

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра технологии металлов

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов заочной формы обучения*

**Минск
2008**

УДК 620.22 (07)
ББК 30.3 я7
М 34

Рекомендовано научно-методическом советом факультета «Технический сервис в АПК» БГАТУ
Протокол № 4 от 21 июня .2007 г.

Составители: д-р техн. наук, проф. *В.М. Капцевич*;
канд. техн. наук, доц. *А.А. Андрушевич*;
канд. техн. наук, доц. *Т.К. Романова*;
ст. преподаватель *В.К. Корнеева*

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. каф. материаловедения в машиностроении БНТУ
М.В. Ситкевич,
канд. техн. наук, доц. *Г.И. Анискович*

УДК 620.22 (07)
ББК 30.3 я7

© БГАТУ, 2008

Содержание

Введение	4
Работа № 1 «Определение твердости металлов»	5
Работа № 2 «Микроструктурный метод исследования металлов»	19
Работа № 3 «Углеродистые стали и чугуны»	31
Работа № 4 «Термическая обработка сталей»	51
Работа № 5 «Поверхностное упрочнение сталей»	65
Тестовые задания к лабораторным работам	80
Литература	105

Введение

Материаловедение — наука, изучающая строение и свойства материалов, устанавливающая связь между их составом, структурой и свойствами, имеет четко выраженный прикладной характер и развивается в основном экспериментальным путем.

Современное производство требует от специалистов, работающих в сельхозмашиностроении и различных отраслях АПК, знаний в области материаловедения, умения рационально использовать с учетом экономики различные материалы и методы их обработки для достижения необходимых технологических и эксплуатационных свойств.

Методические указания к лабораторным работам охватывают основные методы анализа структур и определения твердости металлов и сплавов, классификации и упрочняющей термической обработки сталей и чугунов. Перечень лабораторных работ составлен на основании многолетнего опыта преподавания раздела «Материаловедение» на кафедре «Технология металлов» УО БГАТУ для студентов заочной формы обучения и полностью соответствует действующей программе по дисциплине «Материаловедение и технология конструкционных материалов» по данному курсу.

Лабораторные работы имеют единую структуру: в начале изложена цель работы, затем кратко представлены в достаточном для подготовки к занятиям объеме теория, порядок экспериментального выполнения работы и используемые оборудование, приборы и материалы; в конце перечислены требования к содержанию отчета и его оформлению, приведены контрольные вопросы для самостоятельной подготовки студентов к защите работ, а также список рекомендуемой научно-технической литературы. В зависимости от программы дисциплины и специальности, количество выполняемых лабораторных работ и методика их проведения могут быть изменены, содержание работ сокращено или расширено.

Лабораторная работа №1 «Определение твердости металлов»

Цель работы:

- 1) изучить методы определения твердости металлов по Бринеллю и Роквеллу;
- 2) приобрести навыки измерения твердости методами Бринелля и Роквелла.

Студент должен:

- **знать:** сущность понятия твердости, методы ее определения по Бринеллю и Роквеллу;
- **уметь:** готовить образцы материалов для испытания на твердость; выбирать условия испытания и их проводить по методу Бринелля и Роквелла.

1 Общие сведения

Одним из методов неразрушающего контроля механических свойств металлов является определение твердости.

Твердость — способность материала сопротивляться упругой и пластической деформации при внедрении в него более твердого тела (индентора).

В зависимости от скорости приложения нагрузки методы определения твердости подразделяются на **статические и динамические**. По способу приложения нагрузки — на методы **вдавливания, царапания, отскока**.

Наиболее распространенными способами определения твердости являются статические методы вдавливания в испытуемый материал «индентора» — наконечника определенной формы и размеров:

- твердосплавный или стальной закаленный шарик;
- алмазный конус;
- алмазная пирамида.

При всех методах определения твердости необходимо правильно подготовить поверхностный слой металла. В нем не должно быть окалины, выбоин, вмятин, грубых рисок и т. д. При этом свойства поверхностного слоя не должны изменяться вследствие наклепа или нагрева при шлифовании и по-

лировке. Нагрузка прилагается перпендикулярно к испытываемой поверхности. Неплоские образцы крепят на специальных опорных столиках, входящих в комплект приборов для измерения твердости.

В стандартных методах определения твердости при комнатной температуре время выдержки индентора под нагрузкой « τ » обычно составляет $\tau = 10\text{--}30$ с.

2 Измерение твердости по методу Бринелля (ГОСТ 9012–59)

Сущность этого метода состоит в том, что в испытываемый материал под действием нагрузки P в течение определенного времени τ вдавливается стальной закаленный или твердосплавный шарик диаметром D (1; 2; 2,5; 5 и 10 мм). В результате образуется отпечаток диаметром d (рисунок 1).

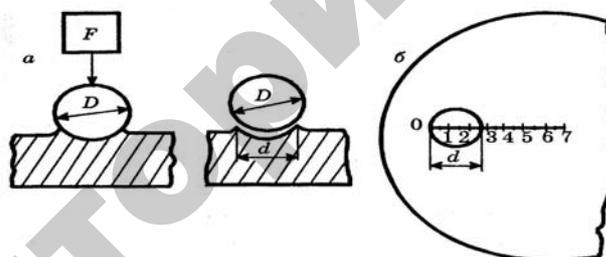


Рисунок 1 — Схема измерения твердости по Бринеллю

Число твердости по Бринеллю HB (HBW) — это отношение нагрузки P к площади полученного сферического отпечатка F и определяется по формуле (1):

$$HB(HBW) = P/F, \text{ МПа, (Н/мм}^2\text{)} \quad (1)$$

Площадь поверхности сферического отпечатка F (мм^2) рассчитывается по формуле:

$$F = \frac{\pi D d}{2}, \text{ мм}^2 \quad (2)$$

где D — диаметр шарика, мм;

d — диаметр отпечатка, мм.

Тогда

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \text{ МПа, (Н/мм}^2\text{)}. \quad (3)$$

При испытании твердости металлов с твердостью до 450 *HB* используют стальной закаленный шарик с твердостью 8500 МПа и обозначают твердость буквами «*HB*».

При измерении твердости по Бринеллю материалов с твердостью больше 450 *HB* используют шарик из твердого сплава с твердостью 15000 МПа и обозначают буквами «*HBW*».

Из формулы (3) следует, что для получения одинаковых значений *HB* одного и того же образца при использовании шариков разного диаметра отношение P/D^2 и d/D должно быть постоянным (соблюдение геометрического подобия отпечатков).

Перед испытаниями необходимо выбрать диаметр шарика и соответствующую нагрузку.

Рекомендуемые диаметры шариков и соответствующие нагрузки для различных металлических материалов приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Нагрузки (*P*) и диаметры шариков (*D*), рекомендуемые для измерения твердости по Бринеллю

Материал	Твердость по Бринеллю	<i>P, Н</i>	<i>D, мм</i>		
			10	5	2,5
Стали, чугуны, высокопрочные сплавы	130–450	$30D^2$	3000 0	7500	1875
Алюминий, медь и сплавы на их основе алюминия	35–130	$10D^2$	1000 0	2500	625
Алюминий, магний, цинк и сплавы на их основе меди	20–80	$5D^2$	5000	1250	312,5
Подшипниковые сплавы	8–50	$2,5D^2$	2500	625	156,25
Свинец, олово	до 20	$1,25D^2$	1250	312,5	78,125
Мягкие металлы при повышенных температурах	до 10–20	$0,5D^2$	500	125	31,25

Время выдержки образца τ под нагрузкой:

- для сталей — 10 с;

- для сплавов на основе алюминия и меди — 30 с;
- для подшипниковых сплавов, свинца, олова — 60 с.

Осуществив вдавливание шарика диаметров D при нагрузке P и времени τ , получают отпечаток d , после измерения которого, находят число твердости HB по стандартным таблицам. Измерение твердости по Бринеллю проводят на приборе типа ТШ-2 (рисунок 2).

Основной недостаток метода Бринелля — отсутствие геометрического подобия отпечатков.

Для многих металлов и сплавов вследствие общей физической сущности имеется линейная зависимость между твердостью HB и пределом прочности на растяжение σ_b :

$$\sigma_b = \chi HB, \text{ МПа, (Н/мм}^2\text{)},$$

где χ — коэффициент, имеющий значения, приведенные в таблице 2.

Таблица 2 — Коэффициент перевода числа твердости в предел прочности

Материал	Коэффициент χ
Стали с твердостью до 450 HB	0,35
Литейные алюминиевые сплавы	0,25
Деформируемые алюминиевые сплавы	0,38
Латуни и бронзы	0,45

Для малопластичных металлов и сплавов с высокой твердостью зависимость между σ_b и HB отсутствует.

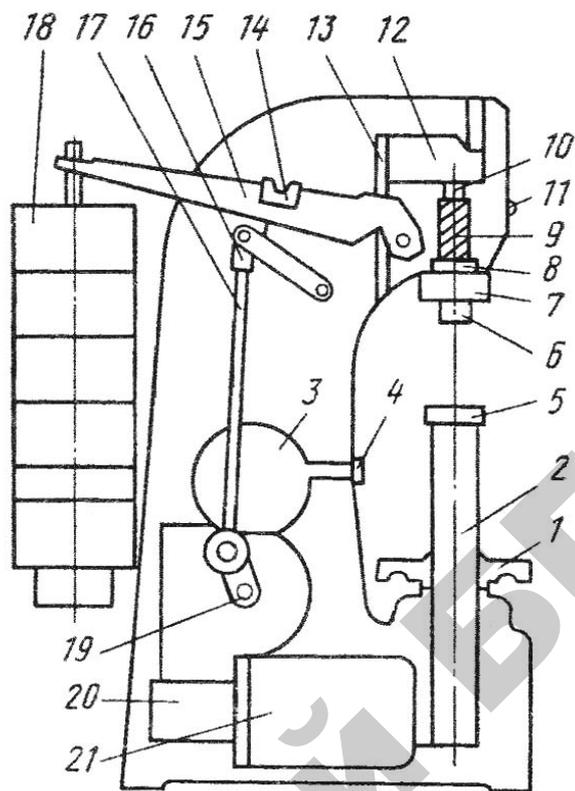


Рисунок 2 — Схема прибора ТШ-2 для определения твердости по Бринеллю: 1 — маховик; 2 — подъемный винт; 3 — шкала для задания времени выдержки; 4 — выключатель; 5 — опорный столик; 6 — шпиндель для индикатора; 7 — упорный чехол; 8 — втулка; 9 — пружина; 10 — шпиндель; 11 — сигнальная лампа; 12, 15 — рычаги; 13 — серьга; 14 — микропереключатель; 16 — вилка; 17 — шатун; 18 — грузы; 19 — кривошип; 20 — редуктор; 21 — электродвигатель

3 Измерение твердости по методу Роквелла (ГОСТ 9013–59)

Сущность этого метода заключается в том, что в испытуемый материал вдавливаются алмазный конус с углом при вершине 120° , либо стальной закаленный шарик диаметром $d = 1,588$ мм (1/16 дюйма) или $d = 3,175$ мм (1/8 дюйма).

Вдавливание инденторов в материал проводится под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок (рисунок 3):

- предварительной P_0 ;
- общей $P = P_0 + P_1$, где P_1 — основная нагрузка.

Предварительная нагрузка $P_0 = 100 \text{ Н}$ (10 кгс) не снимается до конца испытания. Эта нагрузка обеспечивает повышенную точность испытания.

Под нагрузкой P_0 индентор внедряется в материал на глубину h_0 , при общей нагрузке $P = P_0 + P_1$ индентор внедряется на глубину h .

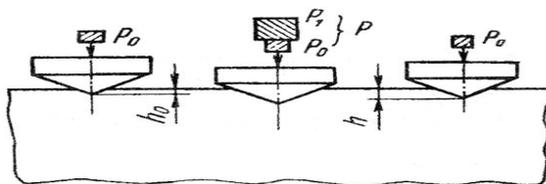


Рисунок 3 — Схема измерений твердости по Роквеллу

Разность глубин внедрения от общей и предварительной нагрузки и определяет твердость по Роквеллу. При этом величина h пропорциональна числу твердости по Роквеллу. Чем больше глубина вдавливания h , тем меньше число твердости HR по Роквеллу.

Применение различных инденторов и усилий вдавливания дает возможность определять твердость по Роквеллу по 9 «шкалам», однако на практике наиболее широко применяются только три:

- A, C — при использовании в качестве индентора алмазного конуса. Твердость обозначается: HRA, HRC ;
- B — при использовании в качестве индентора стального шарика. Твердость обозначается: HRB .

Единица твердости по Роквеллу — безразмерная величина. Число твердости вычисляют по формулам:

$$HRC_3 (HRA) = 100 - e, \quad (4)$$

$$HRB = 130 - e, \quad (5)$$

где $e = \frac{h - h_0}{0,002}$, (0,002 мм — цена деления индикатора прибора).

Значения P_0 , P_1 , P и диапазон измерений твердости при разных шкалах, представлены в таблице 3.

Таблица 3

Шкала	Обозначение числа твердости	Индентор	P_0	P_1	P	Диапазон измерений еди- ниц твердости
			кгс (Н × 10)			
<i>A</i>	<i>HRA</i>	конус	10	50	60	20–88
<i>C</i>	<i>HRC_c</i>	конус	10	140	150	20–77
<i>D</i>	<i>HRD</i>	конус	10	90	100	40–77
<i>B</i>	<i>HRB</i>	Шарик $d = 1,588$ мм	10	90	100	20–100
<i>E</i>	<i>HRE</i>	Шарик $d = 3,175$ мм	10	90	100	70–100
<i>F</i>	<i>HRF</i>	Шарик $d = 1,588$ мм	10	50	60	60–100
<i>G</i>	<i>HRG</i>	Шарик $d = 1,588$ мм	10	140	150	30–94
<i>H</i>	<i>HRH</i>	Шарик $d = 3,175$ мм	10	50	60	80–100
<i>K</i>	<i>HRK</i>	Шарик $d = 3,175$ мм	10	140	150	10–40

Алмазный конус используется для измерения твердости материалов с высокой твердостью (закаленных, цементированных и т. д.), шарик используется для измерения твердости материалов с низкой твердостью (после отжига, высокого отпуска).

На рисунке 4 представлена схема прибора для измерения твердости по Роквеллу типа ТК-2. Шкала прибора имеет диапазон 100 делений. Перемещение стрелки на одно деление соответствует 0,002 мм.

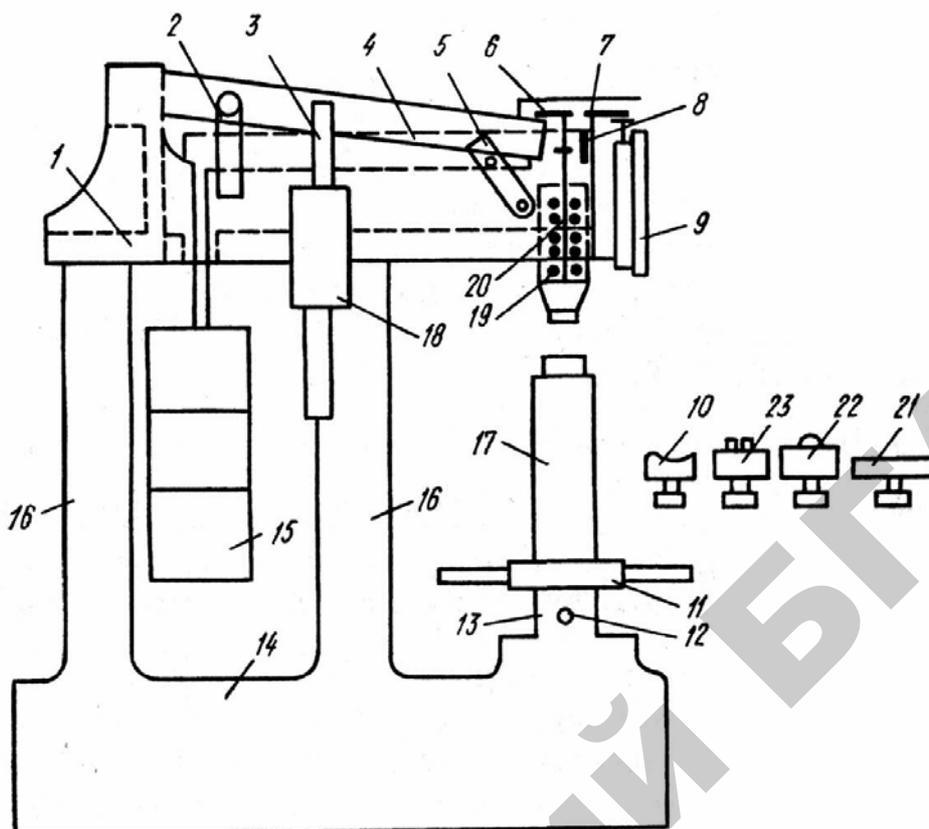


Рисунок 4 — Схема прибора типа ТК-2 для измерения твердости по Роквеллу:
 1 — поперечина; 2 — подвеска; 3 — шток; 4 — рычаг; 5 — рукоятка; 6 — винт; 7 — рычаг;
 8 — призма; 9 — индикатор; 10 — столик опорный; 11 — маховик; 12 — шпонка; 13 — втулка направляющая; 14 — станина; 15 — грузы; 16 — стойка; 17 — винт подъемный; 18 — амортизатор масляный; 19 — пружина; 20 — шпindelь; 21, 22, 23 — столики опорные

В настоящее время число твердости различными методами можно определять на одном приборе. Например, универсальный твердомер УПТ-1 позволяет измерять твердость всеми рассмотренными методами. Переход от одного к другому требует лишь смены индентора и грузов.

4 Оборудование

1. Образцы углеродистой качественной стали диаметром 30–60 мм, толщиной 20–50 мм.
2. Твердомер ТШ-2 (полуавтоматический рычажный пресс) для измерения твердости по методу Бринелля.

3. Твердомер ТК-2 (полуавтоматический рычажный пресс) для измерения твердости по методу Роквелла.
4. Отсчетный микроскоп МПБ-2.

5 Порядок проведения испытаний

5.1 Определение твердости по методу Бринелля на приборе ТШ-2

1. Выбрать условия испытания $D/P/t$ по таблице 1 и настроить прибор.
2. Установить образец на столик и вращением маховика подвести образец к шарiku до упора.
3. Включить электродвигатель для автоматического внедрения индентора в испытуемый материал с последующей выдержкой под нагрузкой, снятием нагрузки и автоматического отключения прибора.
4. Опустить столик, снять образец.
5. С помощью отсчетного микроскопа МПБ-2 измерить диаметр отпечатка d в двух взаимно перпендикулярных направлениях, определив среднее значение.
6. Определить число твердости по Бринеллю, используя таблицу 4, где приведены рассчитанные значения HB для различных диаметров отпечатков, или рассчитав по формуле (3).

Примеры обозначения:

При определении твердости шариком диаметром $D = 10$ мм, при усилии 3000 кгс (30 000 Н) и выдержке 10–15 с твердость по Бринеллю выражается числом значения твердости и обозначением HB или HBW . Например: 170 HB или 600 HBW .

При измерении твердости по Бринеллю при иных условиях испытания — эти условия испытания указываются при указании числа твердости. Например: 285 HB 5/750/30 — твердость по Бринеллю 285, использовался шарик диаметром $D = 5$ мм, при усилии 750 кгс (7 500 Н), продолжительность выдержки 30 с.

Таблица 4 — Твердость по Бринеллю

Диаметр отпечатка в мм d_{10} , или $2d_5$, или $4d_{2,5}$	Число твердости при нагрузке P в кг			Диаметр отпечатка в мм d_{10} , или $2d_5$, или $4d_{2,5}$	Число твердости при нагрузке P в кг		
	$30 D^2$	$10 D^2$	$2,5 D^2$		$30 D^2$	$10 D^2$	$2,5 D^2$
2,90	444	—	—	4,50	179	59,5	14,9
2,95	429	—	—	4,55	174	58,1	14,5
3,0	415	—	34,6	4,60	170	56,8	14,2
3,05	401	—	33,4	4,65	167	55,5	13,9
3,10	388	129	32,3	4,70	163	54,3	13,6
3,15	375	125	31,3	4,75	159	53,0	13,3
3,20	368	121	30,3	4,80	156	51,9	13,0
3,25	352	117	29,3	4,85	152	50,7	12,7
3,30	341	114	28,4	4,90	149	49,6	12,4
3,35	331	110	27,6	4,95	146	48,6	12,2
3,40	321	107	26,7	5,00	143	47,5	11,9
3,45	311	104	25,9	5,05	140	46,5	11,6
3,50	302	101	25,2	5,10	137	45,5	11,4
3,55	293	97,7	24,5	5,15	134	44,6	11,2
3,60	285	95	23,7	5,20	131	43,7	10,9
3,65	277	92,8	23,1	5,25	128	42,8	10,7
3,70	269	89,7	22,4	5,30	126	41,9	10,5
3,75	262	87,2	21,8	5,35	123	41,0	10,3
3,80	255	84,9	21,2	5,40	121	40,2	10,1
3,85	248	82,6	20,7	5,45	118	39,4	9,86
3,90	241	80,4	20,1	5,50	116	38,6	9,66
3,95	235	78,3	19,6	5,55	114	37,9	9,46
4,0	229	76,3	19,1	5,60	111	37,4	9,27
4,05	223	74,3	18,6	5,65	109	36,4	9,10
4,10	217	72,4	18,4	5,70	107	35,7	8,93
4,15	212	70,6	17,6	5,75	105	35,0	8,76
4,20	207	68,8	17,2	5,80	103	34,3	8,59
4,25	201	67,1	16,8	5,85	101	33,7	8,43
4,30	197	65,5	16,4	5,90	99,2	33,1	8,26
4,35	192	63,9	16,0	5,95	97,3	32,4	8,11
4,40	187	62,4	15,6	6,00	95,5	31,8	
4,45	188	60,9	15,2				

Примечание: Обозначения $2d_5$ и $4d_{2,5}$ указывают, что для отыскания по таблице числа твердости при испытании шариком диаметром 5 мм диаметр отпечатка надо умножить на 2, а при испытании шариком диаметром 2,5 мм — на 4. Например, для отпечатка диаметром 1,65 мм, полученного при испытании шариком диаметром 5 мм под нагрузкой 750 кг, число твердости следует искать в таблице для отпечатка 3,30 мм ($2,165 = 3,30$); оно равно 341.

