



Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Гомельский государственный
технический университет
имени П. О. Сухого»**

Кафедра «Материаловедение в машиностроении»

М. М. Овчинникова, Н. И. Базилеева

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

к лабораторным занятиям

по одноименному курсу для студентов

**спец. Т.02.02.01, Т.02.02.02, Т.02.02.07, Т.03.01.01,
Т.03.01.04, Т.05.09.02, Т.05.11.01, Т.20.02.03**

Гомель 2001

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого»
Кафедра «Материаловедение в машиностроении»

М. М. Овчинникова, Н. И. Базилеева

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

к лабораторным занятиям
по одноименному курсу для студентов
спец. Т.02.02.01, Т.02.02.02, Т.02.02.07, Т.03.01.01,
Т.03.01.04, Т.05.09.02, Т.05.11.01, Т.20.02.03

Гомель 2001

УДК 669.01 (075.8)
0-35

Авторы-составители: **Овчинникова М. М.**
Базилеева Н. И.

0-35 Материаловедение: Практическое пособие к лабораторным занятиям по одноименному курсу для студентов спец. Т.02.02.01, Т.02.02.02, Т.02.02.07, Т.03.01.01, Т.03.01.04, Т.05.09.02, Т.05.11.01, Т.20.02.03. – Гомель: Учреждение образования «ГГТУ им. П.О. Сухого», 2001. – 63 с.

Данное практическое пособие охватывает разделы «Методы исследования материалов» и «Углеродистые стали и сплавы». Пособие позволяет студенту освоить технику проведения макро- и микроанализа и измерения механических свойств материалов, ознакомиться со строением, свойствами и применением углеродистых сталей и чугунов.

Для студентов специальностей Т.02.02.01, Т.02.02.02, Т.02.02.07, Т.03.01.01, Т.03.01.04, Т.05.09.02, Т.05.11.01, Т.20.02.03 Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого.

Рецензент: доцент кафедры «ОМД» Бабарыкин Ю. Л.

© Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого», 2001

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ И УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: освоить методы измерения деформационно-прочностных свойств материалов.

Определение твердости является наиболее часто применяемым методом испытания материалов, т. к. не требуется изготовления специальных образцов и не происходит разрушения материала.

Твердость – это способность материала сопротивляться упругопластической деформации при внедрении в него более твердого тела.

Существуют различные методы определения твердости – вдавливанием, царапанием, упругой отдачей и др. Чаще всего при испытании на твердость производят вдавливание в испытываемый материал наконечника – индентора, изготовленного из значительно более твердого материала (алмаза, твердого сплава), чем испытываемый материал.

О твердости судят либо по глубине проникновения индентора после снятия нагрузки (твердость по Роквеллу – HRC, HRB, HRA), либо по величине отпечатка, остающегося после вдавливания индентора (твердость по Бринеллю-HB, по Виккерсу-HV, микротвердость -H). Наиболее широко применяются испытания твердости по Бринеллю и Роквеллу.

1. Определение твердости материалов по Бринеллю (ГОСТ9012-59)

Метод предложен в 1899-1900 гг. шведским инженером Бринеллем. Метод Бринелля заключается в том, что в испытываемый материал вдавливается стальной закаленный шарик, определенного диаметра, под действием стандартизированной нагрузки. После снятия нагрузки с индентора измеряется диаметр отпечатка, и по его размеру подсчитывается условная площадь поверхности отпечатка шарика. Твердость определяется из выражения:

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}; \text{ (кг/см} \cdot \text{м}^2 \text{)},$$

где P – нагрузка на шарик, кгс; D – диаметр шарика, мм; d – диаметр отпечатка, мм.

Наиболее распространенным прибором для испытания на твердость по Бринеллю является рычажный пресс типа ТШ-2.

В шпиндель пресса над столиком закрепляется наконечник с шариком требуемого диаметра, выбирается нагрузка и время выдержки образца под нагрузкой. На столик пресса устанавливается образец. Вращая маховик, соединенный со столиком пресса, поднимают столик с образцом к индентору до упора. Инденторами могут быть стальные закаленные шарики

диаметром (1; 2; 2,5; 5; 10 мм). На шарик диаметром D действует нагрузка P , от которой шарик вдавливается в испытываемый материал за период времени t на глубину h (рис. 1).

