sigma_B$ , МПа $\sigma_B = 0,34 \cdot HB$ (сталь) $\sigma_B = 0,4 \cdot HB$ (латунь)
Латунь ЛС59-1						
Сталь 30 (0,30 % С)						
Сталь 50 (0,50 % С)						
Сталь У7 (0,7 % С)						

12. Ознакомиться с устройством прибора Роквелла и методикой измерения твердости (рис. 1.4, табл. 1.5).

13. Установить необходимую нагрузку.

14. Индентор с алмазным конусом закрепить в шпинделе пресса Роквелла.

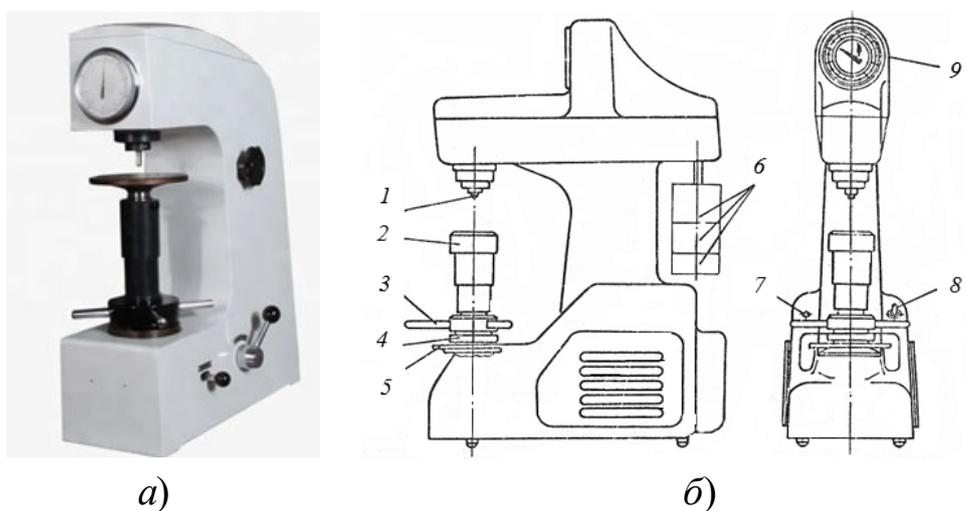


Рис. 1.4. Твердомер Роквелла:

а) фото твердомера Роквелла; б) общий вид твердомера Роквелла:

1 – индентор; 2 – стол; 3 – маховик; 4 – установочный диск; 5 – клавиша;  
6 – подвеска с грузом; 7 – лампа; 8 – тумблер; 9 – индикатор

15. На столик поместить испытуемый образец. Поднять столик и прижать образец к конусу, приложив предварительную нагрузку.

16. Снять предварительную нагрузку. Повторить предварительное нагружение в другом месте образца.

17. Вращением барабана установить нуль шкалы против конца большой стрелки индикатора.

18. Запустить механизм для приложения к детали необходимой нагрузки.

19. После сигнала опустить столик, передвинуть образец и повторить испытание в другом месте.

Таблица 1.5

Определение твердости по Бринеллю

Диаметр отпечатка $d_{10}$ (или $2d_s$ , или $4d_{2,5}$ )	Число твердости по Бринеллю при нагрузке $P$ , кгс, равной			Диаметр отпечатка $d_{10}$ (или $2d_s$ , или $4d_{2,5}$ )	Число твердости по Бринеллю при нагрузке $P$ , кгс, равной		
	$30 D^2$	$10 D^2$	$2,5 D^2$		$30 D^2$	$10 D^2$	$2,5 D^2$
3,30	341	114	28,4	4,40	187	62,4	15,6
3,35	331	110	27,6	4,45	183	60,9	15,2
3,40	321	107	26,7	4,50	179	59,5	14,9
3,45	311	104	25,9	4,55	174	58,1	14,5
3,50	302	101	25,2	4,60	170	56,8	14,2
3,55	293	97,7	24,5	4,65	167	55,5	13,9
3,60	285	95,0	23,7	4,70	163	54,3	13,6
3,65	277	92,3	23,1	4,75	159	53,0	13,3
3,70	269	89,7	22,4	4,80	156	51,9	13,0
3,75	262	87,2	21,8	4,85	152	50,7	12,7
3,80	255	84,9	21,2	4,90	149	49,6	12,4
3,85	248	82,6	20,7	4,95	146	48,6	12,2
3,90	241	80,4	20,1	5,00	143	47,5	11,9
3,95	235	78,3	19,6	5,05	140	46,5	11,6
4,00	229	76,3	19,1	5,10	137	45,5	11,4
4,05	223	74,3	18,6	5,15	134	44,6	11,2
4,10	217	72,4	18,1	5,20	131	43,7	10,9
4,20	207	68,8	17,2	5,25	128	42,8	10,7
4,25	201	67,1	16,8	5,30	126	41,9	10,5
4,30	197	65,5	16,4	5,35	123	41,0	10,3
4,35	192	63,8	16,0	5,40	121	40,2	10,1

20. Снять значение твердости и внести данные в табл. 1.6. Перевести полученное значение твердости в твердость по Бринеллю по табл. 1.7.

21. По измеренному отпечатку сделать вывод о твердости образца.

Таблица 1.6

Исходные данные и результаты измерения твердости по Роквеллу

Исследуемый материал	Прибор Роквелла				Значение твердости <i>HB</i> по переводной таблице
	Индентор	Нагрузка <i>P</i> , кгс	Шкала	Значение твердости	
Сталь 50 (отожженная)					
Сталь 50 (закаленная)					

Таблица 1.7

Соотношение значений твердости, определяемых методами Бринелля и Роквелла

Диаметр отпечатка <i>d</i> , мм	При испытании вдавливанием:			
	стального шарика 10/3000 (на приборе типа Бринелля), <i>HB</i>	алмазного конуса или стального шарика (на приборе типа Роквелла), при различных нагрузках		
		150 кгс (конус) <i>HRC</i>	60 кгс (конус) <i>HRA</i>	100 кгс (шарик) <i>HRB</i>
2,45	627	62	79	—
2,50	601	60	78	—
2,55	578	58	78	—
2,60	555	56	77	—
2,65	534	54	76	—
2,70	514	52	75	—
2,75	495	50	74	—
2,80	477	49	74	—
2,85	461	48	73	—
2,90	444	46	73	—
3,00	415	43	72	—
3,05	401	42	71	—
2,95	429	45	72	—
3,10	388	41	71	—
3,15	375	40	70	—
3,20	363	39	70	—
3,25	352	38	69	—
3,30	341	36	68	—
3,35	331	35	67	—
3,40	321	33	67	—
3,45	311	32	66	—
3,50	302	31	66	—
3,55	293	30	65	—

Диаметр отпечатка $d$ , мм	При испытании вдавливанием:			
	стального шарика 10/3000 (на приборе типа Бринелля), $HB$	алмазного конуса или стального шарика (на приборе типа Роквелла), при различных нагрузках		
		150 кгс (конус) $HRC$	60 кгс (конус) $HRA$	100 кгс (шарик) $HRB$
3,60	285	29	65	–
3,65	277	28	64	–
3,70	269	27	64	–
3,75	262	26	63	–
3,80	255	25	63	–
3,85	248	24	62	–
3,90	241	23	62	102
3,95	235	21	61	101
4,00	229	20	61	100
4,05	223	19	60	99
4,10	217	17	60	98
4,15	212	15	59	97

### Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы и задание.
3. Результаты измерений и расчетов.
3. График зависимости твердости ( $HB$ ) стали от содержания в ней углерода.
4. Выводы.