5.2 Определение твердости по методу Роквелла на приборе ТК-2

1. Выбрать условия испытания — индентор и соответствующие основные усилия по таблице 3.
2. Установить образец на столик.
3. Вращением маховика подвести образец к индентору, при этом начинается вращение большой и малой стрелок на циферблате прибора. Вращение маховика осуществлять до тех пор, пока малая стрелка не совместится с красной точкой. При этом осуществляется внедрение индентора с предварительным усилием $P_0 = 10$ кгс (100 Н).
4. Большую стрелку всегда совмещают с «0» черной шкалы C (CA) независимо от индентора. Это осуществляется поворотом зубчатого барабанчика, находящегося выше педали.
5. Включить электродвигатель кнопкой или выключателем.
6. Приложить общее усилие нажатием на педаль. После нажатия педали большая стрелка начинает вращаться. После остановки большая стрелка показывает число твердости.
7. Зафиксировать положение стрелки прибора по одной из шкал. При использовании конуса число твердости считывается по «черной» шкале, для шарика по «красной» шкале.
8. Отвести образец от индентора, отключить прибор от сети.

Твердость — твердость по Роквеллу 53 единицы по шкале C , $75HRA$ — твердость по Роквеллу 75 единиц по шкале A .
9. Выполнить перевод твердости по Роквеллу в твердость по Бринеллю, в соответствии с таблицей 5.

Таблица 5 — Соотношение чисел твердости по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу

Твердость по Виккерсу	Твердость по Бринеллю ($D=10$ мм; $P=3000$ кг)		Твердость по Роквеллу. Шкала			Твердость по Виккерсу	Твердость по Бринеллю ($D=10$ мм; $P=3000$ кг)		Твердость по Роквеллу Шкала		
	диаметр отпечатка, мм	число твердости	C (150 кг)	B (100 кг)	A (60 кг)		диаметр отпечатка, мм	число твердости	C (150 кг)	B (100 кг)	A (60 кг)
1224	2,20	780	72	—	84	228	4,00	229	20	100	61
1116	2,25	745	70	—	83	222	4,05	223	19	99	60
1022	2,30	712	68	—	82	217	4,10	217	17	98	60
941	2,35	682	66	—	81	213	4,15	212	15	97	59
868	2,40	653	64	—	80	208	4,20	207	14	95	59
804	2,45	627	62	—	79	201	4,25	201	13	94	58
746	2,50	601	60	—	78	197	4,30	197	12	93	58
694	2,55	578	58	—	78	192	4,35	192	11	92	57
650	2,60	555	56	—	77	186	4,40	187	9	91	57
606	2,65	534	54	—	76	183	4,45	183	8	90	56
587	2,70	514	52	—	75	178	4,50	179	7	90	56
551	2,75	495	50	—	74	174	4,55	174	6	89	55
534	2,80	477	49	—	74	171	4,60	170	4	88	55
502	2,85	461	48	—	73	166	4,65	167	3	87	54
474	2,90	444	46	—	73	162	4,70	163	2	86	53
460	2,95	429	45	—	72	159	4,75	159	1	85	53
435	3,00	415	43	—	72	155	4,80	156	0	84	52
423	3,05	401	42	—	71	152	4,85	152	—	83	—
401	3,10	388	41	—	71	149	4,90	149	—	82	—
390	3,15	375	40	—	70	148	4,95	146	—	81	—
380	3,20	363	39	—	70	143	5,00	143	—	80	—
361	3,25	352	38	—	69	140	5,05	140	—	79	—
344	3,30	341	36	—	68	138	5,10	137	—	78	—
334	3,35	331	35	—	67	134	5,15	134	—	77	—
320	3,40	321	33	—	67	131	5,20	131	—	76	—
311	3,45	311	32	—	66	129	5,25	128	—	75	—
303	3,50	302	31	—	66	127	5,30	126	—	74	—
292	3,55	293	30	—	65	123	5,35	123	—	73	—
285	3,60	285	29	—	65	121	5,40	121	—	72	—
278	3,65	277	28	—	64	118	5,45	118	—	71	—
270	3,70	269	27	—	64	116	5,50	116	—	70	—
261	3,75	262	26	—	63	115	5,55	114	—	68	—
255	3,80	255	25	—	63	113	5,60	111	—	67	—
249	3,85	248	24	—	62	110	5,65	110	—	66	—
240	3,90	241	23	102	62	109	5,70	109	—	65	—
235	3,95	235	21	101	61	108	5,75	107	—	64	—

6 Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткое описание определения твердости по методу Бринелля, схему определения твердости данным методом.
3. Краткое описание определения твердости по методу Роквелла, схему определения твердости данным методом.
4. Протоколы испытаний по прилагаемым формам (таблица 6, 7).
5. Выводы.

Таблица 6 — Протокол испытания твердости по Бринеллю

№ п/п	Условия испытания $D/P/\tau$	Диаметр отпечатка, мм			Твердость по Бринеллю, HB	Предел прочности, σ_b , МПа
		вдоль	поперек	среднее арифметическое		
1						
2						
3						

Таблица 7 — Протокол испытания твердости по Роквеллу

№ п/п	Условия испытания		Шкала	Число твердости, HR	Перевод в число твердости по Бринеллю, HB
	индентор	усилие P , кгс (Н)			
1					
2					
3					

7 Контрольные вопросы

1. Что такое твердость металлов?
2. Какие существуют методы измерения твердости металлов?
3. В чем сущность измерения твердости металлов по методу Бринелля?
4. В чем сущность измерения твердости металлов по методу Роквелла?
5. Как обозначается твердость, измеренная по методу Бринелля, и как рассчитывается?
6. Что является условиями испытания при измерении твердости по методу Бринелля?
7. Шарики каких диаметров применяются при измерении твердости по методу Бринелля?
8. Как выбирается усилие при испытании твердости по методу Бринелля?
9. Какая существует зависимость между твердостью по Бринеллю и пределом прочности?
10. Как обозначается твердость, измеренная по методу Роквелла?
11. Чему равна твердость, измеренная по методу Роквелла?
12. Какие инденторы используются при измерении твердости методом Роквелла?
13. Какие шкалы существуют при измерении твердости по Роквеллу?
14. Какое усилие применяется при измерении твердости по Роквеллу?
15. Какой недостаток измерения твердости по Бринеллю?
16. Какие требования к поверхности металла предъявляются при измерении твердости методами Бринелля и Роквелла?
17. Последовательность измерения твердости по методу Бринелля?
18. Последовательность измерения твердости по методу Роквелла?

Лабораторная работа № 2 «Микроструктурный метод исследования металлов»

Цель работы:

- 1) изучить микроструктурный метод исследования металлов;
- 2) изучить устройство металлографического микроскопа;
- 3) ознакомиться с процессом приготовления микрошлифов;
- 4) провести микроанализ сплава и определить марку стали.

1 Общие сведения

В современной технике применяются в большинстве не простые металлы, состоящие из одного элемента, а сплавы, так как они обладают лучшими свойствами. Наибольшее применение в сельскохозяйственном машиностроении находят железоуглеродистые сплавы (**стали и чугуны**), свойства которых зависят от многих факторов: химического состава, способа выплавки, скорости охлаждения, наличия неметаллических включений и т. д. Различие свойств определяется их внутренним строением — *структурой*. Для изучения строения металлов и сплавов используют различные методы: макроанализ, микроанализ, рентгеноструктурный анализ и др.

Макроанализ. Макроскопический анализ заключается в изучении строения сплавов невооруженным глазом или с помощью небольших увеличений (до 30 раз) с помощью лупы. Строение металлов и сплавов, определяемое этим методом, называется *макроструктурой*.

Макроанализ позволяет установить:

- строение металла или сплава в литых деталях или слитках, наличие и характер распределение зон кристаллизации, усадочных раковин, пористости, трещин и т. д.;
- химическую неоднородность, получаемую в процессе кристаллизации;
- неоднородность состава и структуры, созданной термической или химико-термической обработкой;

- строение металла после горячей обработки давлением (проката, штамповки,ковки и т. д.);
- характер излома металла или сплава.

Микроанализ. Микроструктурный анализ заключается в исследовании *микроструктуры* материалов при больших увеличениях (в 60–50000 раз) с помощью металлографических или электронных микроскопов

В настоящее время используется много марок металлографических микроскопов: МИМ-7, ММР-4, ММУ-3, МИМ-8М, *Neophot-21* и др. Однако все микроскопы для микроструктурного анализа сконструированы по одному базовому принципу: освещение объекта и изучение его в отраженном свете.

На электронных микроскопах изучают очень тонкие слепки или реплики (тонкая фольга), а также поверхности атомов, при помощи которых снимают отпечаток с микрорельефного строения приготовленного микрошлифа.

Рентгеноструктурным анализом называется исследование внутреннего строения металлов или сплавов с помощью рентгеновских лучей на специальных установках. Этот вид анализа основан на дифракции рентгеновских лучей рядами атомов в кристаллической решетке. Рассеянные рентгеновские лучи фиксируются на фотопленке или фотопластинке в виде пятен или колец. По характеру расположения этих колец определяются параметры и тип кристаллической решетки, а также степень ее искаженности и величина внутренних напряжений. Выявленное с помощью рентгеновских лучей строение металлов называется *рентгеноструктурой*.

На практике наиболее часто используется микроструктурный метод исследования металлов.

2 Методика приготовления микрошлифа

Для микроструктурного метода необходимо приготовить специальный микрошлиф исследуемого образца. *Микрошлифом* называется образец металла, поверхность которого специально подготовлена для микроанализа.

Подготовка микрошлифа состоит в получении плоского среза в нужном месте поверхности образца металла и последующего шлифования, полирования и травления этой поверхности с целью выявления структуры. Заготовку для микрошлифа опиливают напильником или обдирают на наждачном круге. Материалы, обладающие большей твердостью, разрезают вулканитовыми, карборундовыми, алмазными кругами или электроэрозионным способом. При этом образец не должен разогреваться, так как значительный нагрев может вызывать изменение структуры. Образцы небольших размеров для облегчения обработки помещают в специальные зажимы, состоящие из двух пластин (струбцинки) или помещают в тонкостенные металлические кольца и заливают легкоплавкими сплавами, эпоксидными смолами, расплавленной серой и т. д. Затем производится грубая шлифовка в три перехода на наждачных шкурках с номером зерна 63–50, 40–28 и 25–12 (ГОСТ 13344–79).

Шлифовка ведется до исчезновения рисок от предыдущей обработки. Для этого, при переходе на шлифовальную шкурку с меньшим номером зерна, образец поворачивают на 90° . Тонкая шлифовка ведется в два перехода последовательно на микрошкурках M28–M20 и M14–M10, при этом образец слегка прижимается к кругу. Полировка производится на вращающемся фетровом круге. Поверхность фетра периодически смачивается суспензией абразива. В качестве абразива используется оксид хрома, оксид алюминия или магния. Полировка ведется до исчезновения рисок, видимых под микроскопом при увеличении в 100 раз. После полировки микрошлиф промывается в струе проточной воды, обезжиривается спиртом смачиванием поверхности микрошлифа тампоном. Промытый и обезжиренный микрошлиф сушится фильтровальной бумагой. После промывки и сушки поверхность микрошлифа должна быть идеально чистой, без признаков загрязнения и следов влаги.

Травление микрошлифов сталей и чугунов производится 4 %-ным раствором азотной кислоты в спирте окутанием или смачиванием тампоном. Длительность травления от 5 до 30 с. После травления производится промывка спиртом, а затем сушка фильтровальной бумагой. Контроль произво-

дится визуально до равномерного потускнения поверхности. Микрошлиф рассматривается под микроскопом дважды: до травления и после травления.

При рассмотрении микрошлифа, приготовленного из доэвтектоидной стали, после полирования (до травления) под микроскопом виден светлый круг, на котором иногда заметны темные участки (серые или черные). Эти участки являются неметаллическими включениями в виде шлаков, оксидов, сульфидов и т. д. Если микрошлиф был приготовлен некачественно, то могут быть заметны царапины и другие дефекты обработки.

При рассмотрении микрошлифа, приготовленного из доэвтектоидной стали после травления, выявляется его структура, которая имеет зернистое строение. При этом зерна имеют различную видимость.

Однофазные структурные составляющие (чистые металлы, твердые растворы, химические соединения) будут выглядеть светлыми. Это объясняется равномерным воздействием травителя на все зерна. Следовательно, луч света, падающий на такое зерно, будет отражаться от его поверхности, проходить в объектив и давать светлое отраженное изображение. Границы между однородными и неоднородными зернами имеют повышенное содержание примесей и травятся (растворяются) быстрее, вследствие чего образуются углубления (канавки). Свет, падающий на них, будет частично рассеиваться, и в результате они будут выглядеть более темными (рисунок 5).

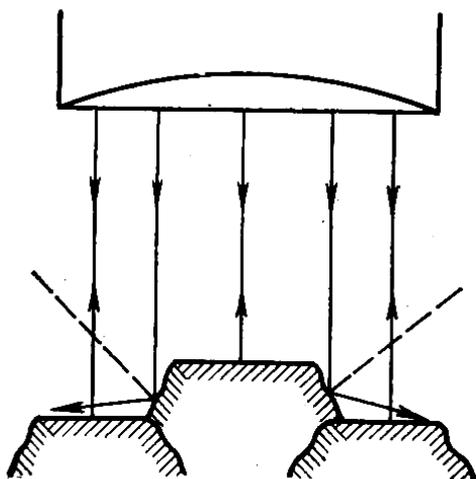


Рисунок 5 — Схема отражения лучей от полированной и протравленной поверхности микрошлифа, состоящего из однородных структурных составляющих

В зернах, состоящих из неоднородных составляющих (двух или более фаз, например, механические смеси: перлит, ледебурит и т. п.), каждая составляющая при воздействии травителя будет протравливаться на различную глубину. В результате на поверхности таких зерен будет образовываться микрорельеф. Свет, падающий на поверхность протравленного неоднородного зерна, рассеивается и попадает в объектив микроскопа в меньшем количестве, чем и объясняется его темный цвет (рисунок 6).

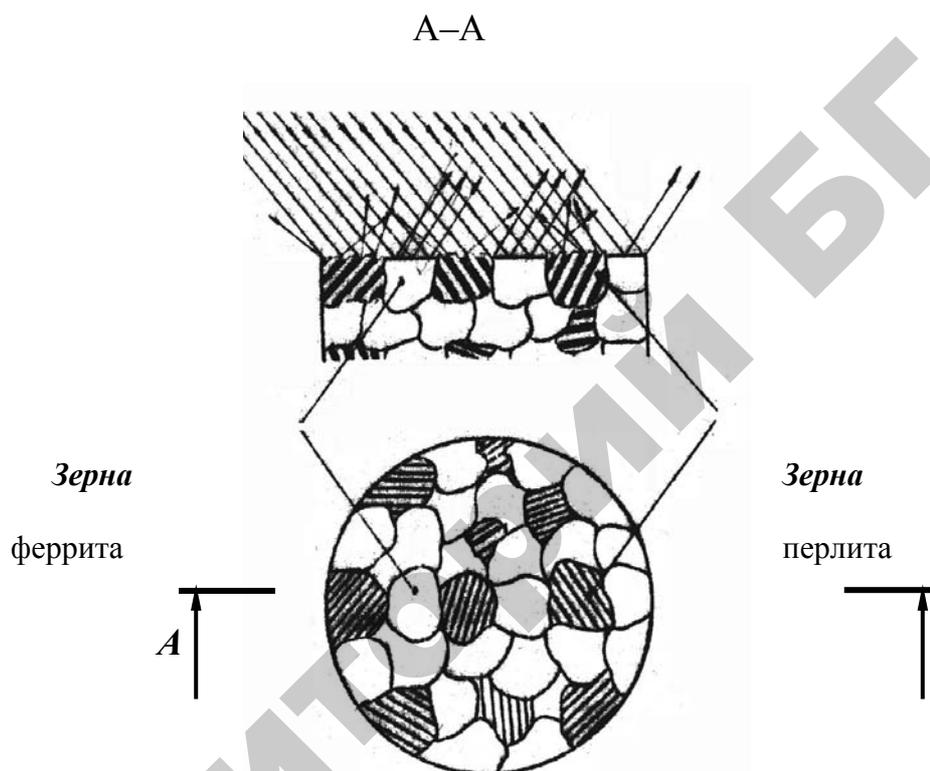


Рисунок 6 — Схема отражения лучей от полированной и протравленной поверхности микрошлифа, состоящего из неоднородных структурных составляющих

3 Характеристики металлографического микроскопа

Металлографические микроскопы предназначены для визуального наблюдения и фотографирования непрозрачных объектов в светлом поле при прямом освещении, в темном поле при косом освещении и поляризованном свете с увеличением 60–1500 раз. Микроскоп позволяет применять иммерсионные объекты, обладающие более высокой разрешающей способностью.

Основными характеристиками микроскопа являются его общее и полезное увеличение, а также разрешающая способность.

Разрешающая способность микроскопа характеризуется минимальным расстоянием между двумя точками, при котором они различаются раздельно. Это расстояние может быть определено по формуле:

$$d = \frac{\lambda}{A}, \quad (1)$$

где d — разрешающая способность, мкм;

λ — длина световой волны в ангстремах, для белого света 0,6 мкм;

A — числовая апертура объектива.

Числовая апертура объектива определяется уравнением:

$$A = h \sin \frac{\alpha}{2}, \quad (2)$$

где h — коэффициент преломления среды между исследуемым предметом и объективом;

α — отверстиеный угол объектива (рисунок 7).

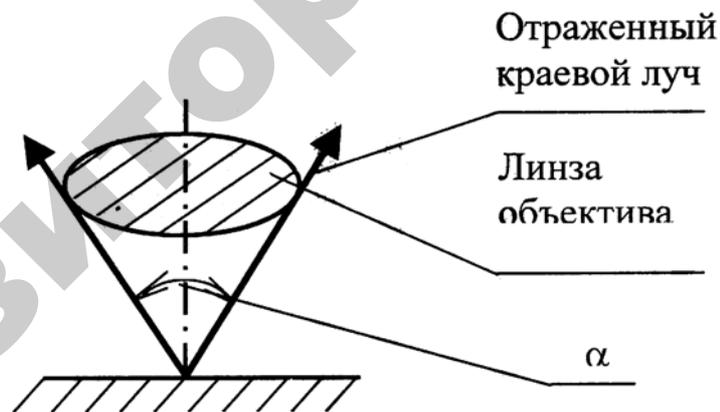


Рисунок 7 — Отверстный угол объектива

Поскольку коэффициент преломления лучей света в воздухе $h = 1$, то наибольшее значение числовой апертуры при максимальном значении отверстиеного угла объектива $\alpha = 144^\circ$ будет

$$A = h \sin \frac{\alpha}{2} = 1 \times 0,95 = 0,95.$$

При применении иммерсионного объектива, где свет проходит через

прослойку кедрового масла, коэффициент преломления $n = 1,51$.

Тогда наибольшее значение числовой апертуры будет

$$A = n \sin \frac{\alpha}{2} = 1,51 \times 0,95 = 1,43.$$

Как известно из курса физики, разрешающая способность микроскопа для белого цвета с учетом дифракции определяется уравнением:

$$d = \frac{\lambda}{2A} = \frac{0,6}{2 \times 0,95} \approx 0,3, \text{ мкм.} \quad (3)$$

При применении иммерсионного объектива с числовой апертурой $A = 1,43$ разрешающая способность микроскопа

$$d = \frac{\lambda}{2A} = \frac{0,6}{2 \times 1,43} \approx 0,2 \text{ мкм.} \quad (4)$$

Этот расчет показывает, что в оптическом микроскопе, какое бы большее увеличение не применяли, мы не увидим кристаллит, размеры которого меньше 0,2–0,3 мкм.

Полезное увеличение микроскопа M , т. е. увеличение, при котором выявляются детали рассматриваемого предмета, определяется уравнением:

$$M = \frac{d_1}{d}, \quad (5)$$

где d_1 — разрешающая способность человеческого глаза. Наименьшая раз-

решающая способность глаза человека равна 300 мкм;

d — разрешающая способность микроскопа, мкм.

Тогда полезное увеличение обычного (сухого) объектива:

$$M = \frac{300}{0,3} = 1000, \text{ раз.} \quad (6)$$

Для иммерсионного объектива

$$M = \frac{300}{0,2} = 1500, \text{ раз.} \quad (7)$$

Общее увеличение микроскопа определяется по формуле:

$$V_{\text{м}} = V_{\text{ок}} \times V_{\text{об}}, \quad (8)$$

где $V_{\text{ок}}$ и $V_{\text{об}}$ — увеличения окуляра и объектива соответственно.

Четкость изображения достигается при правильном подборе (комбинации) увеличений объектива и окуляра. В таблице 8 содержатся характеристики объективов и окуляров МИМ-7 и их сочетание для необходимого увеличения.

Таблица 8 — Увеличения микроскопа МИМ-7

Объективы	Окуляры						
	При визуальном наблюдении				При фотографировании		
	7*	10*	15*	20*	7*	10*	15*
$F = 23,17; A = 0,17$	60	90	130	170	70	120	160
$F = 13,89; A = 0,30$	100	140	200	300	115	200	270
$F = 8,16; A = 0,37$	170	240	360	500	200	340	450
$F = 6,16; A = 0,65$	—	320	500	650	—	440	600
$F = 2,77; A = 1,25$	500	720	1080	1440	575	1000	1350

Примечание: A — числовая апертура (мера светосилы объектива); F — фокусное расстояние.

4 Устройство микроскопа МИМ-7

На рисунке 8 показан общий вид металлографического микроскопа МИМ-7. Он состоит из следующих основных систем: оптической, осветительной с фотографической аппаратурой и механической.