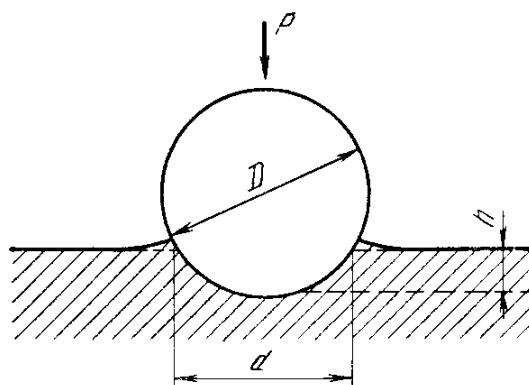


Рис. 1. Схема вдавливания стального шарика при испытании твердости по Бринеллю

Приложение и снятие нагрузки происходит автоматически при нажатии пусковой кнопки прибора. По диаметру полученной лунки d определяют НВ. Измерения d производят лупой или измерительным микроскопом МПБ-2 с точностью $\pm 0,05$ мм.

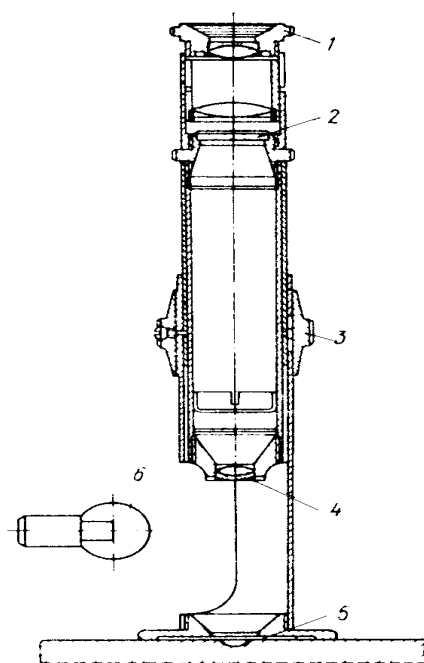


Рис. 2. Отсчетный микроскоп МПБ-2: 1 – окуляр; 2 – сетка; 3 – установочное кольцо; 4 – объектив; 5 – измеряемый отпечаток; 6 – источник света

Минимальная толщина образца должна быть не менее 10-кратной глубины отпечатка и определяется по формуле

$$S \geq h \cdot 10,$$

где S – толщина образца; h – глубина отпечатка (рис. 1).

Расстояние между центрами двух соседних отпечатков должно быть не менее $4d$, а расстояние от центра отпечатка до края образца (изделия) – не менее $2,5d$, для металлов с твердостью 35HВ эти расстояния соответственно $6d$ и $3d$.

Испытание производят с применением нагрузок, зависящих от соотношения K и D , приведенных в таблице 1.

Таблица 1

Диаметр шарика, мм	Нагрузка, Р кгс; $K = \frac{P}{D^2}; \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$					
	K=30	K=15	K=10	K=5	K=2,5	K=1
1,000	30	–	10	5	2,5	1
2,000	120	–	40	20	10	4
2,500	187,5	–	62,5	31,2	15,6	6,2
5,000	750	–	250	125	62,5	25
10,000	3000	1500	1000	500	250	100

Диаметр шарика и соответствующую нагрузку следует выбирать так, чтобы диаметр отпечатка находился в пределах $0,25 D < d < 0,6 D$.

Для выбора K (соотношения между нагрузкой и квадратом диаметра шарика) рекомендуется пользоваться данными таблицы 2.

Таблица 2

Металлы и сплавы	K	HВ
Железо, сталь, чугун и др. высокопрочные сплавы	30	от 96 до 450
Титан и его сплавы	15	от 50 до 220
Алюминий, медь, никель и их сплавы	10	от 32 до 200
Магний и его сплавы	5	от 16 до 100
Подшипниковые сплавы	2,5	от 8 до 50
Олово, свинец	1	от 3,2 до 20

Примечание. Поверхность образца или испытываемого изделия должна быть ровной, гладкой и свободной от окисной пленки. При подготовке поверхности образца необходимо принять меры, исключающие изменение свойств металла из-за нагрева или наклепа. Обработку поверхности образца (изделия) можно проводить шлифовкой или мелким напильником. При определении твердости шариком диаметром 1 мм поверхность образца должна быть отполирована.

Диаметр отпечатка шарика должен быть измерен с помощью измерительного микроскопа с точностью до сотых долей мм. Диаметр отпечатка

необходимо определять, как среднее арифметическое из двух измерений взаимно перпендикулярных диаметров.

Метод Бринелля позволяет измерять твердость от 3,2 до 450 единиц НВ стальным закаленным шариком и от 450 до 650 единиц шариком из твердого сплава.