### Контрольные вопросы

#### Вариант № 1

1. Как производится измерение диаметра отпечатка?
2. Какое значение твердости меньше:  $HB$  1400 МПа,  $HRB$  99,  $HRC$ , 44?

#### Вариант № 2

1. Какова размерность твердости, определяемой разными способами?
2. Какое значение твердости больше:  $HB$  6010 МПа,  $HRB$  95,  $HRC$ , 46,5?

#### Вариант № 3

1. Твердость малоуглеродистой стали  $HB$  180 кгс/мм<sup>2</sup>. Напишите, чему приблизительно равно значение  $\sigma_B$  этой стали?

2. Какое значение твердости меньше:  $HB$  2030 МПа,  $HRB$  105,  $HRC_3$  50?

*Вариант № 4*

1. Твердость серого чугуна  $HB$  210 кгс/мм<sup>2</sup>. Каков предел прочности  $\sigma_B$  материала?

2. Какое значение твердости меньше:  $HB$  3830 МПа,  $HRC$  50,7,  $HRC_3$  53,5?

*Вариант № 5*

1. Как расшифровать запись, если твердость была измерена на прессе Бринелля 10/3000/30?

2. Какое значение твердости меньше:  $HB$  3410, МПа,  $HRB$  64,  $HRC_3$  65?

*Вариант № 6*

1. Что представляет собой величина твердости по Роквеллу?

2. Какое значение твердости меньше:  $HB$  6160 МПа,  $HRA$  53,  $HRC_3$  31?

*Вариант № 7*

1. По какой шкале будут производиться измерения твердости закаленной стали по Роквеллу?

2. Какое значение твердости меньше:  $HB$  2690 МПа,  $HRA$  80,  $HRC_3$  55?

*Вариант № 8*

1. Какими приборами определяется твердость металлов?

2. Какое значение твердости меньше:  $HB$  6720 МПа,  $HRA$  60,  $HRC_3$  60?

*Вариант № 9*

1. Дайте определение каждой величине  $\sigma_B$ ,  $\sigma_T$ ,  $\delta$ ,  $\psi$ ,  $HRC$ ,  $HV$ .

2. Какое значение твердости меньше:  $HB$  5820 МПа,  $HRC$  44,  $HRC_3$  28?

*Вариант № 10*

1. Для измерения каких материалов используется метод Бринелля?

2. Какое значение твердости меньше:  $HB$  5550 МПа,  $HRC$  50,  $HRC_3$  25?

*Вариант № 11*

1. Дайте определение твердости.

2. Какое значение твердости меньше:  $HB$  5000 МПа,  $HRC$  90,  $HRC_3$  24?

### *Вариант № 12*

1. Из каких материалов могут быть изготовлены инденторы при измерении твердости на приборе Бринелля?
2. Какое значение твердости меньше: *HB 3900* МПа, *HRB 101*, *HRC<sub>3</sub> 55*?

### *Вариант № 13*

1. Можно ли измерить твердость на прессе Бринелля образца из закаленной стали? Если возможно, то из какого материала будет изготовлен индентор?
2. Какое значение твердости меньше: *HB 5550* МПа, *HRB 105*, *HRC<sub>3</sub> 55*?

### *Вариант № 14*

1. Какими методами измерения твердости можно воспользоваться при измерении твердости образцов после цементации (у изделия мягкая сердцевина и твердый поверхностный слой)?
2. Какое значение твердости больше: *HB 1060* МПа, *HRC 74*, *HRC<sub>3</sub> 30*?

### *Вариант № 15*

1. Дайте определение каждой величине и укажите те, которые характеризуют твердость материала  $\sigma_b$ ,  $\sigma_t$ ,  $\delta$ ,  $\psi$ , *HRC*, *HV*.
2. Какое значение твердости меньше: *HB 2150* МПа, *HRA 66*, *HRC<sub>3</sub> 22*?

### *Вариант № 16*

1. Какими параметрами должен обладать исследуемый образец, если для измерения твердости по Бринеллю выбрали шарик диаметром 2,5 мм?
2. Какое значение твердости меньше: *HB 1150* МПа, *HRC 25*, *HRC<sub>3</sub> 27*?

### *Вариант № 17*

1. По какой шкале будут производиться измерения твердости изделий толщиной от 0,8 до 2 мм по Роквеллу?
2. Какое значение твердости больше: *HB 3310* МПа, *HRA 86*, *HRC<sub>3</sub> 30*?

### *Вариант № 18*

1. По какой шкале будут производиться измерения твердости для особо твердых материалов по Роквеллу?

2. Какое значение твердости меньше:  $HB$  13410 МПа,  $HRB$  105,  $HRC_3$  25?

*Вариант № 19*

1. Какой метод определения твердости является самым точным и почему?

2. Какое значение твердости больше:  $HB$  2390 МПа,  $HRB$  100,  $HRC_3$  37?

*Вариант № 20*

1. Укажите область применения метода Хрущева – Берковича.

2. Какое значение твердости меньше:  $HB$  1150 МПа,  $HRC$  26,  $HRC_3$  27?

*Вариант № 21*

1. Твердость серого чугуна  $HB$  250 кгс/мм<sup>2</sup>. Каков предел прочности  $\sigma_b$  материала?

2. Какое значение твердости меньше:  $HB$  2150 МПа,  $HRA$  66,  $HRC_3$  22?

*Вариант № 22*

1. Как расшифровать запись, если твердость была измерена на прессе Бринелля 5/7500/15?

2. Какое значение твердости меньше:  $HB$  3410, МПа,  $HRB$  64,  $HRC_3$  65?

*Вариант № 23*

1. Что представляет собой величина твердости по Роквеллу?

2. Какое значение твердости меньше:  $HB$  6160 МПа,  $HRA$  53,  $HRC_3$  31?

*Вариант № 24*

1. Как расшифровать запись, если твердость была измерена на прессе Бринелля 2,5/2500/5?

2. Какое значение твердости меньше:  $HB$  5550 МПа,  $HRB$  105,  $HRC_3$  55?

*Вариант № 25*

1. Что представляет собой величина твердости по Виккерсу?

2. Какое значение твердости меньше:  $HB$  2690 МПа,  $HRA$  80,  $HRC_3$  55?

## **Лабораторная работа № 2**

### **ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ «ЖЕЛЕЗО – ЦЕМЕНТИТ»**

**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 фаз и отрезков.

#### **Подготовка к работе**

Изучить вопросы по лекционному материалу «Диаграмма состояния "железо – цементит"»:

- основные точки и линии диаграммы состояния «железо – цементит»;
- понятие полиморфизма, или аллотропии металлов;
- твердые растворы (феррит, аустенит), химическое соединение (цементит) и механические смеси (перлит и ледебурит) диаграммы состояния «железо – цементит».

#### **Общие теоретические сведения**

По внутреннему строению все твердые тела делятся на кристаллические и аморфные. При переходе из жидкого в твердое состояние металлы приобретают кристаллическое строение. Обычно процесс кристаллизации происходит одновременно во многих местах, и рост одних кристаллов мешает росту соседних, в результате чего многие кристаллы образуют зерна неправильной формы. Сплавы – это сложные вещества, полученные сплавлением простых веществ. Фаза – однородная часть сплава, и ее компоненты могут находиться в механической смеси, твердом растворе и химическом соединении.

Химическое соединение образуют атомы элементов, объединенных в молекулы, состав которых можно выразить химической формулой. Например, соединение железа с углеродом – цементит ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ).

Данное соединение обладает высокой твердостью, прочностью и является очень хрупким веществом. Наличие цементита в сплавах ведет к понижению пластичности и ударной вязкости.