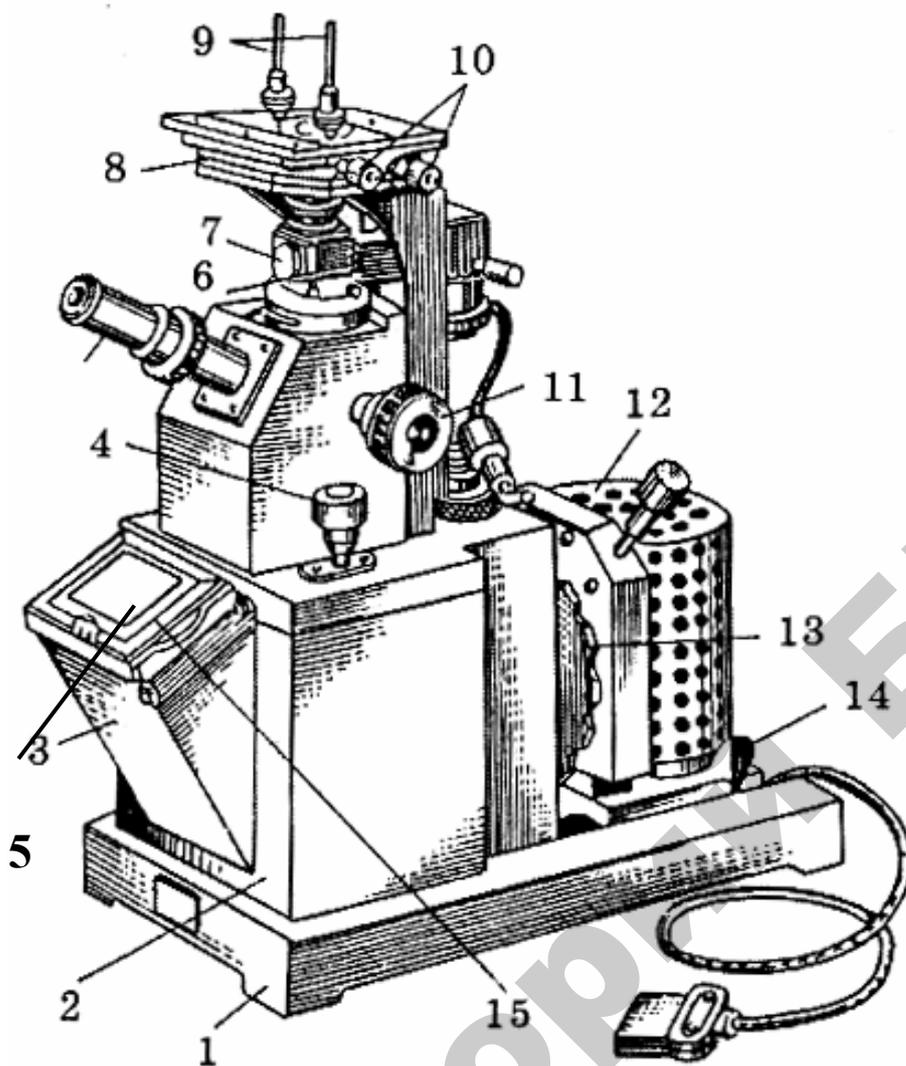


Рисунок 8 — Общий вид микроскопа МИМ-7:

1 — основание; 2 — корпус; 3 — фотокамера; 4 — микрометрический винт; 5 — визуальный тубус с окуляром; 6 — рукоятка иллюминатора; 7 — иллюминатор; 8 — предметный столик; 9 — клеммы; 10 — винты перемещения столика; 11 — макрометрический винт; 12 — осветитель; 13 — рукоятка светофильтров; 14 — стопорное устройство осветителя; 15 — рамка с матовым стеклом

Оптическая система микроскопа включает объектив и окуляр, от которых зависит увеличение микроскопа, и ряд вспомогательных элементов: призмы, зеркала, линзы, диафрагмы. Они смонтированы в корпусе и нужны, чтобы сложный, рассеянный луч белого цвета превратить в прямолинейный и сфокусировать его в одной точке. Объектив, представляющий собой сочетание линз, дает реальное увеличение микроструктуры. Окуляр состоит из нескольких линз и предназначен для увеличения изображения, полученного объективом.

В осветительную систему микроскопа входят источник света, набор линз, светофильтров и диафрагм. Источником света является электрическая

лампа (17 В), включаемая в сеть через понижающий трансформатор.

Механическая система включает устройства для макро- и микрофокусировки. Макрофокусировка осуществляется с помощью винта, ручки которого располагаются слева и справа на боковых поверхностях корпуса микроскопа, и стопора с рукояткой (слева). Микрофокусировка производится винтом, расположенным справа, ниже макровинта. Перемещение предметного столика в горизонтальных направлениях для просмотра всей поверхности шлифа проводится двумя винтами, расположенными на его боковой поверхности. Около этих винтов на столике нанесены шкалы отсчета с ценой деления 1 мм.

5 Оборудование, материалы, инструменты

1. Металлографический микроскоп МИМ-7.
2. Шлифовально-полировальный станок.
3. Набор микрошлифов.
4. Набор наждачных бумаг, оксид хрома, раствор травителя.
5. Плакаты, стенды, фотографии микроструктур сталей.

6 Порядок выполнения работы

Для проведения исследования микроструктуры, студенты получают набор шлифов из доэвтектоидной стали.

Шлифы предварительно шлифуются лаборантом. Полирование и травление студент проводит самостоятельно.

На микроскопе МИМ-7 при заданном увеличении ($\times 240$) рассматриваются микроструктуры шлифов до и после травления.

Анализ полученного результата проводят путем определения содержания углерода в стали, в зависимости от процентного соотношения темных (перлит) и светлых (феррит) зерен. Микроструктура доэвтектоидной стали приведена на рисунке 9, а, а ее схематическое изображение на рисунке 9, б.

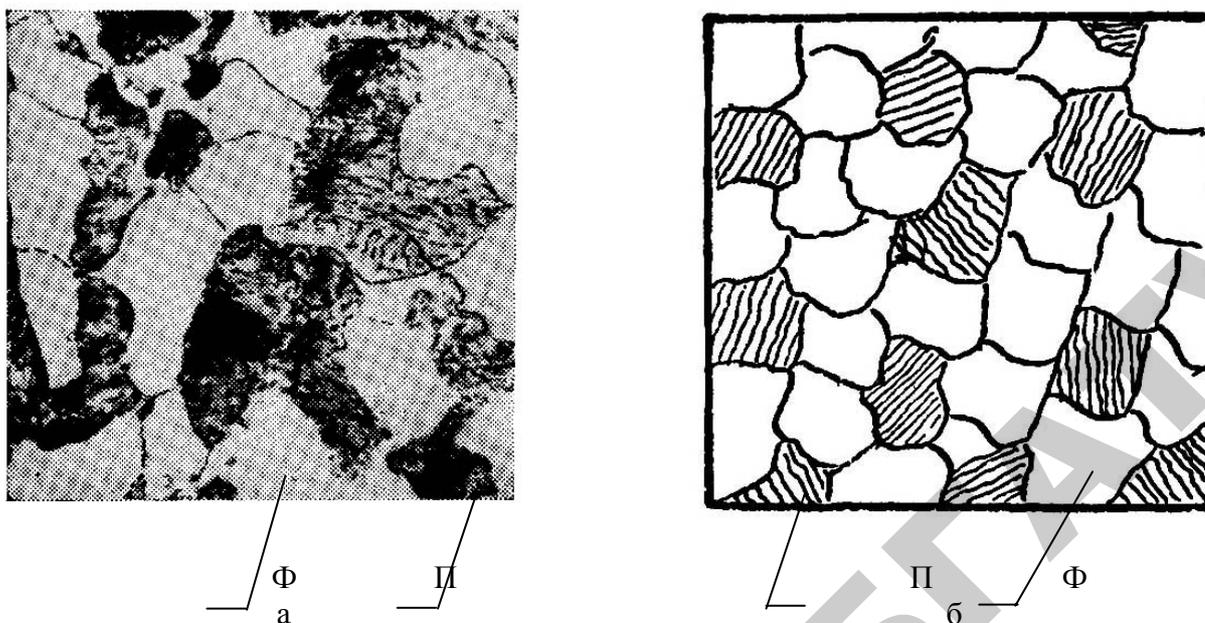


Рисунок 9 — Микроструктура доэвтектоидной стали (а), (увеличение 240) и ее схематическое изображение (б)

По количественному соотношению светлых и темных зерен (феррит, перлит), оцениваемых визуально, определяется количество перлита. По нему, с учетом содержания углерода (С) в перлите (0,8 %) определяют содержание углерода в стали. На рисунке 9, б видно, что темных зерен перлита в изучаемой стали примерно 30%. Тогда для определения содержания в ней углерода составим пропорцию:

– Перлита 100 %–0,8 % С;

– Перлита 30 %–X % С.

Тогда $X = \frac{0,8 \times 30}{100} \% \text{ С} = 0,24 \% \text{ С}$, что соответствует марке стали 25.

7 Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Дать определение основным методам исследования структуры металлов и сплавов.
3. Описать технологию приготовления микрошлифов.
4. Привести схему отражения световых лучей от поверхности микрошлифа после травления.

5. Зарисовать изображение микрошлифа до травления с указанием дефектов и элементов структуры и после травления с указанием структурных составляющих.
6. Определить марку стали по микроструктуре приготовленного микрошлифа и приведенной пропорции.
7. Выводы по работе.

8 Контрольные вопросы

1. Дайте определение металлам и металлическим сплавам.
2. Какое строение имеют металлы и сплавы?
3. Что называется структурой?
4. Какие методы применяют для исследования строения металлов?
5. Что называется макроанализом?
6. Пояснить сущность рентгеноструктурного анализа металлов.
7. Что называется микроанализом?
8. Что называется микрошлифом?
9. Технология приготовления микрошлифа.
10. Чем производится грубая и тонкая шлифовка микрошлифа?
11. Как производится полирование микрошлифа?
12. Чем и с какой целью осуществляются травления микрошлифа?
13. Поясните схему видимости границ зерен под микроскопом.
14. Поясните схему видимости однородных и неоднородных зерен под микроскопом.
15. Какие вы знаете характеристики микроскопа?
16. Из каких основных узлов состоит микроскоп МИМ-7?

Лабораторная работа №3 «Углеродистые стали и чугуны»

Цель работы:

- 1) изучить влияние углерода и постоянных примесей на свойства сталей и чугунов;
- 2) изучить классификацию, маркировку и применение углеродистых конструкционных и инструментальных сталей;
- 3) изучить классификацию, маркировку и области применения белых и серых чугунов

1 Стали

1.1 Общие сведения

Сталь — это сплав железа с углеродом, содержание углерода (C) в котором не превышает 2,14 %.

Сталь является многокомпонентным сплавом, содержащим кроме углерода ряд постоянных или неизбежных примесей Mn, Si, S, P, O, N, H и др., которые оказывают влияние на ее свойства.

Изменение соотношения в структуре стали пластичной (феррит) и твердой (цементит) фаз с увеличением содержания углерода (рисунок 10) является причиной повышения у стали прочностных ($\sigma_{\text{в}}, \sigma_{0,2}, HB$) и снижения пластических (δ, Ψ) свойств. При содержании углерода больше 1,0–1,2 %, твердость стали в отожженном состоянии возрастает, а предел прочности уменьшается. Это объясняется выделением по границам бывшего зерна аустенита вторичного цементита. При испытании на растяжение образовавшийся вокруг зерен перлита каркас из цементита разрушается, приводя к снижению предела прочности.

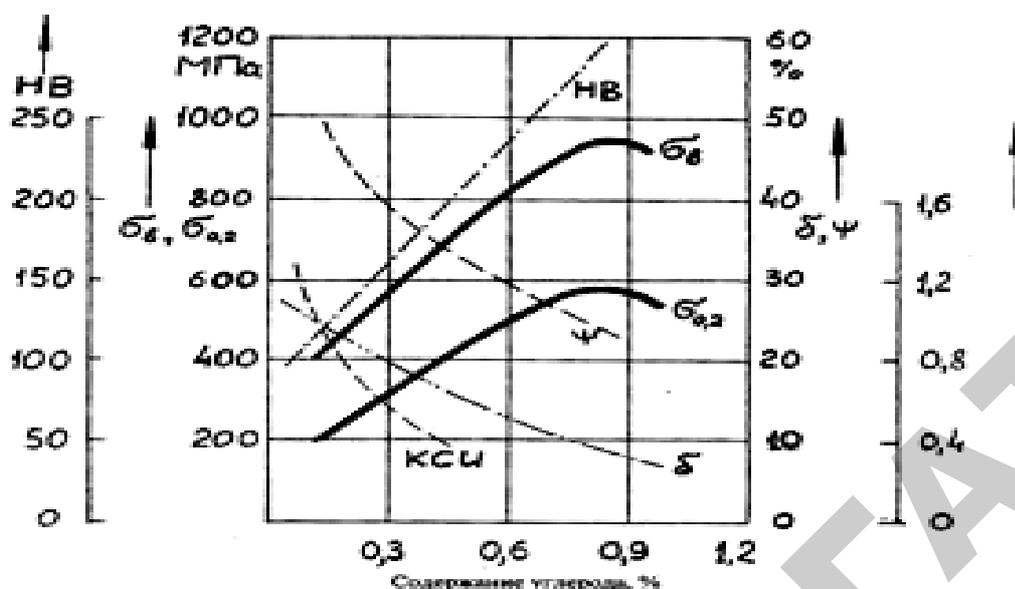


Рисунок 10 — Влияние углерода на механические свойства стали

Микроструктуры технически чистого железа и углеродистых сталей характеризуются левой нижней частью диаграммы состояния железо — цементит. Сплавы с содержанием до 0,02 % углерода называются технически чистым железом, от 0,02 до 0,8 % C — *доэвтектоидными* сталями, с содержанием 0,8 % C — *эвтектоидной* с талью и с содержанием более 0,8 % C — *заэвтектоидными* сталями.

Микроструктура доэвтектоидной стали состоит из феррита и перлита (рисунок 11).

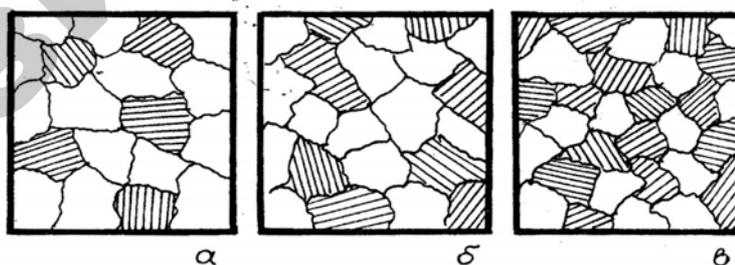


Рисунок 11 — Схемы микроструктур стали с разным содержанием углерода:
а) — 0,25 % C; б) — 0,40 % C; в) — 0,60 % C

В доэвтектоидной стали после травления феррит выявляется в виде светлых полей, а перлит — в виде полей полосчатого строения. Микроструктура эвтектоидной стали, состоит только из перлита (рисунок 12). **Перлит** — это структурная составляющая, состоящая из двух фаз: феррита и цементита.

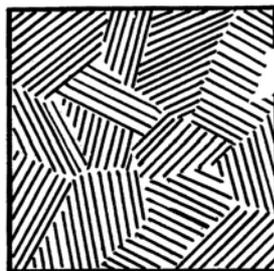


Рисунок 12 — Схема микроструктуры эвтектоидной стали с 0,8 % углерода

Заэвтектоидная сталь имеет структуру, состоящую из перлита и вторичного цементита (рисунок 13). В результате медленного охлаждения заэвтектоидная сталь имеет структуру перлита и сетку цементита, белая сетка — вторичный цементит, а внутри сетки зерна пластинчатого строения — перлит. Чем больше углерода в заэвтектоидной стали, тем более широкой получается цементитная сетка.

Механические свойства стали, зависят от формы и размера цементитных включений. Можно добиться образования округлых зерен цементита отжигом на «зернистый перлит». Такая структура — смесь зерен цементита в ферритной основе (рисунок 14) может быть получена как для эвтектоидной, так и для заэвтектоидной стали.

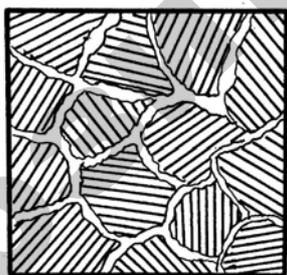


Рисунок 13 — Схема микроструктуры заэвтектоидной стали

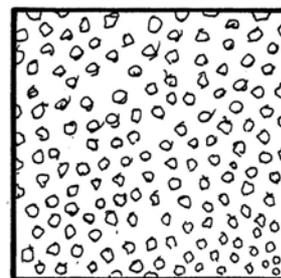


Рисунок 14 — Схема микроструктуры заэвтектоидной стали после отжига на зернистый перлит

Сталь со структурой зернистого перлита имеет более высокую прочность, чем сталь такого же химического состава, но имеющая в структуре перлит с сеткой цементита.

1.2 Классификация сталей

Классификация сталей производится по способу производства, по химическому составу, по назначению и по качеству (рисунок 15).

По способу производства сталь делят на **конверторную, мартеновскую** и **электросталь**. Электросталь является наиболее чистой как по содержанию вредных примесей, так и по газовым и неметаллическим включениям. Этим способом выплавляют наиболее ответственные высококачественные марки углеродистой и легированной стали.

В зависимости от **способа раскисления** жидкой стали в плавильном агрегате ее различают как **спокойную (сп)**, т. е. полностью раскисленную марганцем, кремнием и алюминием; **полуспокойную (пс)**, раскисленную марганцем и кремнием; и **кипящую (кп)**, раскисленную только марганцем.

По химическому составу стали классифицируются на **углеродистые и легированные**.

Углеродистая сталь — сплав железа с углеродом до 2,14 % с постоянными примесями: марганца (до 0,8 %), кремния (до 0,5 %), серы (до 0,06 %), фосфора (до 0,07 %) и газов (кислорода, водорода, азота), присутствующих в тысячных долях процента.

Углеродистые стали в зависимости от содержания углерода подразделяются на низкоуглеродистые (до 0,25 % С), среднеуглеродистые (0,25–0,60 % С) и высокоуглеродистые (свыше 0,60 % С).

Легированными называют стали, в состав которых кроме железа, углерода и постоянных примесей входят специально введенные легирующие элементы: хром, никель, молибден, вольфрам и т. д. — для придания стали требуемых свойств. Сталь также будет считаться легированной, если содержание в ней кремния превысит 0,5 %, а марганца — 1 %.

В зависимости от содержания легирующих элементов различают стали низколегированными (суммарное содержание легирующих элементов до 2,5 %), среднелегированные (2,5–10 %) и высоколегированные (более 10 %).

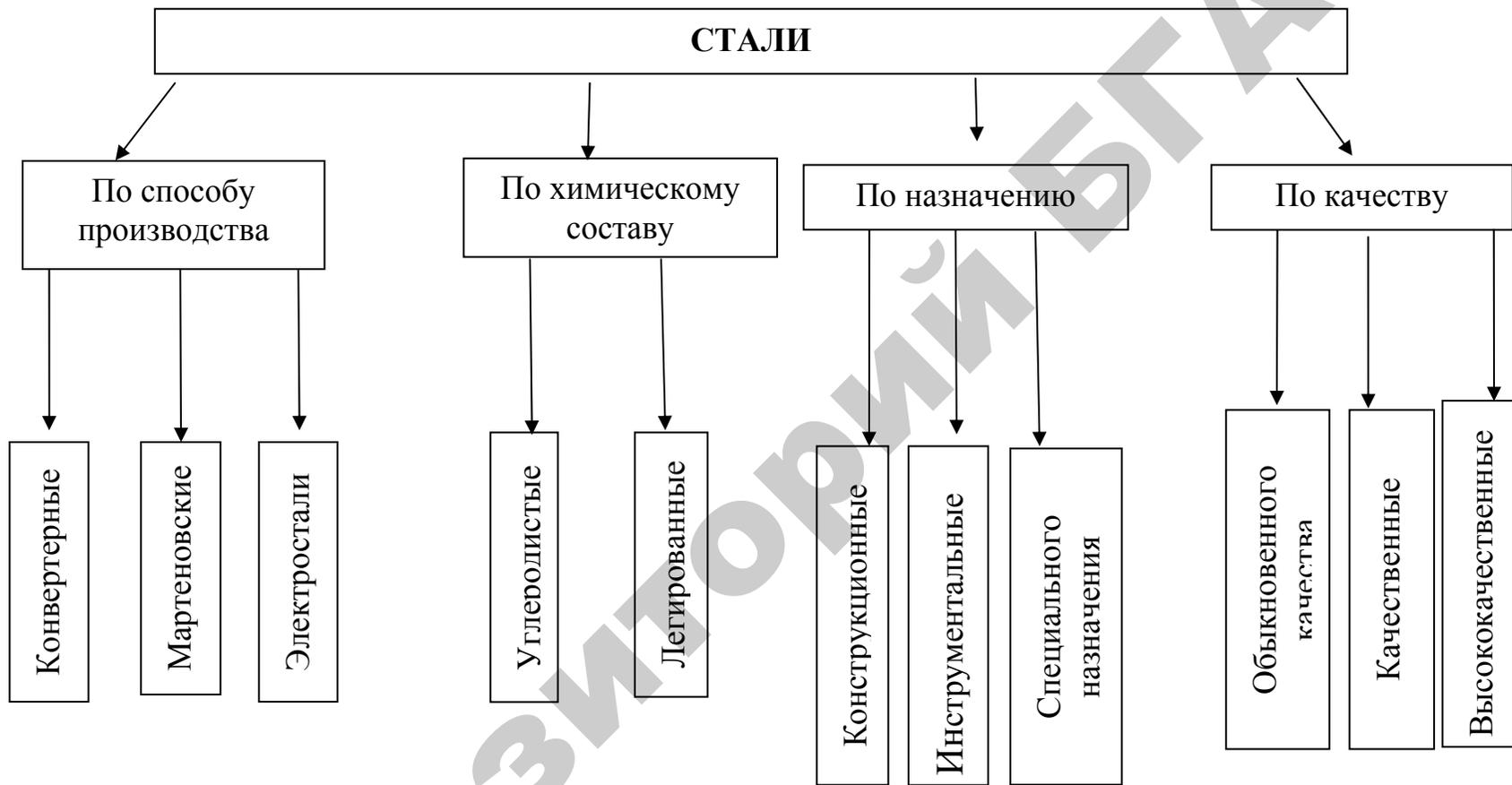


Рисунок 15 — Общая классификация сталей

По назначению стали классифицируют на **конструкционные, инструментальные и специального назначения** (с особыми свойствами).

Конструкционные стали (0,05–0,70 % C) применяют в машиностроении и строительстве для изготовления деталей машин, элементов конструкций и сооружений. Важнейшими характеристиками сталей, по которым осуществляется их выбор, являются механические свойства.

Среди конструкционных сталей различают *цементуемые, улучшаемые, высокопрочные, автоматные, рессорно-пружинные, подшипниковые* и некоторые другие.

Инструментальные стали (0,7–1,3 % C) служат для изготовления режущих, измерительных инструментов, штампов холодного и горячего деформирования. Основным требованием предъявляемым к инструментальным сталям, является их высокая твердость, а, следовательно, износостойкость.

Стали специального назначения делятся на две группы — с особыми химическими и с особыми физическими свойствами.

Конструкционные и инструментальные стали могут быть как углеродистыми, так и легированными, а стали специального назначения — только легированными.

По качеству стали подразделяют на стали **обыкновенного качества, качественные, высококачественные и особо высококачественные**.

Качество стали определяется степенью однородности химического состава и строения, природой и содержанием неметаллических включений, газонасыщенностью и некоторыми другими факторами.

Основным показателем, лежащим в основе классификации сталей по качеству, является содержание вредных примесей — серы и фосфора. Чем меньше указанных примесей, тем выше качество.