Условия испытания: $P = 3000$ кгс, $D = 10$ мм и продолжительность выдержки в нагруженном состоянии $t=10-15$ с считаются стандартными для черных металлов. Твердость обозначается НВ, например, 270 НВ. Во всех остальных случаях, связанных с изменением условий измерения твердости, в обозначении обязательно указываются: используемый диаметр шарика, нагрузка и время выдержки. Например, при $D = 5$ мм, $P = 750$ кгс, $t = 30$ с твердость обозначается с указанием условий испытания следующим образом: 161 НВ 5/750/30.

При измерении твердости шариком из твердого сплава твердость обозначается: HBW(500 HBW).

По значению величины твердости можно определить другие механические характеристики. Например, между числами НВ и пределом прочности существует следующая примерная зависимость:

для стали с твердостью 120 – 175 НВ	$\sigma_B \approx 0,34$ НВ;
для стали с твердостью 175 – 450 НВ	$\sigma_B \approx 0,35$ НВ;
для меди, латуни, бронзы (отожженных)	$\sigma_B \approx 0,55$ НВ;
для алюминия и алюминиевых сплавов	
с твердостью 20-45НВ	$\sigma_B \approx 0,33-0,36$ НВ и т. д.

2. Определение твердости материалов по Роквеллу (ГОСТ – 9013-59)

Испытания на твердость по Роквеллу производят вдавливанием в испытываемый образец (деталь) алмазного или твердосплавного конуса с углом при вершине 120° (шкалы А и С) или стального закаленного шарика диаметром 1,588 мм (шкала В) под действием последовательно прилагаемых предварительной (P_0) и основной (P_1) нагрузок. Общая нагрузка (рис. 2) $P=P_0+P_1$. Предварительная нагрузка во всех случаях равна 10кгс, а основная P_1 и общая P нагрузки составляют: при вдавливании стального шарика (шкала В); $P_1=90$ кгс, $P=10+90=100$ кгс; при вдавливании алмазного конуса (шкала С); $P_1=140$ кгс, $P=10+140=150$ кгс; при вдавливании алмазного конуса (шкала А); $P_1=50$ кгс, $P=10+50=60$ кгс.

Твердость по Роквеллу определяется измерением разности между условной максимальной глубиной проникновения индентора и остаточной глубиной его внедрения $\ll e \gg$ под действием основной нагрузки P_1 после снятия этой нагрузки, но при сохранении предварительной нагрузки P_0 :

$$e = \frac{h - h_0}{0,002}.$$

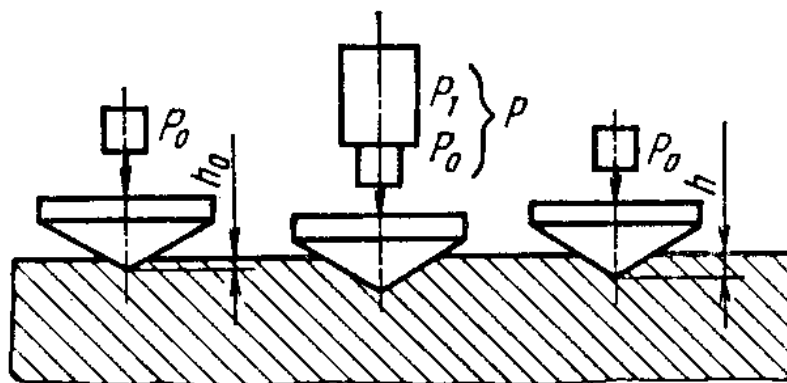


Рис. 2. Схема вдавливания наконечника при определении твердости по Роквеллу

Числа твердости по Роквеллу – числа отвлеченные и выражаются в условных единицах.

За единицу твердости принята величина, соответствующая осевому перемещению индентора на 0,002 мм.

Твердость по Роквеллу обозначают HR с добавлением латинской буквы, обозначающей шкалу, по которой проводились измерения.

По шкале С измеряют твердость закаленных и отпущенных сплавов в диапазоне твердости HRC 22-68:

$$\text{HRC} = 100 - \frac{h - h_0}{0,002}.$$

По шкале В измеряют твердость мягких сталей, латуней, бронз и других материалов в диапазоне твердости HRB 25-100:

$$\text{HRB} = 130 - \frac{h - h_0}{0,002}.$$

По шкале А измеряют твердость самых твердых материалов в диапазоне HRA 70-85:

$$\text{HRA} = 100 - \frac{h - h_0}{0,002}.$$

Характеристики измерения твердости способами Роквелла приведены в таблице 3.