Также в сплавах железа с углеродом образуются твердые растворы внедрения, в которых атомы углерода внедряются в межатомное пространство кристаллической решетки железа (аустенит и феррит). Данные твердые растворы обладают более высокой прочностью и твердостью, чем основной металл – железо, но меньшей пластичностью.

Механические смеси состоят из самостоятельных отдельных зерен кристаллов компонентов, в которых сохраняется своя специфическая кристаллическая решетка. В сплавах железа с углеродом образуются два вида механических смесей – это зерна перлита и ледебурита.

Рассмотрим отличие зерен перлита от зерен феррита. Перлит – это механическая смесь зерен феррита и цементита. Зерна перлита сложные, так как в них основной углерод распределен не равномерно по объему зерна, а только в его части, в цементитных пластинах или зернах. За счет упрочняющего влияния цементита перлит имеет более высокую твердость, чем феррит, содержащий однородные кристаллы твердого раствора.

Железо, олово, марганец, титан и другие металлы после затвердевания могут иметь не одну, а несколько форм кристаллической решетки. При нагревании такого металла до определенной температуры (критической точки) атомы перестраиваются и образуют новую кристаллическую решетку, что сопровождается изменением физико-механических свойств металла. Перекристаллизация повторяется каждый раз при медленном нагреве и охлаждении металла до критической точки и называется аллотропией, или полиморфизмом металла.

Чистое железо имеет четыре критические точки и три формы кристаллического строения  $Fe_\alpha$  (до 911 °C),  $Fe_\gamma$  (от 911 до 1 392 °C),  $Fe_\delta$  (от 1 392 до 1 539 °C). При температуре ниже 769 °C железо становится магнитным, не изменяя строения кристаллической решетки.

Диаграмма состояния «железо – цементит» (рис. 2.1) предназначена для изучения структур сталей и белых чугунов при различных температурах. С помощью диаграммы состояния можно сделать вывод о возможности обработки сплава давлением, литьем и применении к сплаву термической обработки. Назначение основных точек, линий и структур диаграммы состояния подробно рассмотрено на лекции. Разберем на примере сталей изменение структур при различных температурах [1–6].

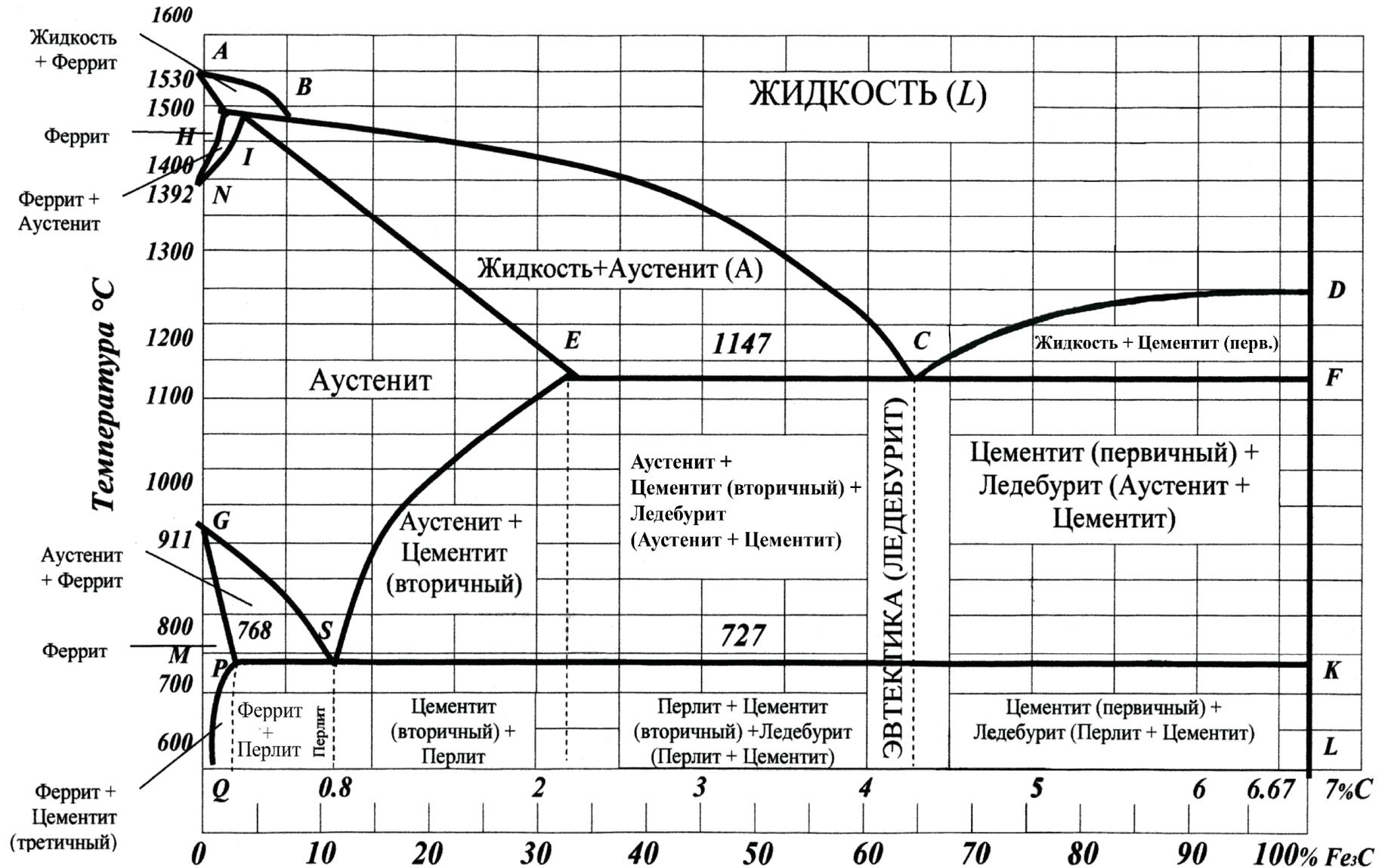


Рис. 2.1. Диаграмма состояния «железо – цементит»

Например, если доэвтектоидную сталь охладить с большой скоростью, то аустенитная решетка  $\gamma$ -железа успеет перестроиться в решетку  $\alpha$ -железа, но углерод не успеет выйти из раствора. В результате образуется структура стали, называемая мартенситом, обладающая повышенной твердостью. Если такую сталь нагреть и медленно охладить, то из мартенсита вновь образуется феррит и перлит, а сталь станет мягче, пластичнее. Поэтому термическая обработка основана на изменениях внутренней структуры.

При рассмотрении изменений структуры углеродистых сталей при нагреве рекомендуют пользоваться диаграммой состояния сталей, которая показана на рис. 2.2.

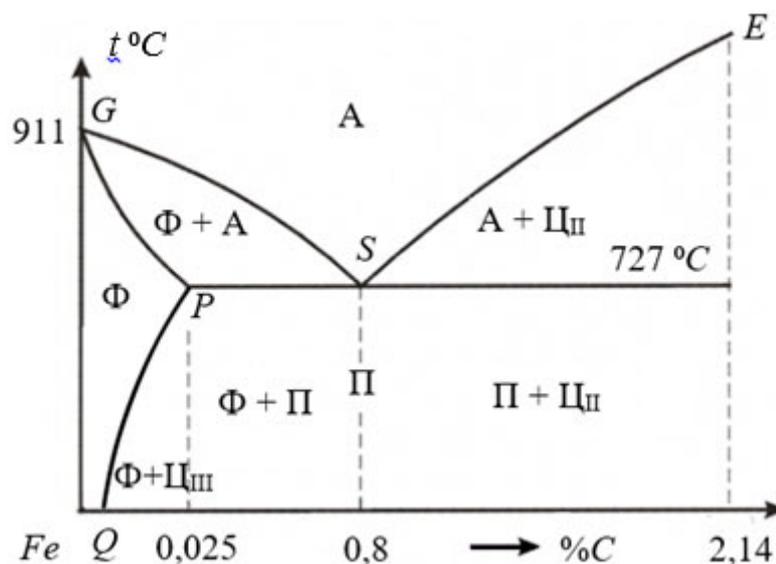


Рис. 2.2. Структурный фрагмент диаграммы «железо – цементит»

На горизонтальной линии диаграммы отложены проценты содержания в сталях углерода от нуля (левый нижний угол) до 2,14 % (правый нижний угол).