Стали обыкновенного качества являются только углеродистыми, качественные и высококачественные — углеродистыми и легированными, а особо высококачественные — только легированными.

1.3 Конструкционные углеродистые стали обыкновенного качества (ГОСТ380–94)

Эти стали предназначены для изготовления горячекатаного проката: сортового, фасонного, листового, ленты, проволоки, метизов. Сталь углеродистая обыкновенного качества широко применяется в строительстве и машиностроении. Это самая дешевая конструкционная сталь.

Углеродистые стали обыкновенного качества делятся на группы:

Группа А: Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6 — поставляются с гарантированными механическими свойствами. Эти стали строительные, не подвергаются термической обработке. Уголки, швеллеры, прутки, листы. Чем выше цифра в стали, тем выше прочность;

Группа Б: БСт0, БСт1, БСт2, БСт3, БСт4, БСт5, БСт6. Эти стали поставляются по химическому составу, подвергаются горячей обработке (ковке, штамповке, литью). С увеличением цифры возрастает количество углерода в стали. Применение: балки, фермы, конструкции подъемных кранов;

Группа В: Стали обыкновенного качества: ВСт1, ВСт2, ВСт3, ВСт4, ВСт5. Эти стали поставляются с гарантированными механическими свойствами и химическим составом для сварных конструкций. Механические свойства как у стали А того же номера, а химический состав, как у стали группы Б того же номера. Эти стали хорошо свариваются.

Стали обыкновенного качества могут быть кипящие (кп), полуспокойные (пс), спокойные (сп), цифры в их маркировке не указывают на содержание углерода.

Области применения некоторых марок стали углеродистой обыкновенного качества группы А указаны в таблице 9.

Таблица 9 — Применение углеродистой стали обыкновенного качества

Марка стали	Применение
Ст0	Неответственные (нерасчитываемые) элементы конструкций: ограждения, настилы, перила и т. д.
Ст2кп	Неответственные детали, требующие повышенной пластичности; стали, работающие при положительных температурах
Ст1, Ст2, Ст3. (для всех степеней раскисления)	Заклепки, котельные связи, гвозди
Ст3пс, Ст3сп	Несущие элементы конструкций и деталей, работающих при положительных температурах
Ст3нс, Ст3кп	Фасонные профили для вагонов
Ст3кп, Ст3пс	Фасонные профили для обода колес автомобилей и для сельскохозяйственного машиностроения
Ст3сп, Ст3пс, Ст4сп	Фасонные профили для тракторостроения (швеллеры для рамы и уголок для корпуса трактора)
Ст5пс, Ст5сп	Детали клепаных конструкций, крепежные детали, ручки, тяги, рычаги, пальцы, штыри и др., детали, работающие в интервале температур от 0 до 425 °С Арматура периодического профиля (10–40мм)
Стбпс, Стбсп	Бабы молотов, валы, оси, шпиндели

1.4 Конструкционные углеродистые стали качественные (ГОСТ 1050–88)

Углеродистые качественные конструкционные стали маркируются по содержанию углерода в сотых долях: 08, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75. Они могут быть с обычным и с повышенным содержанием марганца (обозначаются буквой Г в конце марки) с содержанием серы не более 0,04 %, фосфора не более 0,035 %.

Стали 08, 10кп, 15кп — пластичные без термической обработки, применяются для листовой холодной штамповки, вытяжки. Все кузовные детали грузовых, легковых автомобилей.

Стали 10, 15, 20, 25 — цементируемые стали, применяются для деталей, требующих твердости и износостойкости поверхности детали при сохранении вязкой сердцевины.

Стали 35, 40, 45, 50 — улучшаемые стали для изготовления валов, осей, втулок, шестерен, шатунов, поршневых пальцев, требующих высокую прочность при удовлетворительной вязкости.

Стали 55, 60, 55Г, 60Г — пружинно-ресорные для деталей высокой прочности и упругости. После закалки и отпуска, наилучшие механические свойства у сталей 55Г, 60Г.

Стали 65, 70, 75, 65Г, 70Г, 75Г — для деталей, требующих высокой износоустойчивости при абразивном изнашивании — долота, лемеха, лапы культиваторов, диски посевных и почвообрабатывающих машин, наилучшие механические свойства у сталей 65Г, 70Г, 75Г.

1.5 Инструментальные углеродистые стали (ГОСТ 1435–90)

Инструментальные углеродистые стали выпускаются качественными (содержание серы не более 0,028 %, фосфора < 0,030 %) или высококачественными (содержание серы не более 0,018 %, фосфора < 0,025 %). В марке буква **У** обозначает углеродистую сталь, буква **А** — высококачественную, цифры показывают среднее содержание углерода в десятых долях процента.

Качественные инструментальные стали — У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13.

Высококачественные углеродистые стали — У7А, У8А, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А

Примерное назначение:

У7, У8, У9, У7А, У8А, У9А — для инструмента по дереву, зубила, долота;

У10, У11, У10А, У11А — мелкие сверла, фрезы, метчики, развертки;

У12, У13, У12А, У13А — для инструментов с максимальной износостойкостью, напильники, граверный инструмент.

1.6 Легированные стали

По **назначению** легированные стали делятся на конструкционные, инструментальные и специального назначения.

По **качеству** эти стали подразделяются на качественные, высококачественные, особо высококачественные.

Буквы указывают на легирующий элемент, цифра после букв — количество легирующего элемента в целых долях, отсутствие цифры указывает, что оно составляет 1,0–1,5 %. Две цифры в начале маркировки стали указывают содержание углерода в сотых долях, одна цифра — содержание углерода в десятых долях, буква А в конце маркировки — высококачественная.

Легирующие элементы:

Х — хром; Г — марганец; М — молибден; В — вольфрам; Н — никель; Т — титан; Ф — ванадий; Ю — алюминий; Б — ниобий; А (в середине марки) — азот.

Некоторые стали обозначаются условными буквами: А (в начале марки) — автоматная; Р — быстрорежущая; Ш — шарикоподшипниковая; Э — электротехническая.

2 Чугуны

2.1 Классификация чугунов

Чугун — это сплав железа с углеродом, при содержании углерода свыше 2,14 % С и наличием постоянных примесей.

По назначению чугуны разделяют на *передельные* (85–90 % от всего объема производства), *литейные* (9–12 %) , *специальные* (рисунок 16)

В зависимости от того, в каком виде углерод находится в чугунах, его разделяют на: *белый* — углерод находится в связанном состоянии (в виде цементита Fe_3C); *серый* — углерод находится в свободном состоянии (в виде графита); *половинчатый* (отбеленный) — углерод может быть в виде графита и цементита.

По форме включений графита чугуны подразделяют на *серый* с пластинчатым графитом (СЧ), *ковкий* с хлопьевидным графитом (КЧ), высокопрочный с шаровидным графитом (ВЧ).

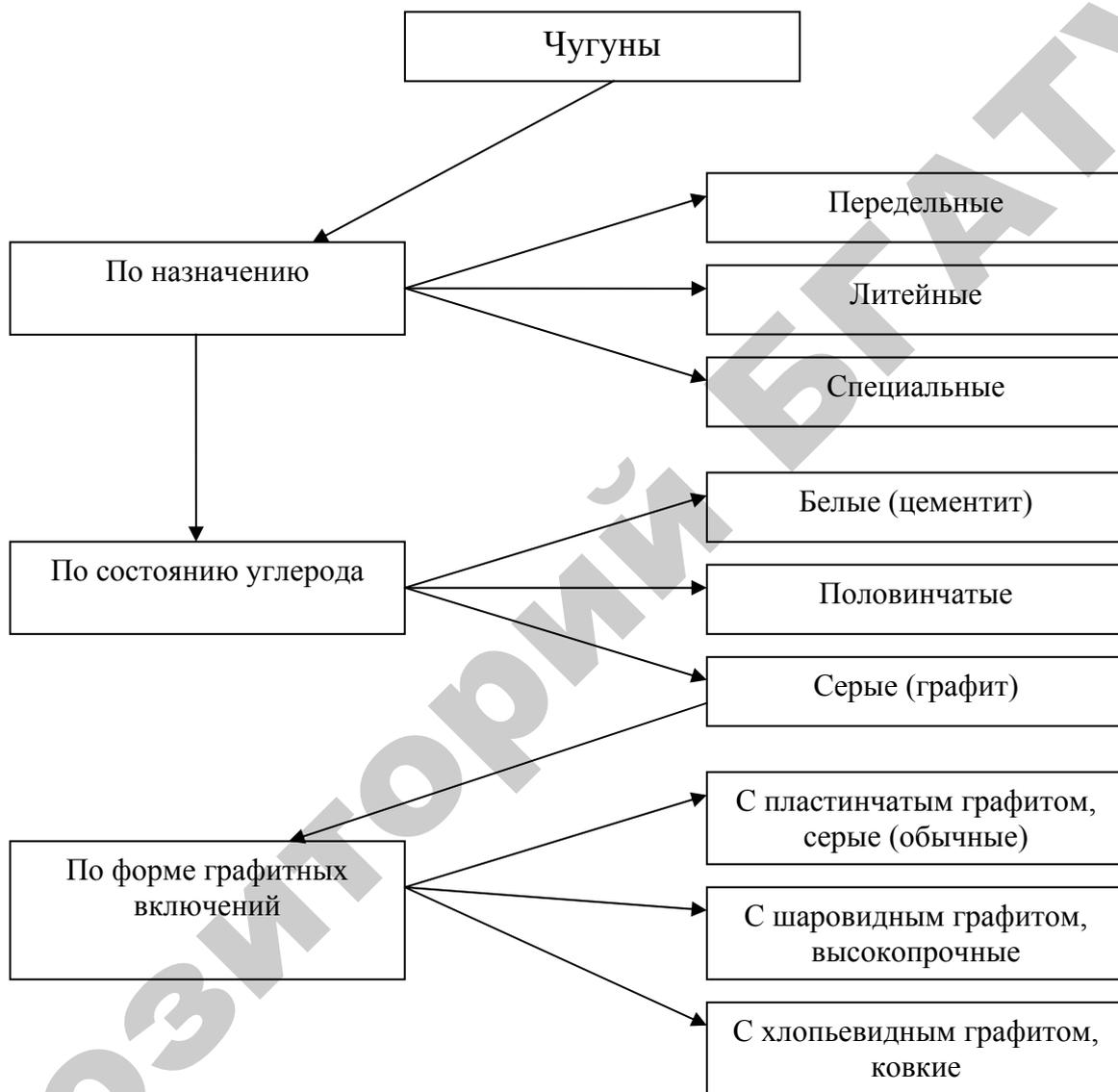


Рисунок 16 — Классификация чугунов

2.2 Влияние примесей на структуру и свойства чугунов

На структурообразование чугуна влияет скорость охлаждения и количество элементов, способствующих **графитизации** — процессу образования графитных включений.

Кремний повышает механические свойства чугуна при концентрации не более 3,0–3,5 %. При более высокой концентрации кремния включения графита становятся грубыми, пластичность чугуна снижается.

Марганец увеличивает растворимость углерода в чугуне, при содержании более 0,5 % он повышает склонность чугуна к отбеливанию. Увеличение содержания марганца повышает усадку, что способствует образованию трещин и внутренних напряжений. Основное назначение марганца в чугуне — нейтрализация вредного влияния серы.

Сера — наиболее нежелательная примесь в чугуне, ее влияние определяется формированием по границам зерен хрупкой тройной эвтектики. При повышении содержания серы жидкотекучесть чугуна ухудшается, усадка и склонность к образованию трещин повышается.

Фосфор не оказывает существенного влияния на графитизацию. Фосфор сильнее других элементов повышает жидкотекучесть чугуна. Влияние фосфора на механические свойства чугуна отрицательные: способствует снижению ударной вязкости, повышает склонность к образованию холодных трещин.

2.3 Белые чугуны

Белые чугуны — это чугуны, в которых углерод находится в связанном состоянии, в виде цементита. Они очень твердые и хрупкие, плохо обрабатываются режущим инструментом. Поэтому отливки из белого чугуна применяются редко.

По структуре белые чугуны подразделяются (рисунок 17) на: доэвтектические (перлит + цементит + ледебурит), эвтектектические (ледебурит), заэвтектектические (цементит + ледебурит).

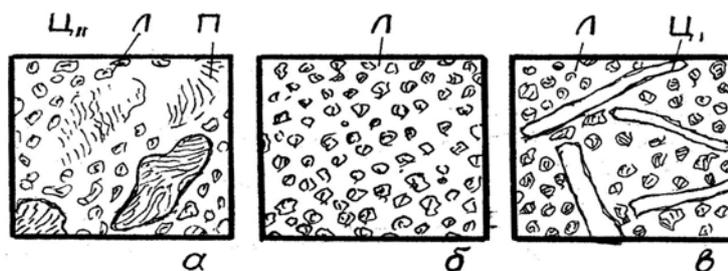


Рисунок 17 — Схемы микроструктур белого чугуна:
а — доэвтектического, *б* — эвтектического, *в* — заэвтектического

2.4 Серые чугуны (ГОСТ 1412-85)

Серые чугуны — это чугуны, в которых углерод находится в свободном состоянии, в виде графита. В серых чугунах графитовые включения находятся в металлической основе (матрице). Структура матрицы может быть феррит, феррит + перлит, перлит в зависимости от содержания углерода и условий кристаллизации отливок (рисунок 18).

Серый обычный чугун имеет графитные включения пластинчатой формы.

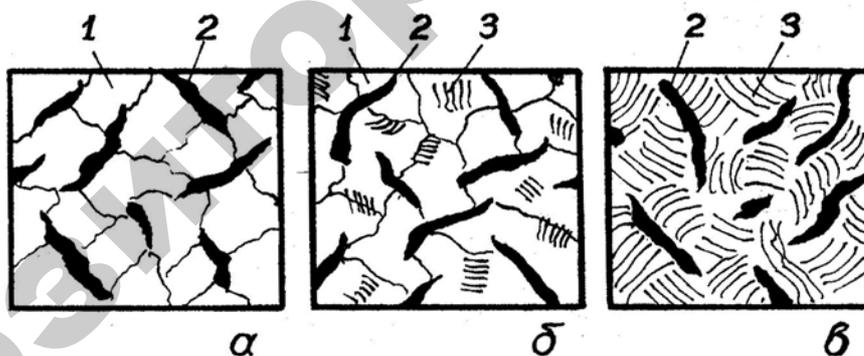


Рисунок 18 — Схемы микроструктур серого чугуна:
а) — ферритный; *б*) — перлитно-ферритный; *в*) — перлитный;
1 — феррит; *2* — пластинчатый графит; *3* — перлит

Серый обычный чугун, благодаря меньшей в сравнении со сталью температурой плавления и наличию в структуре графита, обладает лучшими литейными свойствами. Он имеет хорошую жидкотекучесть и малую усадку. Наличие графита делает его хрупким, так как графитные включения нарушают сплошность металлической основы. Их можно рассматривать как готовые трещины в прочной металлической основе чугуна. Низкая пластичность

серого чугуна практически не зависит от характера металлической основы. Чугун с перлитной основой более прочен и износоустойчив. Отливки из серого чугуна с пластинчатым графитом составляют до 80 % общего объема чугунного литья. Серый обычный чугун — один из наиболее распространенных литейных сплавов. Он маркируется буквами СЧ и цифрами, указывающими на предел прочности при растяжении на 0,1 МПа.

Механические свойства серых чугунов зависят от химического состава. Из таблицы 10 видно, что для получения чугуна с высокой прочностью необходимо уменьшить суммарное содержание углерода и кремния при некотором увеличении содержания марганца. Такое изменение несколько ухудшает литейные свойства.

Таблица 10 — Механические свойства и химический состав серого чугуна по ГОСТ 1412–85

Марка чугуна	Механические свойства		Средний химический состав, %		
	σ , МПа·(кгс/мм ²) не менее	<i>HВ</i>	углерод	кремний	марганец
ферритный чугун					
СЧ10	100(10)	120–200	3,6	2,4	0,6
СЧ15	150(15)	130–234	3,6	2,4	0,6
перлитно-ферритный чугун					
СЧ18	180(18)	130–230	3,5	2,0	0,6
перлитный чугун					
СЧ20	200(20)	143–240	3,4	1,8	0,5
СЧ25	250(25)	155–255	3,3	1,8	0,8
СЧ30	300(30)	163–270	3,1	1,6	0,8
СЧ35	350(35)	179–290	2,95	1,4	0,9

Прочностные свойства серого чугуна при испытании на сжатие значительно лучше, чем при испытании на растяжение и изгиб. Это объясняется концентрацией напряжений возле пластинок графита.

Серый чугун с пластинчатым графитом имеет очень низкую пластичность. Механические свойства чугуна определяются соотношением структурных составляющих — главным образом феррита, перлита и графита. Особенно значительную роль играют количество, форма, размеры и характер распределения включений графита. Включения графита снижают прочность

чугуна за счет уменьшения эффективной площади поперечного сечения. Кроме того, они играют роль внутренних концентраторов напряжений. Наряду с этим наличие графита в структуре чугуна обеспечивает такие его качества, как высокую циклическую вязкость и низкую чувствительность к внешним надрезам. Серый обычный чугун является основным конструкционным материалом для изготовления базовых отливок (таблица 11), работающих в условиях знакопеременных нагрузок и вибраций.

Таблица 11 — Применение отливок из серого чугуна

Марка	Назначение
СЧ10, СЧ15	Малоответственные части сельскохозяйственных, текстильных, швейных машин, станочное литье, радиаторы.
СЧ18, СЧ20	Ответственные части тракторов, автомобилей, станков, крупные шкивы и маховики.
СЧ25, СЧ30	Ответственные отливки для дизелестроения, блоки автомобильных цилиндров. Поршневые кольца.
СЧ30, СЧ35	Высокоответственные отливки: дизельные цилиндры, коленчатые и кулачковые валы, штампы и другие тяжело нагруженные отливки.

2.5 Высокопрочный чугун (ГОСТ 7293–85)

Высокопрочным называется чугун с шаровидной формой графита. Его получают введением в жидкий серый обычный чугун модификаторов (*Mg, Ce, Li* и др.). Матрица высокопрочного чугуна может быть ферритной, ферритно-перлитной и перлитной (рисунок 19).

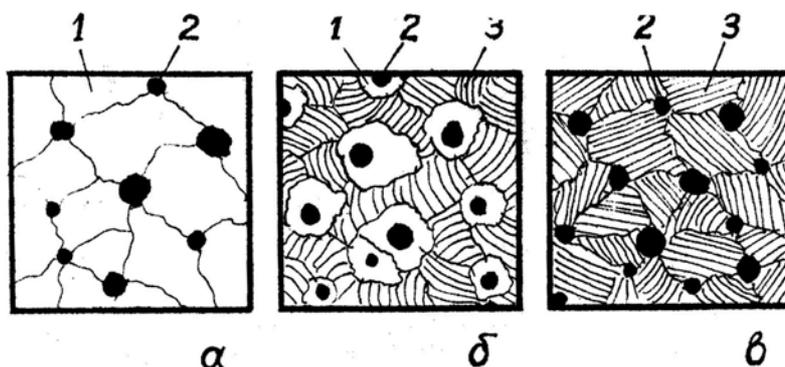


Рисунок 19 — Схема зарисовки микроструктуры высокопрочного чугуна:
 а) — ферритный; б) — перлитно-ферритный; в) — перлитный;
 1 — феррит; 2 — шаровидный графит; 3 — перлит

Высокопрочные чугуны маркируются буквами ВЧ и цифрами, указывающими предел прочности при растяжении 0,1МПа.

Существуют следующие основные марки высокопрочных чугунов (таблица 12). Ферритные чугуны ВЧ35 и ВЧ40 характеризуются умеренной прочностью и высокой пластичностью. Перлитно-ферритные чугуны ВЧ45 и ВЧ50 имеют более высокую прочность, но существенно меньшую пластичность. Требуемые свойства чугунов этих двух классов получают непосредственно в литом состоянии без термической обработки. Перлитные чугуны ВЧ60, ВЧ70, ВЧ80 и ВЧ100 при значительно более высокой прочности, чем у перлитно-ферритных чугунов, имеют практически равную пластичность.

Таблица 12 — Механические свойства и химический состав высокопрочного чугуна по ГОСТ 7293–85

Марка чугуна	Механические свойства				Средний химический состав, %		
	σ_b , МПа (кгс/мм ²)	σ_t , МПа (кгс/мм ²)	δ , %	НВ	углерод	кремний	марганец
	не менее						
Ферритный чугун							
ВЧ35	350(35)	220(22)	22	140–170	2,7–3,8	0,8–2,9	0,2–0,6
ВЧ40	400(40)	250(25)	15	140–202	2,7–3,8	0,5–2,9	0,2–0,6
Перлитно-ферритный чугун							
ВЧ45	450(45)	340(34)	10	140–225	2,7–3,8	0,5–2,9	0,3–0,7
ВЧ50	500(50)	320(32)	7	153–245	2,7–3,7	0,8–2,9	0,3–0,7
Перлитный чугун							
ВЧ60	600(60)	370(37)	3	192–277	3,0–3,6	2,4–2,8	0,4–0,7
ВЧ70	700(70)	420(42)	2	228–302	3,0–3,6	2,6–2,9	0,4–0,7
ВЧ80	800(80)	480(48)	2	248–351	3,2–3,6	2,6–2,9	0,4–0,7
ВЧ100	1000(100)	700(70)	2	270–360	3,2–3,6	3,0–3,8	0,4–0,7

Высокопрочный чугун находит применение в различных областях промышленности и сельского хозяйства (таблица 13).

Таблица 13 — Области применения высокопрочного чугуна

Марка чугуна	Наименование детали
ВЧ40	Корпус барабана механизма подъема крана, букса колеса приводного крана, букса колеса электрического крана.
	Поршень, крестовина, корпус гидротурбины, статор, сепаратор, корпус клапана паровой турбины.
ВЧ50	Коленчатый вал судового двигателя. Коленчатый вал двигателя электростанции. Коленчатый вал двигателя СДР 30/50.
ВЧ60	Коленчатый вал автомобиля «Ваз». Коленчатый вал автомобиля «Волга».
ВЧ70	Коленчатый вал трактора и комбайна. Цилиндрические, конические шестерни, зубчатый венец канатного барабана, шестерни угольной дробилки.

2.6 Ковкий чугун (ГОСТ 1215–79)

Ковким называется чугун с хлопьевидным или компактным графитом, получаемый путем отжига белого чугуна определенного химического состава. Матрица может быть перлитная, ферритная, перлитно-ферритная. Маркировка ковкого чугуна производится буквами КЧ и двумя числами, из которых первое обозначает предел прочности, при растяжении (в 0,1МПа), а второе — относительное удлинение (в %). Существуют следующие марки ковких чугунов (таблица 14). Рекомендуемый химический состав КЧ отличается пониженным содержанием графитизирующих элементов углерода (2,4–2,9 %) и кремния (1,0–1,6 %). Это объясняется необходимостью получения в литом состоянии полностью отбеленного чугуна по всему сечению отливки.

По уровню свойств КЧ занимает промежуточное положение между серым чугуном и сталью. При этом он выгодно отличается от стали лучшими литейными свойствами, а от серого чугуна более высокой вязкостью и пластичностью. Это обстоятельство послужило причиной для получения названия «ковкий», хотя никаким процессамковки этот чугун не подвергается.

Таблица 14 — Механические свойства и химический состав ковкого чугуна

Марка чугуна	Механические свойства			Средний химический состав, %		
	$\sigma_{\text{в}}$, МПа (кгс/мм ²)	δ , %	<i>HV</i>	углерод	кремний	марганец
	не менее					
Ферритные чугуны						
КЧ3-6	294(30)	6	100–163	2,7	1,3	0,5
КЧ33-8	323(33)	8	100–163	2,7	1,3	0,5
КЧ36-10	335(36)	10	100–163	2,6	1,2	0,4
КЧ37-12	362(37)	12	100–163	2,5	1,2	0,3
Перлитно-ферритные чугуны						
КЧ45-6	441(45)	7	150–207	2,6	1,2	0,6
КЧ50-5	490(50)	5	170–230	2,6	1,2	0,6
КЧ55-4	539(55)	4	192–241	2,6	1,2	0,6
Перлитные чугуны						
КЧ60-3	588(60)	3	200–269	2,6	1,2	0,6
КЧ65-3	637(65)	3	212–269	2,5	1,3	0,6
КЧ70-2	696(70)	2	241–285	2,5	1,3	0,6
КЧ80-1,5	784(80)	1,5	270–320	2,5	1,3	0,6

Графитизирующий отжиг является обязательной операцией технологического процесса получения отливок из КЧ. Основная цель отжига обеспечить графитизацию всего цементита и получение чисто ферритной матрицы, либо частичная графитизация первичного цементита.

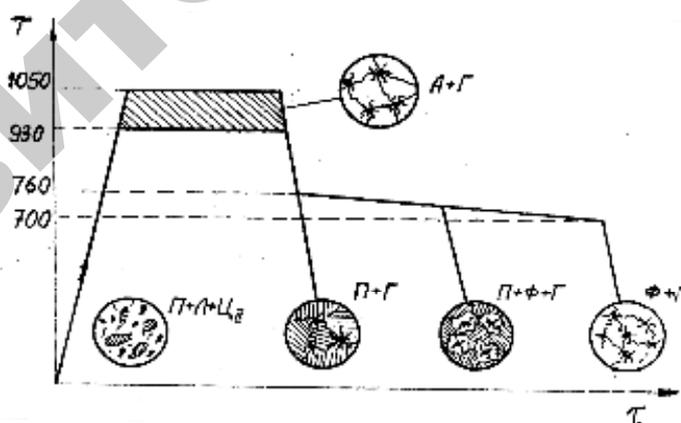


Рисунок 20 — Режим отжига белого чугуна на ковкий

Основные преимущества ковкого чугуна заключаются в однородности его свойств по сечению отливки, отсутствии напряжений в отливках и сочетании высоких механических свойств с хорошей обрабатываемостью резанием.

Ковкий чугун используется во многих отраслях машиностроения преимущественно для отливок толщиной стенки 5–50 мм, что вызвано необходимостью получения полного отбела по всему сечению отливки. Из КЧ изготавливают мелкие передние фасонные отливки, работающие в условиях динамических знакопеременных нагрузок: детали приводных механизмов, коробок, передач, детали шасси в автотракторном машиностроении, коллекторы, рычаги и т. д.

3 Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя наборы шлифов углеродистых сталей и чугунов.
2. Рассмотреть на микроскопе МИМ-7 при увеличении $\times 240$ шлифы образцов доэвтектоидной, эвтектоидной, заэвтектоидной сталей; белого, серого, ковкого и высокопрочного чугунов.
3. Зарисовать схематично, используя приведенные схемы структур, рассмотренные микроструктуры сталей и чугунов.
4. Изучить классификацию, маркировку, свойства и применение углеродистых сталей и чугунов.
5. Сделать выводы по работе.

4 Приборы и оборудование

1. Микроскоп МИМ-7.
2. Набор шлифов углеродистых сталей.
3. Набор шлифов чугунов.
4. Фотографии и плакаты микроструктур углеродистых сталей и чугунов.

5 Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Краткие сведения. Классификация и маркировки углеродистых сталей и чугунов.
3. Схемы микроструктур углеродистых сталей и чугунов.
4. Выводы по работе.

6. Контрольные вопросы

1. Что такое сталь?
2. Какие имеются постоянные примеси в сталях?
3. Как влияют постоянные примеси на свойства сталей?
4. Как классифицируются стали по способу производства?
5. Как классифицируются стали по химическому составу?
6. Как классифицируются стали по назначению?
7. Как классифицируются стали по качеству?
8. Как подразделяются углеродистые стали по структуре?
9. На какие группы подразделяются углеродистые стали обыкновенного качества?
10. Как маркируются углеродистые стали обыкновенного качества?
11. Как маркируются конструкционные качественные стали?
12. Применение конструкционных качественных сталей.
13. Маркировка углеродистых инструментальных сталей.
14. Что такое легированная сталь?
15. Что такое чугун?
16. Какие чугуны являются белыми?
17. Структуры белых чугунов.
18. Какие чугуны являются серыми?
19. Как подразделяются серые чугуны в зависимости от формы графита?
20. Структуры серых чугунов.
21. Маркировка серых чугунов.
22. Какие чугуны считаются высокопрочными?
23. Какие чугуны считаются ковкими?

Лабораторная работа №4 «Термическая обработка сталей. Закалка и отпуск»

Цель работы:

- 1) изучить теоретические основы закалки и отпуска стали;
- 2) практически освоить технологии закалки и отпуска закаленной стали;
- 3) установить изменение структуры и свойств стали в результате закалки;
- 4) изучить изменение структуры и свойств закаленной стали при отпуске.

1 Общие сведения

В сельхозмашиностроении для изготовления деталей, инструментов, приспособлений, широко используют углеродистую сталь. Для получения необходимых механических свойств, предъявляемых к изделиям, стали подвергают термической обработке.

Термическая обработка — это совокупность операций нагрева, выдержки и охлаждения. Цель термической обработки стали — изменение ее структуры, приводящее к изменению свойств стали (прочность, пластичность, твердость, износостойкость, обрабатываемость резанием и т. д.).

Основными видами термической обработки являются: отжиг, закалка, отпуск.

Отжиг стали — термическая обработка, при которой стали нагревают выше критических температур, выдерживают при этих температурах и медленно охлаждают (рисунок 21).

Основная цель отжига — приблизить металл к равновесному состоянию, снять напряжения, вызванные предыдущей обработкой, снизить твердость, повысить пластичность, улучшить обрабатываемость резанием.

Отжиги бывают I рода — без фазовой перекристаллизации и II рода — с фазовой перекристаллизацией.

К отжигу I рода относятся: диффузионный отжиг; рекристаллизационный отжиг; низкий отжиг.

К отжигу II рода относятся: полный отжиг; неполный отжиг; циклический отжиг; изотермический отжиг.

Нормализация стали — термическая обработка, при которой доэвтектоидные стали нагревают выше критической точки A_{c3} , эвтектоидные и заэвтектоидные стали выше критической точки A_{cm} на 30–50 °С, с непродолжительной выдержкой и последующим охлаждением на воздухе. Цель нормализации — перекристаллизация зерна стали, снятие внутренних напряжений, подготовка стали к дальнейшей пластической деформации, механической или термической обработке.

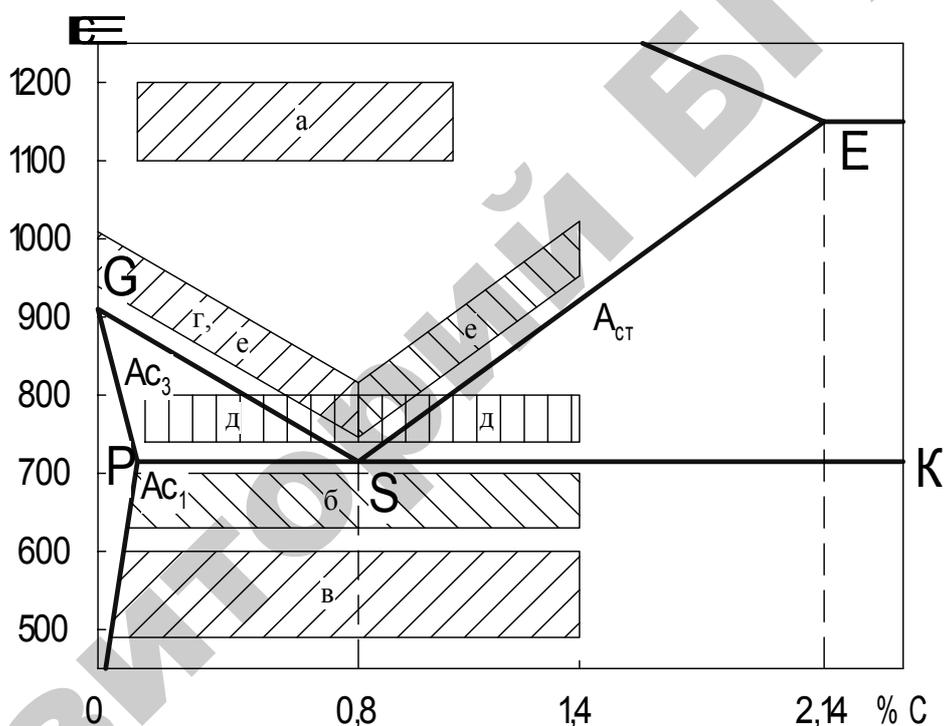


Рисунок 21 — Температурные зоны нагрева для различных видов отжига: отжиги I рода: *a* — диффузионный отжиг; *б* — рекристаллизационный отжиг; *в* — низкий отжиг; отжиги II рода: *г* — полный отжиг; *д* — неполный отжиг; *е* — нормализация

Закалка стали — термическая обработка, которая заключается в нагреве доэвтектоидных сталей выше критической точки A_{c3} , эвтектоидных и заэвтектоидных сталей выше A_{c1} на 30–50 °С, выдержке при данной температуре и последующим охлаждением со скоростью выше критической.

Цель закалки — повысить твердость стали за счет получения неравновесной структуры мартенсит.

В зависимости от температуры нагрева при закалке различают **полную и неполную закалку** стали. Если температура нагрева выше A_{c3} , закалка считается полной, если температура нагрева выше A_{c1} , закалка считается неполной (рисунок 22).

Для доэвтектоидных сталей применяют полную закалку, в результате которой образуется структура мартенсита и небольшое количество аустенита остаточного.

Для заэвтектоидных сталей применяют неполную закалку. Структура после такой закалки представляет собой мартенсит плюс цементит и небольшое количество аустенита остаточного. Наличие цементита в закаленной стали повышает ее твердость и износостойкость.

Критическая скорость закалки — минимальная скорость охлаждения, при которой происходит превращение аустенита в мартенсит (касательная к началу распада аустенита) (рисунок 23).

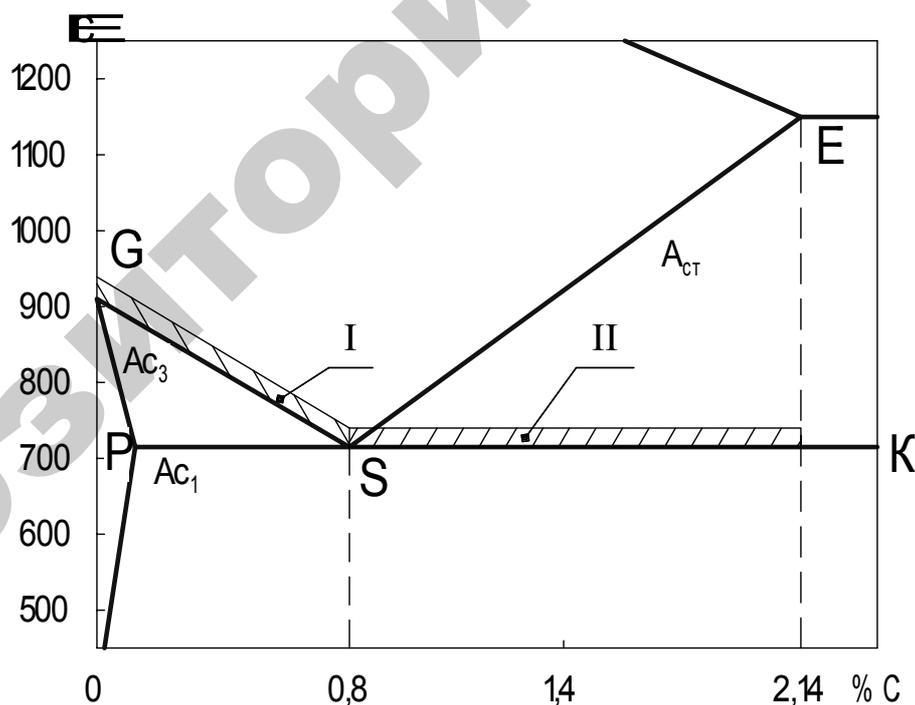


Рисунок 22 — Температурные зоны нагрева стали под закалку:
I — полная закалка; *II* — неполная закалка

Неполная закалка не применяется для доэвтектоидных сталей, так как при этом образуется структура мартенсита и феррита, имеющая невысокую прочность и твердость. Для заэвтектоидных сталей не применяется полная за-

калка, поскольку в результате остается большое количество аустенита остаточного, возможен перегрев стали, уменьшается твердость, так как отсутствует цементит.

После закалки детали получают большие остаточные напряжения, которые могут привести к короблению или образованию трещин. Для предотвращения этих явлений сразу же после закалки детали необходимо подвергать отпуску.

Отпуск стали — термическая обработка, которая заключается в нагреве закаленной стали до температур ниже A_{c1} , выдержке при заданной температуре и последующем охлаждении с определенной скоростью. Отпуск является окончательной операцией термической обработки, в результате которой сталь получает требуемые механические свойства. Отпуск полностью или частично устраняет **внутренние** напряжения, возникающие при закалке.

Структура стали после закалки представляет собой **мартенсит и остаточный аустенит** (неравновесные структуры). При отпуске происходит переход стали в более устойчивое состояние, что сопровождается тремя превращениями при отпуске.

2 Основные способы закалки

На способ закалки основное влияние оказывает метод охлаждения. Охлаждающая среда должна обеспечивать скорость охлаждения выше критической в интервале температур A_1-M_n и более плавное охлаждение в интервале температур мартенситного превращения M_n-M_n (рисунок 23).

1. **Непрерывная закалка** (в одном охладителе) (рисунок 23, кривая 1). Деталь нагревают до температуры закалки, затем быстро погружают в закалочную жидкость со скоростью охлаждения выше критической и выдерживают до полного охлаждения. Этот метод применяют для закалки деталей несложного профиля и крупного сечения. Недостаток этого метода состоит в том, что в результате неравномерного охлаждения детали по сечению, возни-

кают большие термические напряжения, которые могут привести к короблению детали или возникновению трещин.

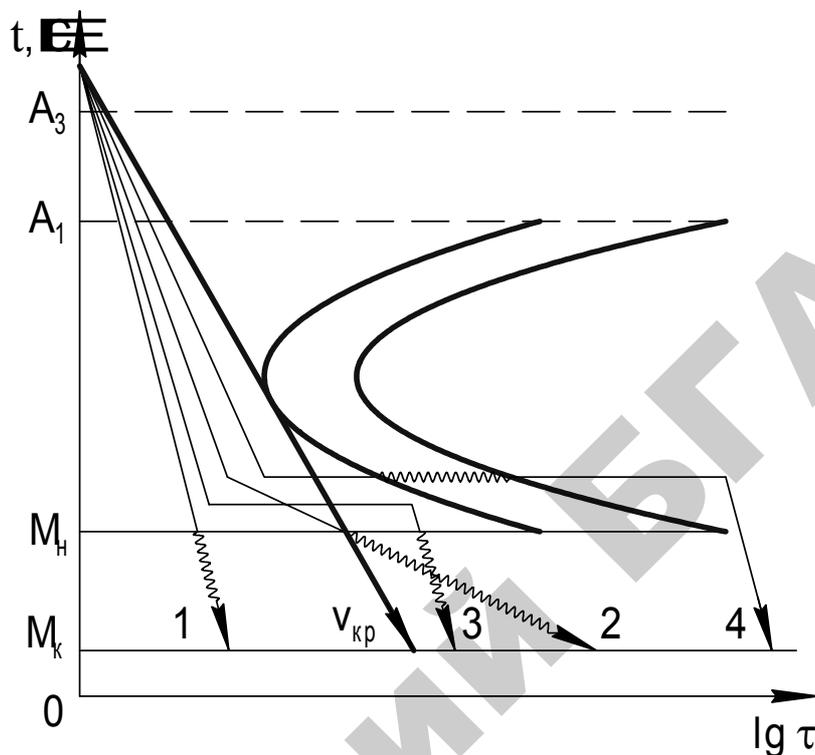


Рисунок 23 — Основные способы закалки стали: 1 — непрерывная (в одном охладителе); 2 — прерывистая (в двух охладителях); 3 — ступенчатая; 4 — изотермическая

2. **Прерывистая закалка** (в двух средах) (рисунок 23, кривая 2). Деталь нагревают до температуры закалки, после чего охлаждают со скоростью выше критической до температуры, немного выше точки M_n , а затем быстро переносят в менее интенсивный охладитель, например, из воды в масло. В результате переноса во вторую закалочную среду, мартенситное превращение протекает более медленно, вследствие чего уменьшаются внутренние напряжения. Данная закалка применяется для закалки инструмента несложного профиля, изготовленного из заэвтектоидных углеродистых сталей.

3. **Ступенчатая закалка** (рисунок 23, кривая 3). Деталь, нагретую до температуры закалки, охлаждают со скоростью выше критической в среде, имеющей температуру на 30–50 °С выше мартенситной точки M_n (расплавленные соли, щелочи), выдерживают изотермически для выравнивания температуры по всему сечению изделия, но чтобы не произошел распад аустенита на феррито-цементитную смесь, а затем охлаждают в масле или на возду-

хе. Данный метод обеспечивает закалку с минимальными внутренними напряжениями и применяется для деталей сложной конфигурации (сверла, метчики, зенкеры, фрезы, развертки и т. д.). Недостаток этого метода состоит в том, что его невозможно использовать для закалки деталей крупного сечения.

4. **Изотермическая закалка** (рисунок 23, кривая 4) проводится так же, как и ступенчатая, но изотермическую выдержку выше точки M_n дают такую, чтобы произошел распад аустенита с образованием бейнита или другой структуры, соответствующей температуре выдержки. Внутренние напряжения и деформация при такой закалке минимальные. Изделие после закалки имеет меньшую твердость, но повышенную прочность, пластичность, ударную вязкость.

5. **Закалка с самоотпуском.** Деталь нагревают до температуры закалки, затем охлаждают в одном охладителе со скоростью больше критической непродолжительное время и прерывают охлаждение на 3–5 сек и затем деталь охлаждают полностью. При этом наружные слои детали претерпевают мартенситное превращение, а сердцевина — троостосорбитное. Вследствие теплообмена наружные слои за счет тепла внутренних слоев нагреваются до температур отпуска и таким образом происходит **самоотпуск**. В результате деталь приобретает высокую твердость поверхности и вязкую и прочную сердцевину (зубила, керны, лемеха, кузнечный инструмент и т. д.).

Из приведенного выше видно, что необходимые структуры при закалке можно получить в зависимости от различной скорости охлаждения (таблица 15).

Таблица 15 — Скорость охлаждения стали в различных средах

Закалочная среда	Скорость охлаждения, град при различных температурах °С	
	650–550	300–200
Вода при температуре, °С		
18	600	270
28	500	270
50	100	270
10 %-ный раствор <i>NaOH</i> в воде при при 18 °С	1200	300
10 %-ный раствор <i>NaCl</i> в воде при при 18 °С	1100	300
Минеральное масло	100–150	20–50
Спокойный воздух	30	1

Для определения общей продолжительности нагрева при закалке $\tau_{\text{общ}} = \tau_{\text{сквозного нагрева}} + \tau_{\text{изотермической выдержки}}$ пользуются опытными данными (таблица 16).

Таблица 16 — Ориентировочная продолжительность нагрева изделий в различных печах для закалки от 800–850 °С

	Продолжительность нагрева, секунды, на 1 мм сечения или толщины изделия		
	Круглое	Квадратное	Прямоугольное
В электропечи	40–50	50–60	60–75
В пламенной печи	35–40	45–50	55–60
В соляной ванне	12–15	15–18	18–22
В свинцовой ванне	6–8	8–10	10–12

Дефекты, возникающие при термической обработке стали.

1. Низкая твердость в результате недогрева (доэвтектоидные стали были нагреты до температуры, ниже A_{c3} , а эвектоидные и заэвтектоидные ниже A_{c1}), или если охлаждение при закалке проводилось со скоростью, ниже критической. Этот дефект может быть устранен повторной закалкой с правильным режимом.
2. Перегрев (повышенная хрупкость). Этот дефект возникает, если превысили температуру закалки на 100–200 °С. В результате закалки образуется крупноигльчатый мартенсит. Этот дефект устраняется полным отжигом и последующей закалкой с правильным режимом.
3. Мягкие пятна на поверхности детали (участки с пониженной твердостью). Образуются при возникновении паровой рубашки, уменьшающей ско-

рость охлаждения. Для устранения этого дефекта деталь необходимо перемещать в охлаждающей среде.

4. Окисление и обезуглероживание поверхности детали. Этот дефект возникает, если нагрев под закалку ведется в печи с окислительной атмосферой и устраняется при нагреве деталей в нейтральных атмосферах (азоте, аргоне и т. д.).
5. Внутренние и наружные трещины, деформации и коробление.

Склонность к образованию трещин возрастает с увеличением в стали содержания углерода, с повышением температуры заковки и увеличением скорости охлаждения в температурном интервале мартенситного превращения. Трещины образуются в изделии в местах концентраторов напряжений (резкое изменение сечения изделия или местные вырезы, углубления, выступы и т. д.). Трещины — неисправимый дефект. Они могут быть устранены при медленном охлаждении деталей в области температур мартенситного превращения, изменением метода заковки и конструкции детали.