На вертикальной линии отложены температуры от комнатной, т. е. 20 °С (левый нижний угол), до температуры плавления железа, т. е. до 1 539 °С (точка А в левом верхнем углу). На диаграмме проведено несколько линий. Линия PSK – это линии нижних критических температур стали, т. е. температур, при которых в сталях происходит превращение зерен перлита в зерна аустенита.

При помощи диаграммы состояния сталей очень легко проследить, какие изменения в структуре происходят при нагревании стали любой марки. Как видно из диаграммы, эта линия горизонтальна и проходит на уровне  $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Так это и должно быть, потому что нижняя критическая температура одинакова для всех углеродистых сталей.

Линии *GS* и *SE* – это линии верхних критических температур стали, т. е. температур, выше которых структура углеродистой стали любой марки состоит только из зерен аустенита. Различные точки линий *GS* и *SE* соответствуют разным температурам, так как значения верхней критической температуры для углеродистых сталей разных марок будут различными. Линия *AE* – это линия температур начала плавления сталей, а линия *AC* – это линия температур окончания плавления сталей.

Возьмем для примера сталь марки Ст5, содержащую около 0,3 % углерода. При нагревании стали марки Ст5 от  $20$  до  $727\text{ }^{\circ}\text{C}$  (т. е. до точки  $A_1$  на диаграмме) ее структура при всех температурах от  $0$  до  $727\text{ }^{\circ}\text{C}$  включает в себя кристаллы перлита и феррита.

В интервале температур от  $727$  до  $835\text{ }^{\circ}\text{C}$  зерна перлита заменяются зернами аустенита, и структура стали в этом диапазоне включает в себя зерна феррита и зерна аустенита. В дальнейшем в диапазоне температур от  $835$  до  $1470\text{ }^{\circ}\text{C}$  структура стали будет состоять из одних только зерен аустенита, и в структуре стали Ст5 исчезнут последние зерна феррита. При температуре  $1470\text{ }^{\circ}\text{C}$  сталь начнет плавиться, при температуре  $1515\text{ }^{\circ}\text{C}$  она полностью расплавится и выше  $1515\text{ }^{\circ}\text{C}$  сталь будет жидкой.

Аналогичная картина будет и при медленном охлаждении заэвтектоидных сталей.

### Содержание отчета

1. Название работы, цель работы и задание.
2. Диаграмма «железо – цементит» в масштабе.
3. Две кривые охлаждения для стали и чугуна.

## Контрольные вопросы

### Вариант № 1

1. В структуре какой стали – с 0,3 или 0,6 % углерода – будет больше перлита?
2. Укажите назначение на диаграмме «железо – цементит» точки *K* и линии *SR*.

### Вариант № 2

1. В микроструктуре доэвтектоидной стали 45 % приходится на долю перлита. Каково содержание углерода в данной стали?
2. Укажите назначение на диаграмме «железо – цементит» точки *Q* и линии *SP*.

### Вариант № 3

1. Какой характер превращений отражают линии *EF*, *PK*, *HB* диаграммы «железо – цементит»?
2. Напишите, из чего состоит структура доэвтектического белого чугуна.

### Вариант № 4

1. Что отличает ледебурит при температурах выше и ниже 727 °С?
2. Дайте определение феррита, аустенита, цементита и охарактеризуйте их свойства.

### Вариант № 5

1. В каких пределах изменяется растворимость углерода в феррите и аустените с изменением температуры?
2. Дайте определение перлита. Укажите, какая форма цементита является более благоприятной с точки зрения механических свойств сталей и обрабатываемости резанием.

### Вариант № 6

1. Дайте определение ледебурита. Укажите, в чем заключается различие в строении ледебурита при температуре 1 130 °С и при температуре 20 °С.
2. Укажите назначение на диаграмме «железо – цементит» точки *P* и линии *PQ*.

*Вариант № 7*

1. Укажите, какие фазы входят в структуру заэвтектоидной стали.
2. Укажите назначение на диаграмме «железо – цементит» точки *Q* и линии *ECF*.

*Вариант № 8*

1. Какая микроструктура наиболее близка к структуре сплава с 3 % углерода?
2. Из каких зерен состоит структура заэвтектоидных сталей?

*Вариант № 9*

1. Из каких зерен состоит структура доэвтектоидных сталей?
2. С какой структурой сплав является наиболее пластичным?

*Вариант № 10*

1. Какие структурные превращения происходят в стали при 727 °С?
2. Укажите назначение на диаграмме «железо – цементит» точки *E* и линии *AC*.

*Вариант № 11*

1. Укажите назначение на диаграмме «железо – цементит» точки *A* и линии *AE*.
2. Почему перлит под микроскопом виден как темная структурная составляющая стали, а феррит и цементит светлые?

*Вариант № 12*

1. Укажите назначение линии на диаграмме «железо – цементит» точки *D* и линии *PQ*.
2. Каковы химический состав и равновесная структура сталей 08, 10, 45, У8, У10?

*Вариант № 13*

1. Что называется ферритом?
2. Укажите назначение на диаграмме «железо – цементит» точки *G* и линии *PSK*.

*Вариант № 14*

1. Дайте определение структуры «феррит» и укажите ее на диаграмме.
2. Каковы химический состав и равновесная структура сталей АС40, 20, 60Г, У8А, У12?

*Вариант № 15*

1. Дайте определение структуры «аустенит» и укажите ее на диаграмме.
2. Из каких зерен состоит структура эвтектоидных сталей?

*Вариант № 16*

1. Дайте определение структурам «цементит», «перлит» и укажите их на диаграмме.
2. Из каких зерен состоит структура доэвтектоидных сталей?

*Вариант № 17*

1. Укажите назначение на диаграмме «железо – цементит» точки  $F$  и линии  $ECF$ .
2. Напишите, из чего состоит структура эвтектического белого чугуна.

*Вариант № 18*

1. Дайте определение структуры «ледебурит» и укажите ее на диаграмме.
2. Напишите, из чего состоит структура заэвтектического белого чугуна.

*Вариант № 19*

1. Укажите назначение на диаграмме «железо – цементит» точки  $Q$  и линии  $CD$ .
2. Дайте определение ледебурита. Укажите, в чем заключается различие в строении ледебурита при температуре  $1\ 130\ ^\circ\text{C}$  и при нормальной температуре  $20\ ^\circ\text{C}$ .

*Вариант № 20*

1. Укажите назначение на диаграмме «железо – цементит» точки  $G$  и линии  $SP$ .

2. По диаграмме определите максимальное содержание углерода в аустените при 800 °С.

*Вариант № 21*

1. В структуре какой стали – с 0,25 или 0,7 % углерода – будет больше перлита?

2. Укажите назначение на диаграмме «железо – цементит» точки *K* и линии *SR*.

*Вариант № 22*

1. В микроструктуре доэвтектоидной стали 45 % приходится на долю перлита. Каково содержание углерода в данной стали?