3 Превращения при отпуске

Первое превращение при отпуске происходит при температуре 80–200 °С. При этом происходит перераспределение углерода, который выделяется из мартенсита и образует зародыши низкотемпературного гексагонального ϵ -карбида $Fe_{2,4}C$. Тетрагональность мартенсита при этом уменьшается, соответственно уменьшается объем.

При низкотемпературном отпуске легированных сталей не происходит диффузионного перераспределения легирующих элементов и выделяющиеся частицы карбидов имеют такое же содержание легирующих элементов, как и в мартенсите. Образуется механическая смесь малоуглеродистого мартенсита и карбидов, которая называется **отпущенный мартенсит или мартенсит отпуска**. Твердость стали сохраняется максимальной, которая получилась при закалке.

Второе превращение при отпуске происходит при температуре 200–300 °С. Протекает одновременно несколько процессов:

- 1) продолжается распад мартенсита;
- 2) начинается распад остаточного аустенита.

Твердость закаленной стали заметно не изменяется, но повышается хрупкость. Поэтому отпуск в зоне температур 200–300 °С не производится.

Третье превращение при отпуске происходит при температуре 350–450 °С. Завершается процесс выделения углерода из α — раствора (мартенсита), осуществляется обособление решеток феррита и карбида, связанное с одновременным протеканием карбидного превращения, в результате которого образуется цементит ($Fe_{2,4}C \rightarrow Fe_3C$). Изменяются размеры и форма карбидных частиц. Она приближается к сфероидальной. Образуется феррито-цементитная очень мелкая смесь, которая называется **троостит отпуска**. Твердость стали снижается ~ на 1/3 от максимума.

Четвертое превращение при отпуске происходит при повышении температуры до 500–650 °С которое приводит к изменениям микроструктуры; протекает процесс коагуляции и сфероидизации карбидов. Коагуляция карбидов происходит вследствие переноса атомов углерода через α -твердый раствор, растворения более мелких и рост более крупных частиц карбидов при обеднении углеродом α -твердого раствора. Образуется более крупная феррито-цементитная смесь, которая называется **сорбитом отпуска**. Твердость стали снижается ~ на 2/3 от максимума.

Все превращения и образование структур при отпуске происходят при определенной температуре нагрева в процессе выдержки и не зависят от скорости охлаждения. Влияние температуры отпуска на механические свойства закаленной стали 45 представлены на рисунке 24.

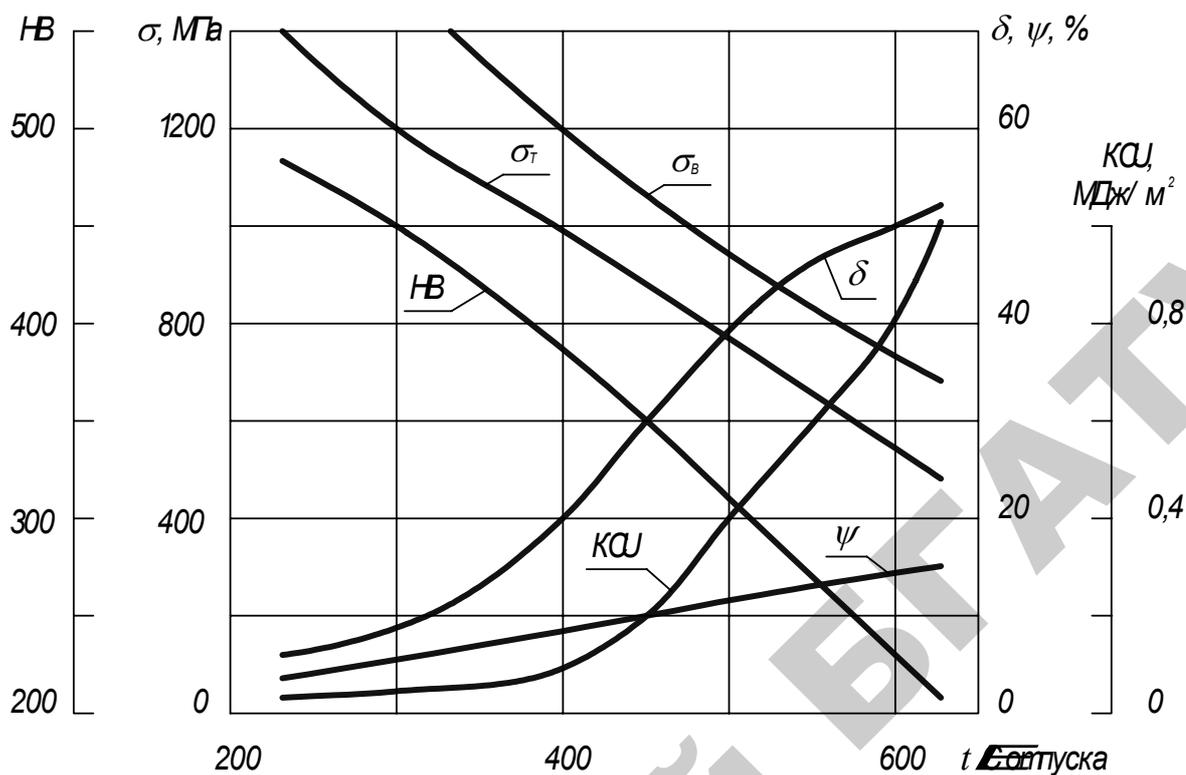


Рисунок 24 — Влияние температуры отпуска на механические свойства закаленной стали с содержанием 0,45 % углерода

В легированных сталях второе и третье превращение при отпуске происходят при более высоких температурах в результате того, что почти все легирующие элементы увеличивают силы связи в твердых растворах и затрудняют диффузионное перераспределение элементов. Карбидообразующие элементы, имеющие большое химическое сродство к углероду (*Ti*, *Nb*, *V*, *W*, *Mo*, *Cr* и др.) уменьшают скорость диффузии углерода и замедляют образование карбидов.

4 Виды отпуска и их применение

Низкий отпуск. Температура 150–200 °C. Структура стали — **мартенсит отпуска**. Твердость остается высокой 55–62 HRC, но уменьшаются остаточные напряжения. Данный отпуск применяют для измерительного и режущего инструмента, после цементации, цианирования, поверхностной закалки, для деталей, требующих максимальной твердости.

Средний отпуск. Температура 350–500 °C. Структура стали после среднего отпуска — **троостит отпуска**. Твердость 40–50 HRC. Охлаждение

после этого вида отпуска рекомендуется проводить в воде, что приводит к образованию в поверхностном слое остаточных напряжений сжатия, которые увеличивают предел выносливости деталей. Применяют для пружин, рессор и т. п.

Высокий отпуск. Температура 550–600 °С. Структура **сорбит отпуска**. Твердость 25–30 HRC. Данная структура имеет высокую ударную вязкость. Этот вид отпуска применяют для деталей, работающих при знакопеременных и ударных нагрузках и не требующих высокой твердости: оси и полуоси тракторов, автомобилей, валы, пальцы, болты, шатуны двигателей и др. Сочетание закали и высокого отпуска в практике называется улучшением стали.

Структуры троостита и сорбита, получаемые отпуском являются зернистыми в отличие от тех же структур получаемых закалкой, которые являются пластинчатыми. В практике стремятся получать троостит и сорбит отпуска для обеспечения более высоких механических свойств.

5 Порядок проведения работы

1. Изучить исходную структуру образца марки стали 45 и зарисовать схему структуры.
2. Измерить твердость стали в исходном состоянии.
3. Назначить режимы закалки:
 - а) температуру нагрева под закалку;
 - б) время нагрева и выдержки;
 - в) скорость охлаждения (охлаждающую среду) по диаграмме изотермического превращения аустенита для данной марки стали.
4. Нагреть образцы до температуры закалки и дать время на прогрев.
5. Охладить образцы в воде, масле, на воздухе.
6. Замерить твердость образцов после закалки в различных средах.
7. Изучить и зарисовать схемы микроструктур стали после закалки с различной скоростью охлаждения.

8. Построить график зависимости твердости стали от скорости охлаждения.
9. Изучить превращения в стали при отпуске.
10. Образцам из стали 45, закаленным на мартенсит с охлаждением в воде, выполнить три вида отпуска:
 - а) низкий, температура 200 °С;
 - б) средний, температура 400 °С;
 - в) высокий, температура 600 °С.
11. Дать время выдержки при отпуске ~30 мин.
12. Замерить твердость образцов после отпуска на приборе ТК-2, *HRC*.
13. Построить график зависимости твердости закаленной стали *HRC* от температуры отпуска.
14. Изучить под микроскопом и зарисовать схемы структур отпущенной стали 45.
15. Сделать выводы по работе.

6 Приборы и оборудование

1. Образцы для закалки из стали 45 диаметром 10–12 мм, длине 30–40 мм.
2. Электроды камерные лабораторные СНОЛ.
3. Закалочные клещи.
4. Закалочные ванны.
5. Твердомеры ТК-2.
6. Микроскопы МИМ-7.
7. Набор шлифов закаленных сталей.
8. Микрошлифы стали 45 после низкого, среднего и высокого отпуска.

7 Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Определение основных видов термической обработки (отжиг, нормализация, закалка полная и неполная, отпуск).

3. Участок диаграммы $Fe-Fe_3C$ с нанесенными на ней температурными зонами нагрева под закалку.
4. Диаграмму изотермического превращения аустенита (для стали У8А) со схематичным изображением способов закалки и их определения.
5. Краткие сведения о превращениях при отпуске, виды отпуска.
5. Назначенные режимы термической обработки.
6. Схемы микроструктуры образцов стали 45: а) исходной; б) после закалки, полученной с различной скоростью охлаждения, после различных видов отпуска.
7. График зависимости твердости стали от скорости охлаждения.
8. График зависимости твердости закаленной стали от температуры отпуска.
9. Выводы по работе.

8 Контрольные вопросы

1. Что такое отжиг?
2. Что такое закалка?
3. Что такое нормализация?
4. Что такое критическая скорость закалки?
5. Что такое полная закалка?
6. Что такое неполная закалка?
7. Что такое непрерывная закалка?
8. Что такое прерывистая закалка?
9. Что такое ступенчатая закалка?
10. Что такое изотермическая закалка?
11. Что такое закалка с самоотпуском?
12. Дефекты при закалке?
13. Как выбрать температуру под закалку для доэвтектоидных сталей?
14. Как выбрать температуру под закалку для заэвтектоидных сталей?
15. Как определить продолжительность нагрева при закалке?

16. Что такое мартенсит, в каком случае образуется эта структура?
17. Как влияет скорость охлаждения на твердость закаленной стали?
18. Что такое критическая точка A_{c3} ?
19. Что такое критическая точка A_{c1} ?
20. Что такое критическая точка A_{cm} ?
21. Что такое отпуск?
22. Превращения при отпуске.
23. Как влияют легирующие элементы на отпуск стали?
24. Какие виды отпуска вы знаете?
25. Какая структура образуется при низком отпуске?
26. В каком случае применяется низкий отпуск?
27. Какая структура образуется при среднем отпуске?
28. В каком случае применяется средний отпуск?
29. Какая структура образуется при высоком отпуске?
30. В каком случае применяется высокий отпуск?
31. В чем отличие троостита и сорбита закалки и троостита и сорбита отпуска?
32. Как влияет температура отпуска на механические свойства стали?

Лабораторная работа №5 «Поверхностное упрочнение стали»

Цель работы:

- 1) изучить основные методы поверхностной закалки и химико-термической обработки;
- 2) изучить изменение структуры и свойств углеродистой стали после высокочастотной закалки и цементации.

1 Общие сведения

Большинство деталей современных машин работает под действием статических и динамических нагрузок при обычных и повышенных температурах, вызывающих быстрый износ, коррозию, разрушение поверхностных слоев деталей. Работоспособность техники в условиях эксплуатации определяют надежность и долговечность ее деталей.

В связи с этим возникает необходимость изменения состояния поверхности металла для увеличения ее стабильности и повышения сопротивляемости разрушениям. Это достигается различными методами упрочнения поверхности деталей, как при их производстве, так и при восстановлении. Классификация методов упрочнения поверхности деталей машин предусматривает две принципиальные группы методов упрочнения (восстановления):

- 1) упрочнение без изменения химического состава поверхности, но с изменением ее структуры;
- 2) упрочнение с изменением химического состава поверхности и ее структуры.

Упрочнение методами первой группы достигается поверхностной закалкой, поверхностной пластической деформацией и другими методами.

Вторая группа упрочнения осуществляется различными методами химико-термической обработки (ХТО) и методами наложения защитных слоев. Эти методы осуществляются многочисленными видами технологических процессов (плазменное упрочнение, лазерное, ионно-плазменное, электроискровое упрочнение и др.).

В практике в настоящее время из методов упрочнения без изменения химического состава поверхности, но с изменением ее структуры, наиболее распространены методы поверхностной закалки, а из способов упрочнения с изменением химического состава поверхности и ее структуры — методы ХТО.

Выбор метода поверхностного упрочнения детали зависит от условий ее эксплуатации, формы, размеров, марки выбранной стали и других факторов.

2 Поверхностная закалка

Сущность любого способа поверхностной закалки состоит в том, что поверхностные слои детали быстро нагревают выше критических точек, а затем охлаждают со скоростью выше критической. В результате слой металла, нагретый выше A_{c3} (I) получит полную закалку; слой, нагретый выше A_{c1} (II), но ниже A_{c3} (II) — неполную закалку, а сердцевина (III) (рисунок 25) или не нагреется, или нагреется ниже A_{c1} и закалки не произойдет.

Основное назначение поверхностной закалки: повышение твердости, износостойкости и предела выносливости поверхности при сохранении вязкой сердцевины детали.

Способы поверхностной закалки определяются методами нагрева, которые могут быть:

- 1) в расплавленных металлах или солях;
- 2) пламенем ацетилено-кислородной или газовой горелки (закалка с газопламенным нагревом);
- 3) в электролитах;
- 4) токами высокой частоты, индуцируемыми в поверхностных слоях детали (закалка токами высокой частоты);
- 5) лазерами (лазерная закалка) и др.

В промышленности самым распространенным способом является закалка нагревом токами высокой частоты (ТВЧ). Реже, в основном для крупных деталей, применяется закалка с газопламенным нагревом.

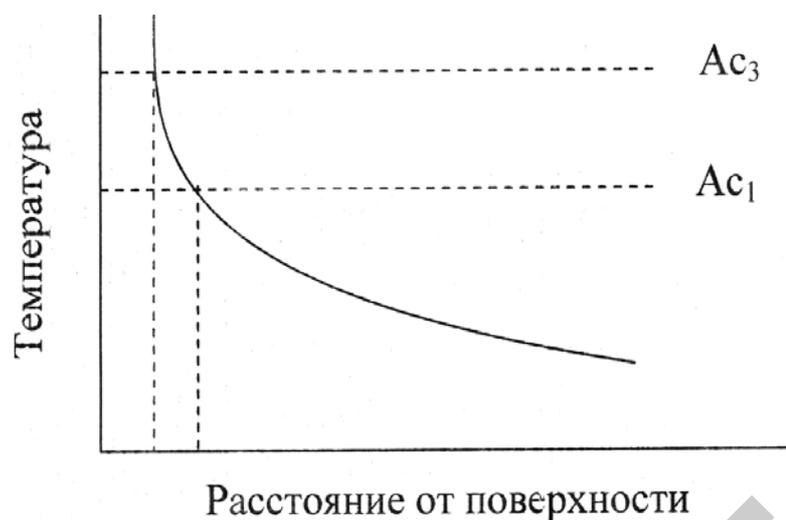


Рисунок 25 — Распределение температуры от поверхности в глубину при поверхностной закалке

Закалка ТВЧ

Закалку с индукционным нагревом ТВЧ широко используют на производстве для повышения долговечности осей, пальцев, валов, и других деталей цилиндрической формы. Толщина поверхностного слоя, обработанная на структуру мелкоигольчатого мартенсита, определяется условиями работы детали. Когда изделие работает только на износ или в условиях усталости, толщину закаленного слоя чаще принимают 1,5–3,0 мм, в условиях высоких контактных нагрузок и возможной перешлифовки — 4,0–6,0 мм. В случае особо больших контактных нагрузок, например, для валков холодной прокатки, толщина закаленного слоя достигает 10,0–15,0 мм и выше. Обычно считают, что площадь сечения закаленного слоя должна быть не более 20 % всего сечения.

Индукционный нагрев происходит вследствие теплого действия тока, индуцируемого в изделии, помещенном в переменное магнитное поле высокой частоты.

Деталь 1 помещают внутри индуктора 2, представляющего собой один или несколько витков пустотелой водоохлаждаемой медной трубки или шины (рисунок 26). Переменный ток высокой частоты, протекая через индуктор, создает переменное магнитное поле. В результате индукции в поверхностном

слое детали возникают вихревые токи, происходит выделение Джоулева тепла. Ток проходит, в основном, в поверхностном слое проводника (детали). Это явление называется поверхностным эффектом.

Около 90 % тепла выделяется в слое толщиной y , которая определяется по уравнению:

$$y = 4,46 \times 10^5 \sqrt{\frac{c}{mf}}, \text{ (м)}$$

Толщина слоя зависит от частоты тока f , Гц, а также магнитной проницаемости μ , Г/м и удельного электросопротивления ρ , Ом·м нагреваемого металла.

Для получения закаленного слоя толщиной 1,0 мм частота тока составляет 50-60 кГц, для слоя 2,0 мм частота тока — 15 кГц.

Источником ТВЧ служат машинные или ламповые генераторы. Машинные генераторы вырабатывают ток частотой от 1000 до 15000 Гц; ламповые до 100 000 Гц. В последнее время широко применяют тиристорные и транзисторные преобразователи частоты, обеспечивающие плавное регулирование частоты тока в заданном режиме.

Охлаждающую жидкость (воду, масло) подают через душевое устройство (спрейер). Спрейер часто совмещают с индуктором. После закалки с индукционным нагревом изделия подвергают низкому отпуску при 160–200 °С, иногда самоотпуску.

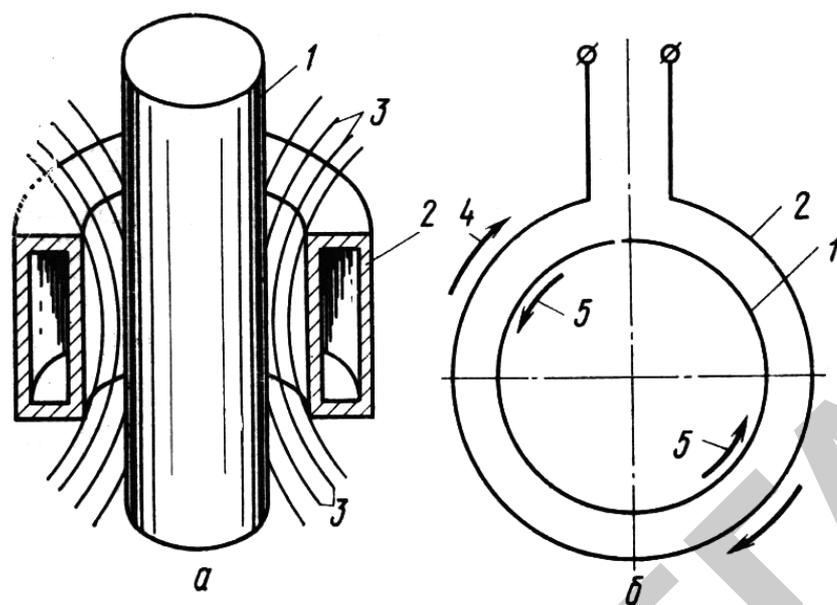


Рисунок 26 — Схема высокочастотной установки:

a — распределение магнитного потока в индукторе; *б* — направление токов в индукторе и детали; 1 — нагреваемая деталь; 2 — виток индуктора; 3 — магнитные силовые линии; 4 — направление тока в индукторе; 5 — направление тока в детали

Для поверхностной индукционной закалки применяют стали содержащие 0,4–0,5 % углерода (40, 45, 40X, 45X, 40XH, 50XФА, 50Г, 50ХМ и др.).

Обладая высокой производительностью, метод поверхностной закалки ТВЧ в то же время мало эффективен для деталей сложной формы, для которых, в силу их конструктивных особенностей, возможно только местное упрочнение. Этого недостатка не наблюдается при газопламенной обработке, обеспечивающей для деталей сложной формы равномерное упрочнение.

Кроме поверхностного нагрева, описанного выше, получила распространение поверхностная закалка при глубоком индукционном нагреве (объемно-поверхностная закалка). В этом случае глубина прогрева до критических температур больше, чем глубина закаленного слоя. Для получения поверхностного закаленного слоя используются стали с **пониженной прокаливаемостью**. В этих сталях при охлаждении после нагрева на поверхности образуется мартенсит (60 HRC), а в сердцевине, поскольку скорость охлаждения меньше критической, образуется сорбит или троостит (30–40 HRC). В этом случае применяются специальные стали пониженной (55ПП, 60ПП) или регламентированной (47ГТ) прокаливаемости. Сталь 55ПП используют

для деталей, у которых глубина закаленного слоя должна быть меньше 2–3 мм. В стали регламентированной прокаливаемости получение закаленного слоя глубиной 7–8 мм обеспечивает марганец, а мелкое зерно — титан.

3 Химико-термическая обработка стали

Химико-термической обработкой называется термическая обработка, заключающаяся в сочетании термического и химического воздействия с целью изменения состава, структуры и свойств поверхностного слоя стали.

ХТО заключается в насыщении поверхностного слоя стали различными элементами (*C, N, Al, Cr, Si, B* и др.) путем их диффузии в атомарном состоянии из насыщающей среды (твердой, газовой, жидкой, паровой) при высокой температуре.

Физические основы химико-термической обработки заключаются в следующем:

1. Образование насыщающего элемента в атомарном состоянии (**диссоциация**);
2. Поглощение (растворение) атомов насыщающего элемента поверхностью металла (**адсорбция**);
3. Проникновение насыщающего элемента вглубь (**диффузия**).

В результате образуется диффузионный слой, на поверхности которого концентрация диффундирующего элемента наибольшая.

В зависимости от насыщающего элемента существуют следующие разновидности химико-термической обработки:

- **цементация** — насыщение стали углеродом;
- **азотирование** — насыщение стали азотом;
- **цианирование** — одновременное насыщение стали углеродом и азотом;
- **борирование** — насыщение стали бором и т. д.

Насыщение стали металлами называется **диффузионной металлизацией**. В зависимости от насыщающего металла существуют процессы:

- **алитирование** — насыщение алюминием;
- **хромирование** — насыщение хромом;
- **силицирование** — насыщение кремнием и т. д.

Практическое значение для сельхозмашиностроения имеют технологические процессы цементации, азотирования, цианирования, борирования, алитирования, диффузионного хромирования. Однако наиболее широко используется цементация вследствие экономичности, не дефицитности насыщающей среды.

3.1 Цементация

Цементация заключается в насыщении стали углеродом для придания деталям машин высокой твердости и износостойкости поверхности при сохранении вязкой и пластичной сердцевины. Окончательные свойства цементированные изделия приобретают после закалки и низкого отпуска. Цементируются обычно детали, изготовленные из стали с содержанием углерода 0,1–0,3 %. Цементации подвергаются детали, работающие в условиях контактного износа и приложения знакопеременных нагрузок: средне размерные зубчатые колеса, втулки, поршневые пальцы, кулачки, валы коробок передач автомобилей, отдельные детали рулевого управления и т. д.

В зависимости от состояния насыщающей среды, называемой «**карбюризатором**», различают цементацию в твердом, газовом и жидком карбюризаторах. Температура цементации изменяется в интервале 880–1000 °С.

Цементация в твердом карбюризаторе

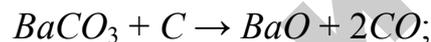
Цементируемые детали вместе с карбюризатором загружают в ящики, герметически упаковывают, выдерживают при 930 °С. Скорость насыщения 0,1–0,2 мм/ч. После цементации ящики охлаждают на воздухе до 400–500 °С, а затем раскрывают. В качестве карбюризатора применяют смесь древесного угля или каменноугольного полукокса с углекислым барием и кальцием. Для

контроля за протеканием процесса и толщиной цементованного слоя в ящик закладывают свидетели — образцы диаметром 10–15 мм из той же марки стали, которые периодически вынимают и определяют глубину слоя. Широко применяют карбюризатор, состоящий из древесного угля, 20–25 % $BaCO_3$ и 3,5 % $CaCO_3$. Рабочая смесь, применяемая для цементации, состоит из 20–25 % свежего карбюризатора и 80–75 % отработанного.

В цементационном ящике имеется воздух, кислород которого при высокой температуре взаимодействует с углеродом карбюризатора, образуя оксид углерода. Оксид углерода в присутствии железа диссоциирует по уравнению:



Механизм действия активизатора сводится к увеличению количества в ящике CO :



Существенным недостатком цементации в твердом карбюризаторе является большая длительность процесса, невозможность регулирования содержания углерода в слое, необходимость прогрева малотеплопроводной массы карбюризатора, высокая стоимость подготовительных операций (ручная укладка деталей в ящики, приготовление карбюризатора и т. д.). Однако универсальность и простота цементации в твердом карбюризаторе обуславливает применение ее в мелкосерийном и единичном производстве.

Газовая цементация

Этот процесс осуществляют нагревом изделия в среде газов, содержащих углерод. Газовая цементация имеет ряд преимуществ по сравнению с цементацией в твердом карбюризаторе. В этом случае можно получить заданную концентрацию углерода в слое, скорость процесса составляет $\approx 0,2$ мм/ч, что сокращает длительность процесса. При этом обеспечивается

возможность полной механизации и автоматизации процессов, включая и последующую термическую обработку деталей.

При газовой цементации в качестве карбюризатора используют природные газы, состоящие из метана (CH_4) и пропанбутановых смесей. Также применяют жидкие углеводороды (керосин, синтин, спирты и др.) каплями подаваемые в печь. Углеводородные соединения при высокой температуре разлагаются с образованием атомарного углерода и водорода.

В серийном производстве газовую цементацию обычно проводят в шахтных печах. В крупносерийном и массовом производствах газовую цементацию проводят в безмуфельных печах непрерывного действия.

Разработаны новые методы цементации: высокотемпературная вакуумная цементация; цементация в тлеющем разряде (ионная цементация); цементация в кипящем слое; цементация в расплавленных солях (жидкостная цементация); цементация пастами. В то же время самым распространенным промышленным методом является газовая цементация.

Структура цементационного слоя

Цементационный слой имеет переменную концентрацию углерода по толщине, уменьшающуюся от поверхности к сердцевине детали. Различают три основные зоны (рисунок 27).



Рисунок 27 — Структура стали и после цементации

За глубину цементационного слоя принимают сумму заэвтектоидной, эвтектоидной и половину доэвтектоидной зоны, где количество феррита и перлита составляет по 50 %.

Термическая обработка цементованной стали и свойства упрочненных деталей

Окончательные свойства стальных деталей достигаются в результате термической обработки, выполняемой после цементации. Этой обработкой

можно исправить структуру и измельчить зерно сердцевины и цементованного слоя, получить высокую твердость в поверхностном слое 56–60 *HRC* и хорошие механические свойства сердцевины 26–40 *HRC*; устранить карбидную сетку в цементованном слое, которая может возникнуть при насыщении его углеродом до заэвтектоидной концентрации.

В большинстве случаев, особенно при обработке наследственно мелкозернистых сталей, применяют закалку выше точки A_{c3} (сердцевины) при 820–850 °С. Это обеспечивает измельчение зерна и полную закалку цементированного слоя и частичную перекристаллизацию и измельчение зерна сердцевины. После газовой цементации часто применяют закалку без повторного нагрева, а непосредственно из цементационной печи после подстуживания изделий до 840–860 °С, для уменьшения коробления обрабатываемых изделий. Такая обработка не исправляет структуры цементированного слоя и сердцевины, поэтому непосредственную закалку применяют только в том случае, когда изделия изготовлены из наследственно мелкозернистой стали. Для уменьшения деформации цементированных изделий выполняют также ступенчатую закалку в горячем масле (160–180 °С).

В результате термической обработки поверхностный слой приобретает структуру мелкоигльчатого мартенсита и изолированных участков остаточного аустенита (не более 15–20 %). Большое значение имеет **прокаливаемость**, под которым понимают способность стали образовывать структуру мартенсита с *HRC* 59–62 на заданном расстоянии от поверхности (толщина слоя до 0,8–1,1 мм). Карбиды уменьшают прокаливаемость, играя роль готовых центров распада аустенита, снижая его устойчивость.

Заключительной операцией термической обработки стальных деталей после цементации во всех случаях является низкий отпуск при 160–180 °С, переводящий мартенсит закалки в поверхностном слое в отпущенный мартенсит, снимающий напряжения.

Углеродистые качественные стали, содержащие $\leq 0,25\% C$ — стали 10, 15, 20, 25, применяются для изготовления цементлируемых деталей, от ко-

торых требуется высокая поверхностная твердость и допустима невысокая прочность сердцевины, и используются сравнительно редко.

Хромистые стали 15Х, 20Х, 20ХФ применяются для небольших деталей, работающих на износ в условиях трения, при средних удельных давлениях и скоростях.

Хромомарганцевые стали — марок 18ХГТ, 25ХГТ, 20ХГР дополнительно легированные *Ti*, *Mn*, *B* — применяется для изготовления ответственных деталей, работающих при больших скоростях, средних и высоких удельных давлениях, при наличии ударных нагрузок. Стали склонны к внутреннему окислению при газовой цементации, что снижает прокаливаемость слоя и предел выносливости. Марганец повышает прокаливаемость цементируемого слоя, устраняет вредное влияние внутреннего окисления.

3.2 Азотирование

Азотированием называется диффузионное насыщение поверхностного слоя стали азотом. Азотирование чаще всего проводится при температурах 500–600 °С. Азотирование повышает твердость поверхностного слоя деталей, износостойкость, сопротивление коррозии в атмосфере, воде, паре.

Свойства азотированного слоя выше, чем цементированного и сохраняются до температур 450–550 °С. Азотированию подвергают легированные стали, содержащие хром, ванадий, молибден и другие элементы (например, 20Х13, 30Х13, 30ХМЮА, 30ХЗМФ1, 25ХЗНЗМФ и др.), которые применяют для изготовления шестерен, коленчатых валов, клапанов, гильз цилиндров мощных двигателей, кулачков, втулок, деталей топливной аппаратуры и паровых турбин. Азотируются детали, работающие в условиях трения скольжения, склонные к короблению (деформации) и испытывающие небольшие контактные нагрузки. Азотированию могут подвергаться практически все легированные стали. Износостойкость азотированной стали в 2–4 раза выше износостойкости цементированной стали.

При азотировании в качестве карбюризатора применяют аммиак. Получившийся при диссоциации аммиака атомарный азот диффундирует в сталь, образуя твердые растворы в α и γ железе (азотистый феррит и аустенит) и химические соединения — нитриды. Данный процесс длительный, для получения глубины слоя 0,1 мм необходимо 24 часа. Для ускорения процесса азотирования сначала азотирование проводят при 500–520 °С, затем при 540–560 °С. Перед азотированием проводят улучшение (закалку и высокий отпуск).

Азотирование изделий является одним из основных методов повышения предела выносливости. Надрезы, царапины, резкие переходы сечений, отверстия и другие концентраторы напряжений, понижающие предел выносливости, после азотирования практически не оказывают ослабляющего влияния. Влияние азотирования тем сильнее, чем меньше поперечное сечение детали и больше конструктивные или технологические концентраторы напряжений.

Азотирование широко применяют для мало- и средненагруженных зубчатых колес сложной конфигурации, например, с внутренними зубьями и др., шлифование которых трудно осуществить. В этом случае зубчатые колеса изготовляют из стали 40Х (конические) или 40ХФА (цилиндрические). После азотирования на глубину 0,1–0,13 мм, в результате которого обеспечивается минимальная деформация, проводится только притирка или хонингование зубьев.

Широко применяется азотирование деталей топливной аппаратуры и клапанов дизельных двигателей, деталей турбин из высокохромистых сталей (20Х13, 30Х13, 40Х13), а также штоков клапанов паровых турбин, гильз цилиндров, игл форсунок, пальцев, плунжеров и др.

3.2 Нитроцементация

Нитроцементацией называют процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стали одновременно углеродом и азотом при температуре 840–860 °С в газовой среде, состоящей из науглероживающего газа и аммиака. Продолжительность процесса 4–10 ч. Установлено, что при одновременной

диффузии углерода и азота ускоряется диффузия углерода. Процесс проводят при более низкой температуре (840–860 °С вместо 910–930 °С при цементации). После нитроцементации следует закалка непосредственно из печи, реже после повторного нагрева, применяют и ступенчатую закалку. После закалки проводят отпуск при 160–180 °С. Структура обработанного слоя после нитроцементации, как и после цементации, состоит из мелкокристаллического мартенсита и остаточного аустенита, но в ней присутствует небольшое количество дисперсных равномерно распределенных карбонитридов. Азота в слое должно быть 0,10–0,15 % , а углерода 1,0–1,65 %. Твердость слоя после закалки и низкого отпуска *HRC* 58–60. Нитроцементации обычно подвергают детали сложной конфигурации, склонные к короблению в крупносерийном и массовом производстве, на автомобильных и тракторных заводах.

4 Порядок проведения работы

1. Изучить основные методы поверхностного упрочнения стали.
2. Изучить микроструктуру стали после поверхностной закалки ТВЧ.
4. Изучить микроструктуру стали после цементации.
5. Изучить микроструктуру стали после цементации и последующей закалки.
6. Составить отчет по работе.

5 Оборудование, инструмент и материалы

1. Установка ТВЧ с ламповым генератором, индуктора.
2. Металлографические микроскопы МИМ–7.
3. Образцы микроструктур стали после закалки ТВЧ и цементации, цементации и последующей закалки и отпуска.

6 Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Сведения об основных методах поверхностной закалки стали (принципиальная схема установки).
3. Перечень основных методов ХТО.
4. Схемы микроструктур стали после ТВЧ и цементации.
5. Выводы (сравнение способов упрочнения стальных деталей).

7 Контрольные вопросы

1. В каком случае применяется поверхностное упрочнение детали?
2. Изложите основные методы поверхностного упрочнения детали.
3. Изложите сущность поверхностной закалки.
4. Перечислите основные методы поверхностной закалки.
5. Объясните закалку газопламенным нагревом.
6. Объясните закалку ТВЧ.
7. От чего зависит глубина закаленного слоя?
8. Какие установки применяют для закалки ТВЧ?
9. Что называется химико-термической обработкой?
10. Физическая сущность химико-термической обработки.
11. Объясните процесс цементации.
12. Какую термическую обработку проводят после цементации?
13. Какие существуют методы цементации?
14. Объясните процесс азотирования стали.
15. Какую предварительную термическую обработку проводят перед азотированием?
16. Преимущества и недостатки цементации.
17. Преимущества и недостатки закалки ТВЧ.

8. Твердость закаленных изделий измеряют:

- 1) по Роквеллу с алмазным конусом;
- 2) по Бринеллю;
- 3) по Роквеллу с шариком;
- 4) перечисленными методами твердость закаленных изделий измерить невозможно.

9. Для измерения твердости по Бринеллю используется алмазный конус:

- 1) при измерении мягких материалов;
- 2) при измерении твердых материалов;
- 3) во всех случаях;
- 4) при измерении твердости по Бринеллю алмазный конус не применяется.

10. Твердость напильника можно измерить:

- 1) по Бринеллю;
- 2) по Роквеллу с алмазным конусом;
- 3) по Роквеллу с шариком;
- 4) любым из перечисленных методов.

11. Неразрушающим видом контроля является следующий метод испытания:

- 1) измерение прочности;
- 2) измерение ударной вязкости;
- 3) измерение пластичности;
- 4) измерение твердости.

12. Методы измерения твердости следующие:

- 1) метод Бринелля и метод Роквелла;
- 2) метод разрушения образцов на маятниковом копре;
- 3) статические испытания на растяжение;

4) циклические испытания.

13. Зависимость между твердостью по Бринеллю и пределом прочности:

- | | |
|-------------------|--------------------|
| 1) криволинейная; | 3) синусоидальная; |
| 2) прямолинейная; | 4) не существует. |

14. Условия испытания при измерении твердости по Бринеллю:

- 1) материал индентора;
- 2) диаметр шарика, усилие, время выдержки;
- 3) скорость нагружения;
- 4) не существуют.

15. При определении твердости по Бринеллю используют следующие диаметры шариков:

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| 1) без ограничений; | 3) 2,5 мм; 5 мм; 10 мм; |
| 2) 4 мм; 8 мм; 12 мм; | 4) 1 мм; 2 мм; 3 мм. |

16. Мерой твердости по методу Роквелла является:

- 1) диаметр отпечатка;
- 2) разность глубин при основной и предварительной нагрузке;
- 3) высота отскока шарика;
- 4) не существует.

17. Требования к деталям при измерении твердости:

- 1) не существует;
- 2) определенная толщина, подготовленная поверхность;
- 3) неподготовленная поверхность;
- 4) толщина менее 3,0 мм.

18. Недостаток измерения твердости по методу Бринелля:

- 1) не имеется;
- 2) не измеряется высокая твердость;
- 3) длительность процесса измерения;
- 4) отсутствие геометрического подобия.

19. Выбор нагрузки по методу Бринелля:

- 1) произвольно;
- 2) в зависимости от размера детали;
- 3) $30 D^2$; $10 D^2$; $2,5 D^2$;
- 4) 100 кгс; 500 кгс; 1000 кгс; 2000 кгс.

20. Выбор нагрузки по методу Роквелла:

- 1) произвольно;
- 2) в зависимости от размера детали;
- 3) в зависимости от индентора и шкалы;
- 4) 10 кгс; 50 кгс; 100 кгс; 200 кгс.

Лабораторная работа № 2

«Микроструктурный метод исследования металлов»

1. Строение металлов и сплавов:

- | | |
|---------------------|---------------------|
| 1) аморфное; | 3) неупорядоченное; |
| 2) кристаллическое; | 4) произвольное. |

2. Методы исследования строения металлов и сплавов:

- | | |
|-----------------------------|--------------------------|
| 1) испытания на растяжение; | 3) макро- и микроанализ; |
| 2) динамические испытания; | 4) не имеется. |

3. Рентгеноструктурный анализ заключается в:

- 1) визуальном осмотре;
- 2) изучении под микроскопом;

- 3) изучении с помощью лупы;
- 4) исследовании с помощью рентгеновских лучей.

4. Микрошлиф — это:

- 1) образец после шлифовки;
- 2) образец, подготовленный для микроструктурного анализа;
- 3) образец очень малых размеров;
- 4) образец определенных размеров.

5. Микроанализом называется:

- 1) изучение структуры невооруженным глазом;
- 2) изучение структуры под микроскопом;
- 3) изучение структуры с помощью лупы;
- 4) изучение структуры с помощью рентгеновских лучей.

6. Травление микрошлифа применяется:

- 1) для улучшения качества поверхности;
- 2) для снятия окалины;
- 3) для выявления структурных составляющих;
- 4) не применяется.

7. Полирование микрошлифа производится:

- 1) кислотой;
- 2) абразивными материалами;
- 3) водой;
- 4) не применяется.

8. Полезное увеличения микроскопа это:

- 1) увеличение объектива;
- 2) отношение числовой апертуры к длине волны;
- 3) отношение разрешающей способности глаза человека к разрешающей способности микроскопа;
- 4) отверстие угол объектива микроскопа.

9. Характеристики оптического микроскопа:

- 1) числовая апертура, длина волны;
- 2) увеличение микроскопа, разрешающая способность;
- 3) объектив, окуляр;
- 4) отсутствуют.

10. Электронная микроскопия применяется:

- 1) при увеличении в 100000–1000000 раз;
- 2) при увеличении 60–1500 раз;
- 3) для исследования структуры при увеличениях в 2000–5000 раз;
- 4) для исследования структуры при любых увеличениях.

11. Микроструктурой называется:

- 1) строение металлов и сплавов, видимое под микроскопом;
- 2) строение металлов и сплавов, видимое невооруженным взглядом при увеличении до 30 раз;
- 3) строение металлов при рассмотрении под лупой;
- 4) строение металлов, выявленное рентгеноструктурным анализом.

12. Общее увеличение микроскопа это:

- 1) разрешающая способность микроскопа;
- 2) произведение увеличения окуляра и увеличения объектива;
- 3) числовая апертура объектива;
- 4) увеличение объектива.

13. В качестве травителя для сталей и чугунов используют:

- 1) серную кислоту;
- 2) плавиковую кислоту;
- 3) 3 % раствор азотной кислоты;
- 4) щелочь (едкий натрий).

14. Подготовка микрошлифа заключается:

- 1) в получении ровной поверхности;
- 2) в шлифовании;

- 3) в шлифовании, полировании и травлении;
- 4) в шлифовании и травлении.

15. Расчет марки стали осуществляется:

- 1) по количеству ледебурита;
- 2) по количеству цементита;
- 3) по количеству перлита;
- 4) по количеству аустенита.

**Лабораторная работа № 3
«Углеродистые стали и чугуны»**

1. Ферритом называется:

- 1) твердый раствор внедрения углерода в α -железо;
- 2) твердый раствор внедрения углерода в γ -железо;
- 3) химическое соединение (Fe_3C);
- 4) эвтектическая смесь перлита с цементитом.

2. Аустенитом называется:

- 1) твердый раствор внедрения углерода в α -железо;
- 2) твердый раствор внедрения углерода в γ -железо;
- 3) химическое соединение (Fe_3C);
- 4) эвтектоидная смесь феррита с цементитом.

3. Цементитом называется:

- 1) твердый раствор внедрения углерода в α -железо;
- 2) твердый раствор внедрения углерода в γ -железо;
- 3) химическое соединение (Fe_3C);
- 4) эвтектоидная смесь феррита и цементита.

4. Перлит — это:

- 1) твердый раствор внедрения углерода в α -железо;
- 2) твердый раствор внедрения углерода в γ -железо;

- 3) химическое соединение (Fe_3C);
- 4) эвтектоидная смесь феррита и цементита.

5. Структура эвтектоидной стали состоит из:

- 1) феррита и цементита третичного;
- 2) феррита и перлита;
- 3) перлита и цементита;
- 4) перлита.

6. Структура доэвтектоидной стали состоит из:

- 1) цементита;
- 2) феррита и перлита;
- 3) перлита и цементита;
- 4) перлита.

7. Структура заэвтектоидной стали состоит из:

- 1) феррита и перлита;
- 2) феррита и цементита третичного;
- 3) перлита и цементита;
- 4) перлита.

8. Сера оказывает следующее влияние на свойства стали:

- 1) увеличивает хрупкость;
- 2) вызывает красноломкость;
- 3) вызывает хладноломкость;
- 4) повышает пластичность

9. Фосфор оказывает следующее влияние на свойства стали:

- 1) увеличивает хрупкость;
- 2) вызывает красноломкость;
- 3) вызывает хладноломкость;
- 4) повышает пластичность.

10. Максимальное содержание углерода в доэвтектоидной стали составляет:

- 1) 0,020 %; 2) 0,8 %; 3) 1,5 %; 4) 2,14 %.

11. Максимальное содержание углерода в заэвтектоидной стали:

- 1) 0,20 %; 2) 0,8 %; 3) 1,5 %; 4) 2,14 %.

12. Ледебуритом называется:

- 1) твердый раствор внедрения углерода в α -железо;
- 2) твердый раствор внедрения углерода в γ -железо;
- 3) химическое соединение (Fe_3C);
- 4) эвтектическая смесь аустенита и цементита.

13. Структура белого эвтектического чугуна состоит из:

- 1) ледебурита;
- 2) ледебурита и цементита первичного;
- 3) ледебурита, перлита и цементита вторичного;
- 4) феррита и графита пластинчатого.

14. Структура серого чугуна на ферритной основе состоит из:

- 1) феррита и графита пластинчатого;
- 2) перлита и графита пластинчатого;
- 3) феррита, перлита и графита пластинчатого;
- 4) феррита и графита хлопьевидного.

15. Структура ковкого чугуна на ферритной основе состоит из:

- 1) феррита и графита пластинчатого;
- 2) перлита и графита шаровидного;
- 3) феррита и графита хлопьевидного;
- 4) перлита, феррита и графита хлопьевидного.

16. Структура белого доэвтектического чугуна состоит из:

- 1) ледебурита;
- 2) ледебурита и цементита первичного;
- 3) ледебурита, перлита и цементита вторичного;
- 4) феррита и графита пластинчатого.

17. Структура серого чугуна на перлитной основе состоит из:

- 1) феррита и графита шаровидного;

- 2) перлита и графита пластинчатого;
- 3) феррита, перлита и графита пластинчатого;
- 4) феррита и графита хлопьевидного.

18. Структура ковкого чугуна на ферритно-перлитной основе состоит из:

- 1) феррита, перлита и графита шаровидного;
- 2) перлита и графита шаровидного;
- 3) перлита и графита хлопьевидного;
- 4) перлита, феррита и графита хлопьевидного.