2. Укажите назначение на диаграмме «железо – цементит» точки *Q* и линии *SP*.

*Вариант № 23*

1. Какой характер превращений отражают линии *EF*, *PK*, *HB* диаграммы «железо – цементит»?

2. Напишите, из чего состоит структура доэвтектического белого чугуна.

*Вариант № 24*

1. Что отличает ледебурит при температурах выше и ниже 727 °С?

2. Дайте определение феррита, аустенита, цементита и охарактеризуйте их свойства.

*Вариант № 25*

1. Из каких зерен состоит структура доэвтектоидных сталей?

2. С какой структурой сплав является наиболее пластичным?

## **Лабораторная работа № 3**

### **МИКРОСТРУКТУРА И СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ**

**Цель работы:** получить навыки в проведении микроанализа структур углеродистых сталей и определении по ним типа сплава, содержания углерода, примерной марки стали и практического применения установленного сплава.

#### **Подготовка к работе**

Изучить вопросы по лекционному материалу «Углеродистые стали»:

- химический состав углеродистых сталей, полезные и вредные добавки;
- классификации углеродистых сталей;
- структуры углеродистых сталей.

#### **Общие теоретические сведения**

Микроструктура стали зависит от содержания в ней углерода и скорости охлаждения. При медленном охлаждении стали образуются равновесные структуры, которые не изменяются при последующем нагреве сталей; в их состав входят феррит, цементит и перлит. При быстром охлаждении стали образуются неравновесные структуры, которые при ее последующем нагреве самопроизвольно стремятся перейти в равновесные [1–6].

Структура сплавов содержащих до 0,006 % углерода, представляет собой чистый феррит. Данные сплавы обладают небольшой прочностью, высокой пластичностью и ударной вязкостью.

При содержании углерода от 0,006 до 0,025 % структура состоит из феррита и расположенных по его границам цементита. Данную структуру называют техническим железом, в которой хрупкая цементитная сетка снижает ударную вязкость сталей.

Структура сталей с содержанием углерода от 0,025 до 0,8 % является доэвтектоидной сталью и состоит из светлых зерен феррита и темных –

перлита. В структуре таких сталей при увеличении содержания углерода повышается количество перлита с соответствующим уменьшением перлита (рис. 3.1).

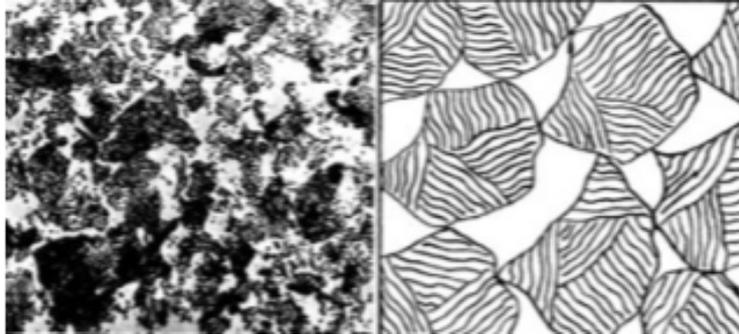


Рис. 3.1. Структура доэвтектоидной стали (справа схематическое изображение)

Увеличение доли перлита ведет к повышению прочности и твердости стали с одновременным снижением ударной вязкости и относительного удлинения.

Структура стали, содержащей 0,8 % углерода, представляет собой чистый перлит, и сталь считается эвтектоидной. Темные зерна в структуре стали, которые видны на рис. 3.2, являются зернами перлита.

Это особые сложные зерна, они состоят из большого количества более мелких зерен двух типов: зерен феррита и зерен цементита, или карбида железа. В каждом зерне перлита образующие его зерна феррита и зерна цементита располагаются в виде чередующихся между собой пластинок.

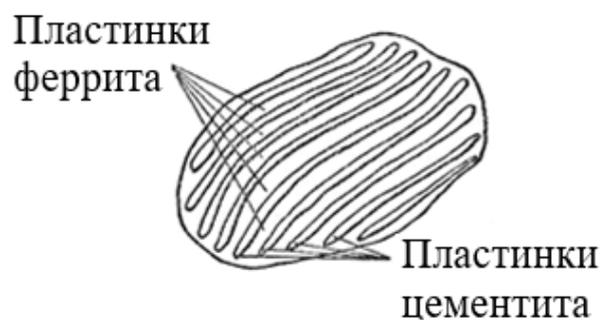


Рис. 3.2. Схема строения одного зерна перлита

Поэтому такой перлит называется пластинчатым перлитом. Таким образом, находящиеся в зерне перлита атомы углерода распределяются не по всему зерну перлита равномерно, а сосредоточены только в цементитных пластинках. Зерна перлита имеют две структуры: пластинчатую и зернистую (рис. 3.3, 3.4). Они обладают разными механическими свойствами, некоторые значения приведены в табл. 3.1.

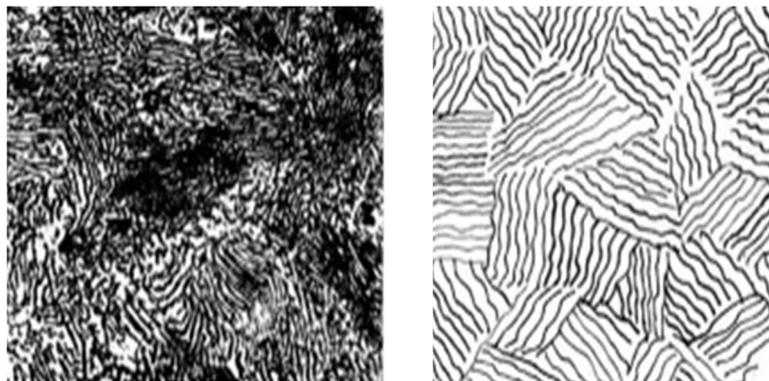


Рис 3.3. Структура пластинчатого перлита  
(справа схематическое изображение)

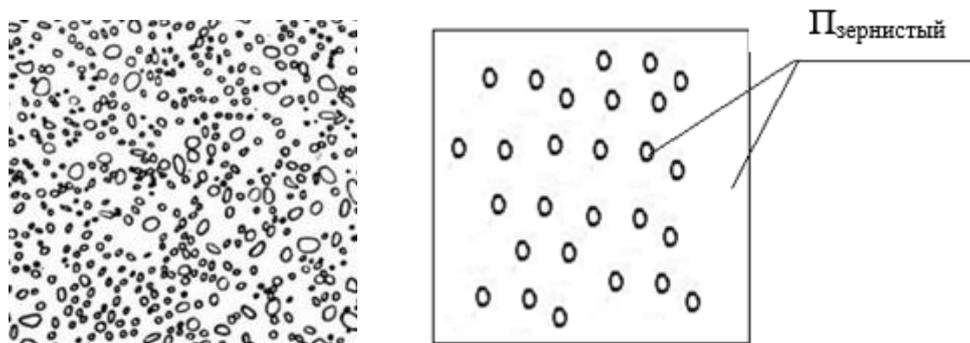


Рис 3.4. Структура зернистого перлита  
(справа схематическое изображение)

Таблица 3.1

Механические свойства пластинчатого и зернистого перлита

Структура перлита	Предел прочности, $\sigma_{в}$ , МПа	Пластичность, $\delta$ , %	Твердость, <i>НВ</i>
Пластинчатый	От 800 до 900	От 5 до 16	От 190 до 230
Зернистый	От 540 до 560	От 14 до 20	От 160 до 190

Стали, содержащие от 0,8 до 2,14 % углерода, называются заэвтектоидными. В структуре стали по границам темных зерен перлита располагается белая сетка цементита вторичного. При увеличении углерода до 1 % цементит образует хрупкую цементитную сетку (рис. 3.5) и прочность стали при этом снижается.