19. Структура белого заэвтектического чугуна состоит из:

- 1) ледебурита;
- 2) ледебурита и цементита первичного;
- 3) ледебурита, перлита и цементита вторичного;
- 4) феррита и графита хлопьевидного.

20. Структура серого чугуна на ферритно-перлитной основе состоит из:

- 1) феррита, перлита и графита хлопьевидного;
- 2) перлита и графита пластинчатого;
- 3) феррита, перлита и графита пластинчатого;
- 4) перлита, феррита и графита шаровидного.

21. Структура высокопрочного чугуна на ферритной основе состоит из:

- 1) феррита и графита шаровидного;
- 2) перлита и графита шаровидного;
- 3) феррита и графита хлопьевидного;
- 4) перлита, феррита и графита пластинчатого.

22. Структура высокопрочного чугуна на перлитной основе состоит из:

- 1) феррита и графита шаровидного;
- 2) перлита и графита шаровидного;

- 3) перлита и графита хлопьевидного;
- 4) перлита, феррита и графита хлопьевидного.

23. Структура белых чугунов формируется в следующих условиях:

- 1) быстрое охлаждение в металлической изложнице;
- 2) медленное охлаждение в земляной форме;
- 3) путем отжига белого чугуна;
- 4) модифицированием жидкого чугуна магнием.

24. Структура серого чугуна с пластинчатым графитом формируется в следующих условиях:

- 1) быстрое охлаждение в металлической форме;
- 2) медленное охлаждение в земляной форме;
- 3) отжигом белого чугуна;
- 4) модифицированием жидкого чугуна магнием.

25. Структура высокопрочного чугуна с шаровидным графитом формируется в следующих условиях:

- 1) при быстром охлаждении в металлической форме;
- 2) при медленном охлаждении в земляной форме;
- 3) при отжиге деталей, изготовленных из белого чугуна;
- 4) путем модифицирования жидкого серого чугуна магнием.

26. Форма графита в высокопрочном чугуне:

- | | |
|------------------|------------------|
| 1) пластинчатая; | 3) хлопьевидная; |
| 2) шаровидная; | 4) графита нет. |

27. Форма графита в сером чугуне:

- | | |
|------------------|------------------|
| 1) пластинчатая; | 3) хлопьевидная; |
| 2) шаровидная; | 4) графита нет. |

28. Первое число марки ковкого чугуна КЧ 33-8 обозначает:

- 1) предел прочности при растяжении, кгс/мм².
- 2) предел прочности при изгибе, кгс/см².
- 3) относительное удлинение, %;
- 4) относительное сужение, %.

29. Первое число марки высокопрочного чугуна ВЧ 60 обозначает:

- 1) предел прочности при растяжении, кгс/мм²;
- 2) предел прочности при изгибе, кгс/мм²;
- 3) относительное удлинение, %;
- 4) относительное сужение, %.

30. Первое число марки серого чугуна СЧ 20 обозначает:

- 1) предел прочности при растяжении, кгс/мм²;
- 2) предел прочности при изгибе, кгс/мм²;
- 3) относительное удлинение, %;
- 4) относительное сужение, %.

31. Маркировка материала ВСтЗпс принадлежит:

- 1) качественной конструкционной стали;
- 2) качественной инструментальной стали;
- 3) стали обыкновенного качества;
- 4) легированной стали.

32. Углеродистой качественной конструкционной стали принадлежит следующая маркировка:

- | | |
|-----------------|-----------------|
| 1) сталь У12; | 3) сталь 45; |
| 2) сталь 30Х13; | 4) сталь Ст2кп. |

33. Инструментальной углеродистой сталью является:

- | | |
|---------------|---------------------|
| 1) сталь У8А; | 3) сталь 12Х18Н10Т; |
| 2) сталь 65; | 4) сталь Р6М5. |

34. Буква Б в маркировке БСт1сп означает:

- 1) маркировка принадлежит бронзе;
- 2) группу Б стали обыкновенного качества;
- 3) антифрикционный сплав — баббит;
- 4) наличие легирующего элемента в стали.

35. Стали обыкновенного качества, поставляемые по механическим свойствам без уточнения их химического состава, имеют в маркировке следующее отличие:

- 1) в начале маркировки ставится буква Б;
- 2) в начале маркировки ставится буква В;
- 3) в конце маркировки ставится буква А;
- 4) отсутствие буквы в начале маркировки.

36. Ванадий является легирующим элементом в стали:

- 1) У10А; 2) ХВГ; 3) 110Г13Л; 4) Р10К5Ф5.

37. Содержание кремния в стали 60С2ХФА составляет:

- 1) 0,6 %;
- 2) до 1 %;
- 3) 2 %;
- 4) В этой стали кремний отсутствует.

38. Полностью раскисленной является сталь:

- 1) Ст3пс;
- 2) Ст6сп;
- 3) Ст1кп;
- 4) среди перечисленных нет полностью раскисленной стали.

39. Быстрорежущая сталь может маркироваться:

- 1) Р18; 2) 18ХГТ; 3) У13; 4) 40Х9С2.

40. 1,0 % углерода, содержится у следующего из материалов (сталь 10, сталь У10, КЧ 35-10):

- 1) у стали 10;

- 2) у стали У10;
- 3) у ковкого чугуна;
- 4) ни у одного из приведенных сплавов.

41. В стали 12Г2СМФ содержание марганца составляет:

- 1) 0,12 %;
- 2) до 1 %;
- 3) до 2 %;
- 4) в этой стали марганца нет.

42. Быстрорежущие стали в своей маркировке имеют следующую особенность:

- 1) маркировка начинается с букв Бр;
- 2) маркировка начинается с буквы Р;
- 3) в конце маркировки ставится буква А;
- 4) нет особенностей — она маркируется как легированная сталь.

43. Высококачественной является следующая сталь:

- 1) 40Х;
- 2) 20ХГНМ;
- 3) Л96;
- 4) У7А.

**Лабораторная работа № 4
«Термическая обработка углеродистых сталей»**

1. Трооститом называют:

- 1) механическую смесь феррита с цементитом;
- 2) твердый пересыщенный раствор углерода в α -железе;
- 3) твердый раствор углерода в α -железе;
- 4) химическое соединение углерода с железом.

2. Мартенситом называют:

- 1) механическую смесь феррита с цементитом;
- 2) твердый пересыщенный раствор углерода в α -железе;
- 3) твердый раствор внедрения углерода в γ -железе;
- 4) химическое соединение железа с углеродом.

3. Структурой бездиффузионного превращения аустенита является:

- | | |
|--------------|---------------|
| 1) цементит; | 3) мартенсит; |
| 2) троостит; | 4) сорбит. |

4. Меньшую по сравнению с сорбитом твердость имеет структура:

- | | |
|---------------|--------------|
| 1) мартенсит; | 3) троостит; |
| 2) цементит; | 4) перлит. |

5. Наиболее твердой является структура:

- | | |
|--------------|---------------|
| 1) троостит; | 3) сорбит; |
| 2) феррит; | 4) мартенсит. |

6. Наименьшая скорость охлаждения при термической обработке может быть получена:

- | | |
|--------------------|-------------|
| 1) на воздухе; | 3) в воде; |
| 2) вместе с печью; | 4) в масле. |

7. В качестве охлаждающей среды при закалке углеродистой стали используют воду для получения следующей структуры:

- | | |
|---------------|----------------|
| 1) цементита; | 3) троостита; |
| 2) сорбита; | 4) мартенсита. |

8. Критическая скорость закалки это:

- 1) наименьшая скорость получения чистого мартенсита;
- 2) скорость, при которой образуется трещина;
- 3) характеристика охлаждающей среды;
- 4) наибольшая из возможных скоростей охлаждения.

9. Нагрев доэвтектоидной стали на 30–50 °С выше температуры точек A_{C3} с последующим охлаждением на воздухе соответствует следующей термической операции:

- 1) нормализации;
- 2) закалке;
- 3) отпуску;
- 4) диффузионному отжигу.

10. Неполная закалка это:

- 1) закалка с охлаждением стали со скоростью менее критической с температур выше линии *GSK*;
- 2) закалка с нагревом выше линии *PSK*, но ниже линии *GSE* диаграммы;
- 3) закалка с нагревом выше линии *GSE* диаграммы;
- 4) закалка только поверхности детали.

11. Отпуском называют:

- 1) нагрев стали выше линии *GSK* с быстрым охлаждением;
- 2) нагрев закаленной стали до температур ниже линии *PSK* с последующим охлаждением;
- 3) нагрев стали выше линии *GSK* с медленным охлаждением;
- 4) нагрев стали выше линии *GSE* с медленным охлаждением.

12. Нагрев заэвтектоидной стали до температуры выше линии *SK*, но ниже *SE* с последующим охлаждением в воде соответствует следующей термической операции:

- 1) полной закалке;
- 2) нормализации;
- 3) отжигу;
- 4) неполной закалке.

13. Сталь У13, нагретая до температуры 650 °С и охлажденная в масле, будет иметь структуру:

- 1) мартенсит + цементит вторичный;
- 2) перлит + цементит вторичный;
- 3) сорбит.
- 4) троостит;

14. Для полной закалки стали 40 необходимая температура нагрева составляет:

- 1) 650 °С;
- 2) 750 °С;
- 3) 850 °С;
- 4) 1050 °С.

15. Для закалки стали У11 рекомендуют следующую температуру нагрева:

- 1) 1147 °С; 2) 910 °С; 3) 780 °С; 4) 560 °С.

16. Для среднего отпуска углеродистой стали используют следующую температуру нагрева:

- 1) 910 °С; 2) 780 °С; 3) 600 °С; 4) 400 °С.

17. Сталь У12 после неполной закалки будет иметь следующую структуру:

- 1) перлит + цементит вторичный;
- 2) мартенсит + феррит;
- 3) мартенсит;
- 4) мартенсит + цементит вторичный.

18. Сталь 50 после полной закалки может иметь твердость:

- 1) 60 HRC; 2) 30 HRC; 3) 250 HB; 4) 90 HRB.

19. Сталь У10 после нормализации будет иметь структуру:

- 1) феррит + перлит;
- 2) мартенсит + цементит вторичный;
- 3) мартенсит + феррит;
- 4) перлит + цементит вторичный.

20. Сталь 45 после закалки и среднего отпуска будет иметь структуру:

- 1) сорбит отпуска;
- 2) мартенсит отпуска;
- 3) троостит отпуска;
- 4) мартенсит отпуска + цементит вторичный.

21. Сталь У8 после закалки и высокого отпуска будет иметь структуру:

- 1) мартенсит отпуска;
- 2) сорбит отпуска;
- 3) троостит отпуска;
- 4) мартенсит отпуска + цементит вторичный.

22. Закаленная сталь У10 после низкого отпуска будет иметь твердость (примерно):

- 1) 60 HRC; 2) 50 HRC; 3) 40 HRC; 4) 30 HRC.

23. Сталь У12 после закалки и низкого отпуска будет иметь структуру:

- 1) мартенсит отпуска;
- 2) мартенсит отпуска + цементит;
- 3) сорбит отпуска;
- 4) троостит отпуска.

24. После закалки напильника из стали У11 необходимо провести:

- | | |
|--------------------|-------------------|
| 1) отжиг; | 3) низкий отпуск; |
| 2) высокий отпуск; | 4) нормализацию. |

25. Закалка со средним отпуском требуется для:

- | | |
|-------------|----------------|
| 1) сверла; | 3) пружины; |
| 2) метчика; | 4) напильника. |

26. Сорбитную структуру должна иметь следующая из перечисленных деталей автомобиля:

- | | |
|------------------------------|--------------------------------|
| 1) шестерня коробки передач; | 3) шатун; |
| 2) лист рессоры; | 4) крестовина карданного вала. |

27. Термическая обработка метчика из стали У12А для нарезания резьбы заключается в:

- 1) закалке + высоком отпуске;
- 2) закалке + низком отпуске;
- 3) закалке + нормализации;
- 4) нормализации.

28. Причиной образования трещин при закалке является:

- 1) слишком высокая скорость охлаждения;
- 2) повышенная температура нагрева;
- 3) малое количество углерода в стали;
- 4) слишком низкая температура нагрева.

**Лабораторная работа № 5
«Поверхностное упрочнение сталей»**

1. Сущность процесса цементации заключается:

- 1) в насыщении поверхностного слоя углеродом;
- 2) в насыщении поверхностного слоя азотом;
- 3) в насыщении поверхностного слоя углеродом с бором;
- 4) в насыщении поверхностного слоя углеродом и азотом.

2. Для цементации применяется следующая марка стали:

- 1) сталь 60;
- 2) сталь У10;
- 3) сталь 20;
- 4) сталь 40Х13.

3. После цементации производится следующая термическая обработка:

- 1) закалка;
- 2) отпуск;
- 3) отжиг;
- 4) нормализация.

4. Микроструктура поверхностного слоя стали после цементации (до закалки) представляет собой:

- 1) перлит и цементит;
- 2) феррит и перлит;
- 3) аустенит и феррит;
- 4) перлит.

5. Температура нагрева углеродистой стали под цементацию до закалки равна:

- 1) 210 °С;
- 2) 727 °С;
- 3) 1147 °С;
- 4) 920 °С.

6. Высокая твердость поверхностного слоя при цементации углеродистой стали с последующей закалкой обусловлена:

- 1) образованием нитридов железа;
- 2) образованием мартенсита с содержанием углерода до 1 %;
- 3) образованием наклепанной поверхности;
- 4) образованием карбидов хрома и вольфрама.

7. В поверхностном слое детали при цементации содержание углерода:

- 1) сохраняется постоянным;
- 2) изменяется;
- 3) увеличивается до 1 % углерода;
- 4) уменьшается до 0,1 % углерода.

8. Поверхностный слой детали при цементации насыщают следующим элементом:

- 1) азотом;
- 2) углеродом;
- 3) кремнием;
- 4) хромом.

9. Содержание углерода в поверхностном слое стали после цементации составляет:

- 1) 0,2 %;
- 2) до 0,5 %;
- 3) до 0,7 %;
- 4) до 1,3 %.

10. Структура стали после цементации и последующей закалки представляет собой:

- 1) на поверхности — мартенсит и цементит, в сердцевине — феррит и перлит;
- 2) на поверхности — цементит, в сердцевине феррит и аустенит;
- 3) на поверхности — перлит и цементит, в сердцевине — мартенсит;
- 4) на поверхности — аустенит, в сердцевине — перлит.

11. Сущность процесса нитроцементации заключается:

- 1) в насыщении поверхностного слоя азотом;
- 2) в насыщении поверхностного слоя азотом и углеродом;
- 3) в насыщении поверхностного слоя кремнием;
- 4) в насыщении поверхностного слоя углеродом.

12. Основным назначением нитроцементации является:

- 1) повышение режущих свойств инструмента из быстрорежущей стали за счет нитридов;
- 2) получение в поверхностном слое детали мартенсита;
- 3) получение в поверхностном слое аустенитной структуры;
- 4) насыщение поверхностного слоя различными металлами.

13. Высокая твердость поверхностного слоя детали при азотировании обусловлена:

- 1) высоким содержанием углерода;
- 2) образованием нитридов углерода, хрома, молибдена, алюминия;
- 3) образованием мартенсита;
- 4) образованием цементита.

14. Сущность процесса азотирования заключается:

- 1) в насыщении поверхностного слоя углеродом;
- 2) в насыщении поверхностного слоя азотом;
- 3) в насыщении поверхностного слоя азотом после закалки детали;
- 4) в насыщении поверхностного слоя азотом и углеродом.

15. Азотирование производится при температуре:

- 1) 550 °С;
- 2) 727 °С;
- 3) 910 °С;
- 4) 1400 °С.

16. Для азотирования можно применять следующий материал:

- 1) сталь 60;
- 2) сталь У11;
- 3) сталь 38ХМЮА;
- 4) сталь Ст5сп.

17. Поверхностный слой детали при азотировании насыщают следующим элементом:

- 1) азотом и углеродом;
- 2) азотом воздуха;
- 3) атомарным азотом;
- 4) окислами азота.

18. Для азотирования можно применять следующую сталь:

- 1) сталь 45;
- 2) сталь 38ХМЮА;
- 3) сталь ВСт6сп;
- 4) сталь 40Х13.

19. Основное назначение хромирования изделий из малоуглеродистой стали (до 0,2 % углерода) заключается:

- 1) в повышении поверхностной твердости;
- 2) в резком повышении коррозионной стойкости;
- 3) в повышении пластичности поверхностного слоя;
- 4) в повышении предела прочности стали.

20. Основное назначение процесса алитирования заключается:

- 1) в повышении окалиностойкости деталей за счет образования на поверхности пленки окиси алюминия;

- 2) в повышении твердости сердцевины детали;
- 3) в повышении дисперсности закаленных деталей;
- 4) в образовании на поверхности детали мартенсита.

21. Сущность процессов диффузионной металлизации заключается:

- 1) в насыщении поверхностного слоя углеродом;
- 2) в насыщении поверхностного слоя стали различными газами;
- 3) в насыщении поверхностного слоя стали различными металлами;
- 4) в насыщении поверхностного слоя стали окислами металлов.

22. Отличие по микроструктуре троостита закалки от сорбита закалки заключается в следующем:

- 1) троостит содержит глобулярный цементит, а сорбит пластинчатый;
- 2) сорбит имеет более крупные пластинки феррита и цементита, чем троостит;
- 3) сорбит содержит глобулярный цементит;
- 4) пластинки феррита и цементита у троостита менее дисперсные.

23. Сущность процесса поверхностного упрочнения путем закалки с нагревом ТВЧ заключается:

- 1) в проведении отпуска нагревом ТВЧ после закалки;
- 2) в насыщении поверхностного слоя азотом после нагрева ТВЧ;
- 3) в нагреве поверхностного слоя среднеуглеродистой стали ТВЧ до аустенитного состояния с последующим охлаждением для получения мартенсита отпуска;
- 4) в насыщении поверхностного слоя детали углеродом с последующим нагревом ТВЧ.

24. Нагрев поверхностного слоя деталей при применении ТВЧ вызван:

- 1) прохождением тока через деталь;
- 2) изменением величины напряжения;

- 3) постоянным магнитным полем на поверхности детали;
- 4) индуцированием вихревых токов в высокочастотном магнитном поле.

25. На поверхности детали получается структура аустенита и феррита при следующем режиме нагрева ТВЧ:

- 1) при нагреве выше A_{C3} ;
- 2) при нагреве ниже A_{C1} ;
- 3) при нагреве выше A_{C1} , но ниже A_{C3} ;
- 4) при нагреве ниже A_{C3} .

26. Содержание углерода в поверхностном слое детали при закалке с нагревом током высокой частоты (ТВЧ):

- 1) не изменяется;
- 2) увеличивается, так как при нагреве происходит насыщение углеродом воздуха;
- 3) уменьшается, при длительном нагреве выгорает углерод;
- 4) зависит от конфигурации и толщины детали.

27. Микроструктура поверхностного слоя стали после нагрева ТВЧ (до охлаждения) представляет собой:

- | | |
|-----------------------|---------------------|
| 1) аустенит; | 3) перлит; |
| 2) цементит и перлит; | 4) феррит и перлит. |

28. Для нагрева поверхности детали ТВЧ на глубину до 1 мм применяется следующее оборудование:

- | | |
|----------------------------------|-------------------------|
| 1) тигельные печи сопротивления; | 3) ламповые генераторы; |
| 2) машинные генераторы; | 4) муфельные печи. |

29. На толщину упрочненного слоя при закалке с нагревом ТВЧ влияет следующий основной фактор:

- 1) напряжение тока на концах индуктора;
- 2) сила тока, проходящего через генератор;

- 3) частота тока, проходящего по индуктору;
- 4) толщина стенок и форма индуктора.

30. Для нагрева поверхности детали под закалку ТВЧ на большую глубину (более 1 мм) применяется следующее оборудование:

- 1) тигельные печи сопротивления;
- 2) машинные генераторы;
- 3) ламповые генераторы;
- 4) муфельные печи сопротивления.

31. Для поверхностной закалки с нагревом ТВЧ может применяться сталь следующей марки:

- 1) сталь 20;
- 2) сталь 45;
- 3) сталь У11;
- 4) сталь Ст6сп.

Литература

1. ГОСТ 9012–59 (СТ СЭВ468–77). Метод измерения твердости по Бринеллю. – Москва : Издательство стандартов, 1987. – 40 с.
2. ГОСТ 9013–59 (СТ СЭВ469–77, ИСО 6508–88). Метод измерения твердости по Роквеллу. – Москва : Издательство стандартов, 1991.– 11 с.
3. Арзамасов, Б.Н. Материаловедение / Б.Н. Арзамасов [и др.]; под общ. ред. Б.Н. Арзамасова – Москва : из-во МГТУ им. Баумана И.Э., 2002. – 648 с.
4. Золоторевский, В.С. Механические свойства металлов / В.С. Золоторевский. – Москва : МИСИС, 1998. – 400 с.
5. Лахтин, Ю.М. Материаловедение / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – Москва : Машиностроение, 1990. – 528 с.
6. Лахтин, Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин. – Москва : Металлургия. 1984. – 360 с.
7. Фетисов, Г.П. Материаловедение и технология металлов / Г.П. Фетисов [и др.] - Москва : Высшая школа, 2005. – 861 с.
8. Мозберг, Р.К. Материаловедение / Р.К. Мозберг. – Москва : Высш. школа., 1991. – 448 с.
9. Практикум по технологии конструкционных материалов / под. ред. В.Н. Ковалевского. – Минск : Дизайн ПРО, 1998. – 288 с.
10. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению / под. общ. ред. С.С. Некрасова. – Москва : Агропромиздат, 1991. – 287 с.
11. Худокормов, Р.Н.. Материаловедение. Лаб. практикум: Учеб. пособие для вузов / Р.Н. Худокормов, Ф.И. Пантелеенко. – Минск : Выш. школа., 1988. – 224 с.

Учебное издание

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов заочной формы обучения*

Составители

Капцевич Вячеслав Михайлович,
Андрушевич Андрей Александрович,
Романова Татьяна Константиновна,
Корнеева Валерия Константиновна

Ответственный за выпуск *В.М. Капцевич*

Редактор *М.А. Макрецкая*

Верстка *М.А. Макрецкая*

Подписано в печать 09.01.2008 г. Формат 60x84¹/₁₆
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 6,04.
Уч.-изд. л. 4,7. Тираж 140 экз. Заказ

Издатель и полиграфическое исполнение
Белорусский государственный аграрный технический университет
ЛИ № 02330/0131734 от 10.02.2006. ЛП № 02330/0131656 от 02.02.2006.
220023, г. Минск, пр. Независимости, 99