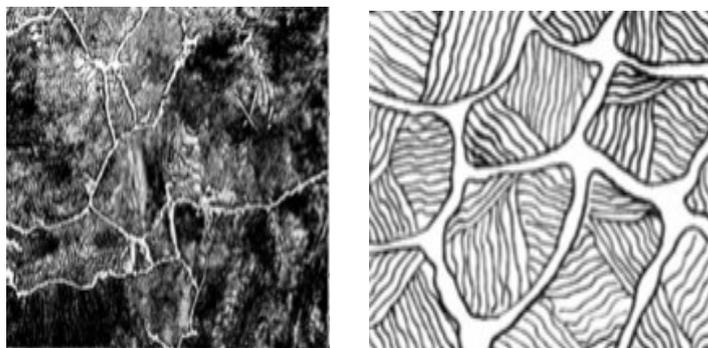


Рис. 3.5. Структура заэвтектоидной стали  
(справа схематическое изображение)

Таким образом, с увеличением углерода в углеродистых сталях, находящихся в равновесном состоянии, меняется их структура и фазовый состав: уменьшается количество мягкого феррита, увеличивается количество твердого цементита и в соответствии с этим возрастают твердость ( $HB$ ), предел прочности ( $\sigma_B$ ), уменьшается пластичность ( $\delta$ ) и ударная вязкость ( $a_H$ ).

По структуре стали, находящейся в равновесном состоянии, можно приблизительно определить содержание углерода, а затем установить марку стали. Для этого на микроструктуре, рассматриваемой под микроскопом, ориентировочно определяют площади, занимаемые перлитом, ферритом и цементитом. Принимают содержание углерода в феррите равным 0,006 % или нулю, в 100 % перлита – 0,8 %, а в 100 % цементита – 6,67 % углерода.

Например, пусть в доэвтектоидной стали перлит занимает 25 % всей площади, феррит – 75 %. Тогда содержание углерода в стали можно определить из пропорции

$$\begin{aligned} 100 \% \text{ перлита} &- 0,8 \%, \\ 25 \% \text{ перлита} &- x \% \text{ C}, \end{aligned}$$

откуда  $x = \frac{25 \cdot 0,8}{100} = 0,2, \%$ .

Такое содержание углерода имеет конструкционная сталь марки 20.

По структуре заэвтектоидной стали не рекомендуется определять содержание углерода, так как с увеличением его содержания мало изменяется площадь, занимаемая цементитом, и можно сделать грубую ошибку в расчете.

В зависимости от назначения стали подразделяются:

1) на конструкционные (до 0,7 % углерода), из которых делают части машин, станков, мостов, орудий, танков, судов и других конструкций;

2) инструментальные (от 0,7 до 1,35 % углерода), из которых делают резцы, сверла, метчики, фрезы, напильники, штампы, калибры и другие инструменты;

3) стали с особыми физическими свойствами (только легированные): высокомагнитные, нержавеющей, немагнитные и др.

Итак, в структуре любой стали, конструкционной или инструментальной, имеются зерна перлита.

### **Порядок выполнения работы**

1. Рассмотреть и изучить микрошлифы под микроскопом, определить структурные составляющие, указать класс стали (доэвтектоидная, эвтектоидная и заэвтектоидная).

2. По структуре подсчитать содержание углерода.

3. Зарисовать схемы микроструктур.

4. Написать марку качественной углеродистой стали, найдя по микроструктуре содержание углерода.

5. Установить зависимость основных механических свойств ( $HB$ ,  $\sigma_B$ ,  $\delta$ ) от содержания углерода и соотношения фаз: феррита и перлита.

6. Сделать выводы по результатам исследований (задания 2 и 3) о том, как меняется микроструктура стали от содержания углерода.

7. По каждой стали указать структурные составляющие, класс стали, содержание углерода, марку стали, механические характеристики ( $HB$ ,  $\sigma_B$ ,  $\delta$  – используя справочный материал), применение.

## Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Участок диаграммы «железо – цементит» для сталей.
4. Рисунки микроструктур углеродистых сталей и их описание.
5. Расчет содержания углерода по микроструктуре сталей.
6. Свойства и применение для каждой стали.

## Контрольные вопросы

1. Укажите механические свойства феррита, перлита и цементита.
2. Укажите основные отличия по составу и свойствам стали от чугуна.
3. Перечислите основные свойства стали.
4. Что изготавливают из конструкционных сталей?
5. Какие стали называются инструментальными и что из них изготавливают?
6. Какие примеси бывают в стали и откуда они в нее попадают?
7. Сколько существует марок конструкционных сталей обыкновенного качества, как они обозначаются и чем отличаются одна от другой?
8. Сколько существует марок инструментальных сталей обыкновенного качества, как они обозначаются и чем отличаются одна от другой?
9. Какие химические элементы присутствуют в составе любой стали?
10. Какие стали имеют более высокие прочностные свойства?
11. Что ограничивает производство литых стальных деталей?
12. Сколько критических температур имеют стали? Как эти температуры обозначаются?
13. Напишите, из каких фаз состоит перлит.
14. Из каких зерен состоит структура доэвтектоидных сталей?
15. Из каких зерен состоит структура заэвтектоидных сталей?
16. Какие структурные превращения происходят в стали при температуре 727 °С?
17. Что такое феррит, перлит, цементит?

## **Лабораторная работа № 4**

### **МИКРОСТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЧУГУНОВ**

**Цель работы:** получить навыки определения по микроструктуре вида чугуна (белый, серый, высокопрочный и ковкий), оценить приближенно его механические свойства и установить область применения.

#### **Подготовка к работе**

Изучить вопросы по лекционному материалу «Виды чугунов и их свойства»:

- белые, серые, ковкие и высокопрочные чугуны;
- области применения и маркировка.

#### **Общие теоретические сведения**

Чугун содержит от 2,14 до 6,67 % углерода и постоянных примесей (серы фосфора, кремния, марганца). Чугун является как конструкционным материалом, так и промежуточным продуктом при производстве стали.

По составу чугуны подразделяют на белые, серые, высокопрочные и ковкие. Белые чугуны содержат только химически связанный углерод, входящий в состав цементита. В сером, высокопрочном и ковком чугунах углерод содержится частично или полностью в свободном состоянии в виде графита [1–6].

Графит – это свободный углерод, распределяющийся в массе чугуна в виде пластинок (очень мягкий и хрупкий), круглых зерен и хлопьевидных скоплений (более твердый и прочный). Чугун со специальными примесями (хром, никель и др.), придающими ему особые свойства, называют легированным.

Основной структурной составляющей белых чугунов является хрупкий и твердый цементит. В белых чугунах присутствует эвтектика – ледебурит, основу данной механической смеси составляют пластины цементита

первичного, которые проросли разветвленными кристаллами аустенита. При понижении температуры до 727 °С аустенит претерпевает эвтектоидное превращение и его состав меняется. Аустенит заменяется перлитом, а ледебурит называется превращенным.

Белый чугун имеет излом серебристого цвета, который придает ему цементит, поэтому данный чугун обладает большой твердостью, хрупкостью и плохо поддается обработке резанием. С увеличением содержания углерода в белых чугунах меняется структура. В диапазоне углерода от 2,14 до 4,3 % в белых чугунах структура содержит ледебурит, перлит и цементит вторичный (доэвтектический чугун, как на рис 4.1, *а*), при содержании углерода 4,3 % – ледебурит (эвтектический чугун, как на рис. 4.1, *б*). При диапазоне углерода от 4,3 до 6,67 % структура чугуна состоит из зерен ледебурита и цементита первичного (заэвтектический чугун, как на рис. 4.1, *в*). И если белый чугун получают за счет резкого охлаждения и почти весь углерод формируется в цементите, то в сером чугуне, за счет медленного охлаждения расплава, углерод формируется в виде свободного пластинчатого графита.

Свыше 97 % железа в чугунах (кроме белого) формируется в металлической основе, которая бывает трех видов: ферритной, ферритно-перлитной и перлитной, причем грубый пластинчатый графит связан с металлической основой (рис. 4.2). Свойства серого чугуна зависят от структуры и ее количественных составляющих. Перлитная металлическая основа наиболее прочная, ферритная – пластичная.

Серый чугун обладает хрупкостью и сравнительно небольшой твердостью, он легко обрабатывается резанием. Для увеличения прочности серого чугуна проводят его модификацию путем введения в расплав силикокальция, ферросилиция, алюминия, сплавов титана, циркония и др. В результате модифицирования грубые пластины графита дробятся, измельчаются и выглядят в виде завихренных частиц (рис. 4.3). В результате улучшаются механические свойства серого чугуна.

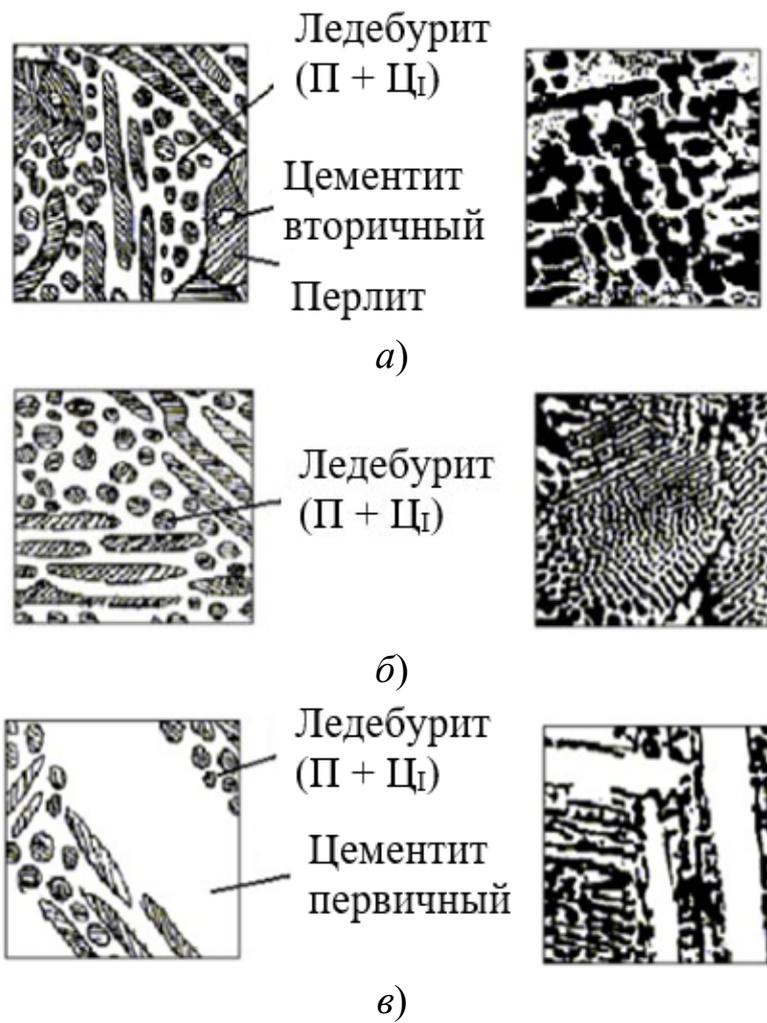


Рис. 4.1. Микроструктура белых чугунов  
(слева схематическое изображение):

а) доэвтектический; б) эвтектический; в) заэвтектический

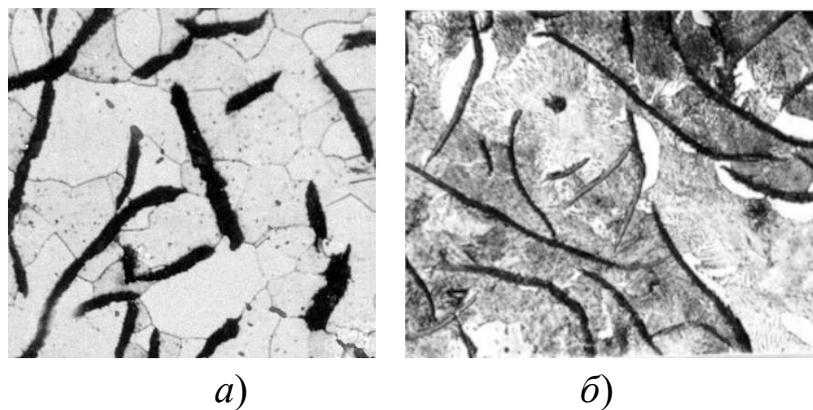


Рис. 4.2. Микроструктура серого чугуна:  
а) ферритная основа; б) ферритно-перлитная основа

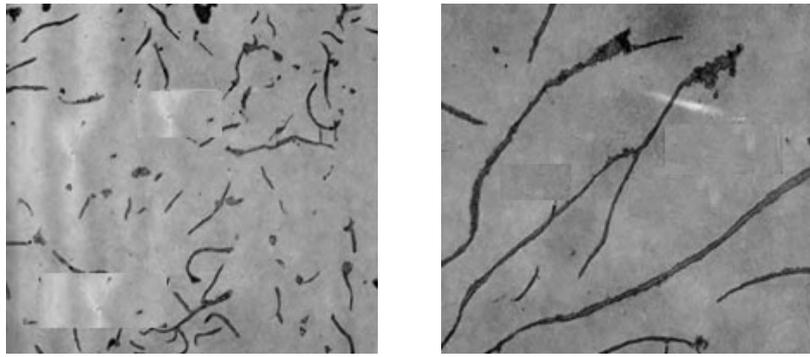


Рис. 4.3. Структура серого чугуна после модификации (слева) и до

Углерод высокопрочного чугуна содержится в виде включений шаровидного свободного графита, и это придает чугуну большую прочность по сравнению с серым. Высокопрочный чугун получают модифицированием серых чугунов магнием, церием или иттрием в количестве от 0,1 до 0,2 %. Металлическая основа высокопрочных чугунов подобна структуре серых чугунов (рис. 4.4). Прочность чугуна увеличивают, добавляя легирующие примеси (хром, никель, молибден, титан). Высокопрочный чугун труднее обрабатывать резанием, чем серый чугун.

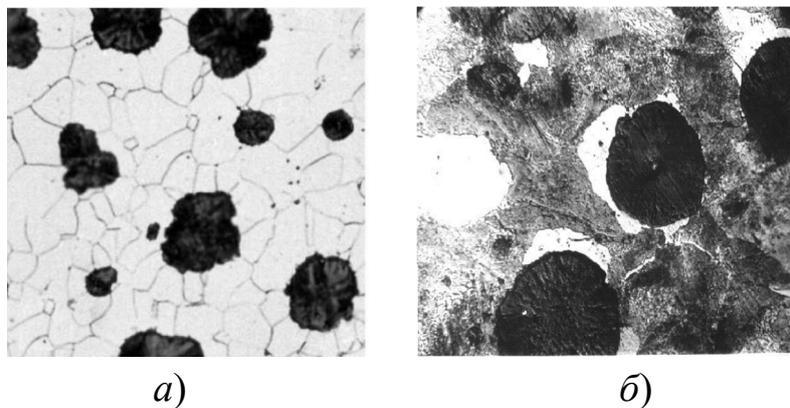


Рис. 4.4. Микроструктура высокопрочного чугуна:  
*a)* ферритная основа; *б)* ферритно-перлитная основа

Основным недостатком ковкого чугуна является продолжительный процесс получения, который включает в себя отжиг белого доэвтектического чугуна в течение от 60 до 110 часов при высоких температурах от 900

до 1 000 °С. Углерод переходит из цементита в хлопьевидную форму графита. Повышается пластичность чугуна, по сравнению с серым чугуном, у которого она равна нулю. Название чугуна «ковкий» является условным, его он получил благодаря пластичности. По структуре ковкий чугун также имеет два вида металлической основы, они представлены на рис. 4.5.

Преимущества ковкого чугуна – относительно высокое сопротивление изгибу, меньший удельный вес, хорошая обрабатываемость.

В табл. 4.1 приведены механические характеристики чугунов в зависимости от металлической основы и формы графитовых включений.

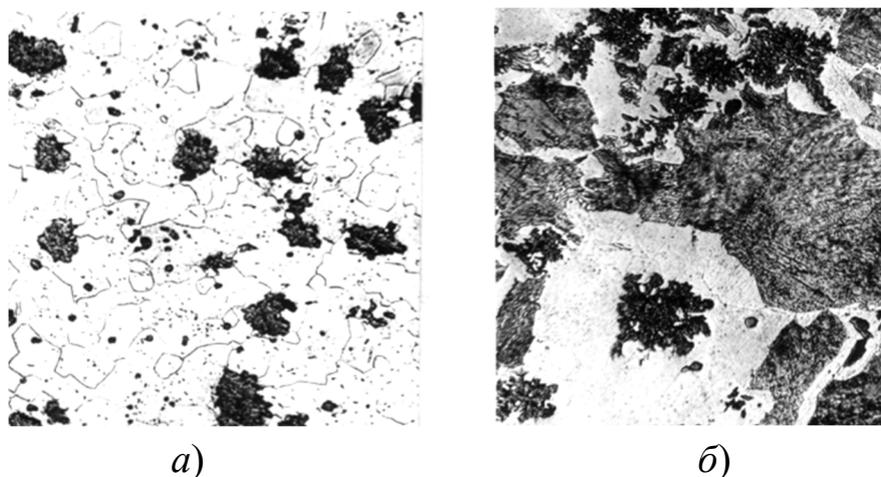


Рис. 4.5. Микроструктура ковкого чугуна:

а) ферритная основа; б) ферритно-перлитная основа

Таблица 4.1

Механические характеристики чугунов в зависимости от металлической основы и формы графитовых включений

Характеристика металлической основы		Тип чугуна и форма графита			Твердость, <i>HВ</i> , МПа
Структура	Содержание $C_{связ}$ , %	Серый чугун	Ковкий чугун	Высокопрочный чугун	
Перлит	0,8	пластинчатый графит	хлопьевидный графит	шаровидный графит	250
Перлит и феррит	от 0,033 до 0,8				200
Феррит	до 0,025				150
Пластичность, $\delta$ , %		От 0,2 до 0,5	От 5 до 10	От 10 до 15	
Предел прочности при растяжении, $\sigma_b$ , МПа		От 120 до 240	От 300 до 400	От 420 до 980	

## Порядок выполнения работы

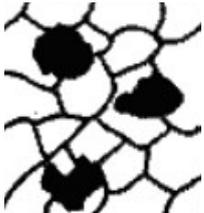
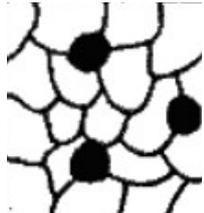
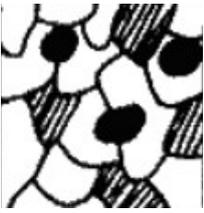
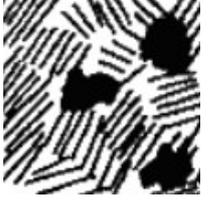
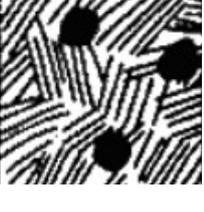
1. Изучить под микроскопом микрошлифы чугунов и определить структурные составляющие, наименование чугуна (белый, серый, высокопрочный или ковкий).

2. Зарисовать схемы микроструктур чугунов, беря за основу схемы рис. 4.1, 4.2 и табл. 4.2.

3. Объяснить влияние формы графита на механические свойства чугунов, используя табл. 4.2.

Таблица 4.2

Схемы микроструктур чугуна в зависимости от металлической основы и формы графитовых включений

Металлическая основа	Класс чугуна		
	Серый	Ковкий	Высокопрочный
Феррит			
Феррит + перлит			
Перлит			

## Содержание отчета

1. Название работы
2. Цель работы.

3. Участок диаграммы состояния «железо – цементит» для чугунов.
4. Схемы микроструктур чугунов.
5. Наименование чугуна, метод его получения, структурные составляющие чугуна и механические свойства ( $HB$ ,  $\sigma_v$ ,  $\delta$  – используя справочный материал), применение.

### Контрольные вопросы

1. Укажите основное отличие в получении белого и серого чугуна.
2. Чем отличается структура и свойства ковкого чугуна от структуры и свойств серого?
3. Как производится отжиг ковкого чугуна?
4. Сколько связанного углерода имеется в перлитном сером чугуне?
5. Какие механические свойства чугуна сильно ослабляют графит?
6. Напишите, какая форма графитовых включений в наибольшей степени уменьшает прочность чугуна.
7. Какие материалы обладают наилучшими литейными свойствами?
8. Какие чугуны называются серыми?
9. Что такое модифицированный чугун?
10. Как производится модифицирование чугуна?
11. Укажите форму графитных включений в серых и модифицированных чугунах и виды металлической основы.
12. Что представляет собой высокопрочный чугун? Каковы способы его получения, структура, свойства и области применения?

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Данный практикум предназначен для изучения дисциплины «Материаловедение». Обучающиеся приобретут компетенции, которые позволяют определить способность к эффективному использованию знаний о свойствах материалов при изготовлении оборудования, инструмента и конструкций, установлению зависимости между составом, строением и свойствами материалов. Обучающиеся получают компетенции при выборе материала и способов регулирования их свойств для различных деталей машин, инструмента и конструкций.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богодухов С. И., Козик Е. С. Материаловедение : учеб. – 2-е изд., доп. – М. : Машиностроение, 2020. – 504 с.
2. Земсков Ю. П. Материаловедение : учеб. пособие. – СПб. : Лань, 2019. – 188 с.
3. Сапунов С. В. Материаловедение : учеб. пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб. : Лань, 2021. – 208 с.
4. Ларина Т. В. Материаловедение : практикум. – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – 58 с.
5. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учеб. для вузов, допущено УМО / В. Б. Арзамасов [и др.] ; под ред. В. Б. Арзамасова, А. А. Черепихина. – 3-е изд., стереотип. – М. : Академия, 2011. – 448 с.
6. Лахтин Ю. М. Основы металловедения : учеб. – М. : НИЦ Инфра-М, 2013. – 272 с.

*Учебное издание*

**Ларина Татьяна Вячеславовна**

# **МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

Редактор *О. В. Георгиевская*

Компьютерная верстка *О. И. Голиков*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 30.09.2024. Формат 60 × 84 1/16.

Усл. печ. л. 2,44. Тираж 100 экз. Заказ 129.

Гигиеническое заключение

№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02. от 10.12.2002.

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ  
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ  
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 8.