На основании ГОСТа 8.064-94 проведена корректировка шкалы С и уточнены переводные числа твердости HRC в числа твердости HRC_Э, которая и используется сейчас в промышленности.

Твердость по Роквеллу измеряют на стационарных твердомерах (приборах Роквелла) с механическим и электрическим приводами (ТК-21Н, ТК-14-250).

Таблица 3

Обозначение шкалы	Форма индентора	Обозначение твердости по шкале	Нагрузка в кгс	Допускаемые пределы измерения	Примерная твердость, HB	Область применения
A	▽	HRA	60	70 – 85	Свыше 700	Твердые сплавы, поверхность после ХТО
C	▽	HRC	150	22 – 68	250 – 700	Закаленные стали
B	о	HRB	100	25 – 100	60 – 250	Мягкие металлы и сплавы

Последовательность операций при измерении твердости на твердомерах Роквелла следующая:

1. Установить индентор и соответствующую нагрузку, включить прибор.
2. Установить образец на столик. Стрелки индикатора прибора находятся в произвольном положении.

3. Подвести образец к наконечнику таким образом, чтобы указатель маленькой стрелки индикатора совместился с красной точкой на его циферблате. На образец действует сила вдавливания $P_0 = 10$ кгс. Индентор внедрился на глубину h_0 .

Поворотом внешнего кольца индикатора устанавливаем нулевое деление шкалы С подвижного циферблата напротив указателя большой стрелки. Прибор готов к измерению твердости.

4. Включить автоматическое приложение основной нагрузки P_1 . Последнее отклонение большой стрелки фиксирует твердость на циферблате.

5. Произвести отсчет по соответствующей шкале на индикаторе и записать его в протокол испытаний.

Примечание. Поверхность образца должна быть зачищенной. Расстояние между центрами двух соседних отпечатков или расстояние до края образца должно быть не менее 3 мм. Измерения производятся не менее трех раз и принимают среднее значение.

Измерение твердости по Роквеллу получило широкое применение, вследствие простоты и быстроты измерений.

3. Определение ударной вязкости материалов (ГОСТ 9454-78)

Соппротивление материалов ударным нагрузкам характеризуется ударной вязкостью. Под ударной вязкостью следует понимать работу удара, отнесенную к начальной площади поперечного сечения образца в месте концентратора (надреза).

ГОСТ 9454 предусматривает 20 типов образцов длиной от 55 до 140 мм различного поперечного сечения (от 10 x 8 мм до 2 x 11 мм) и с различной формой концентратора (U, V, T), как показано на рис. 4.

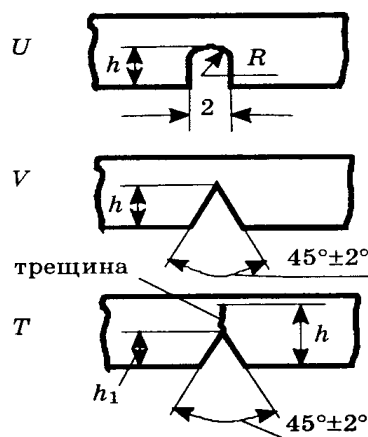


Рис. 4. Формы и размеры концентраторов

В качестве основного рекомендуется стандартный образец в виде бруска размерами 10x10x55 мм с надрезом посередине U-образной формы шириной и глубиной 2 мм с радиусом закругления 1 мм.

Ударная нагрузка и надрез в образце являются условиями, которые вызывают переход материала в хрупкое состояние, следовательно ударную вязкость определяют для выявления хрупкости материалов.

Выбор вида концентратора зависит от требования к изделию:

- U – при обычных испытаниях материалов;
- V – для конструкций повышенной степени надежности (летательные аппараты, транспортные средства, трубопроводы, сосуды под давлением).
- T – для особо ответственных конструкций.

Чем острее надрез, тем сильнее действует концентратор напряжения.

Испытания проводят на маятниковых копрах. Маятник копра устанавливают в исходное положение на высоту A_0 (запас энергии K_0) и удерживают защелкой (рис. 5).

В нижней точке траектории маятника на опорах устанавливают образец так, чтобы надрез располагался с противоположной стороны ножа маятника. Освобожденный от защелки маятник свободно падает и, ударяя по образцу, разрушает его. На это расходуется часть энергии. Оставшаяся энергия поднимает маятник на некоторую высоту A_1 , что соответствует запасу энергии K_1 . Энергии маятника K_0 и K_1 , автоматически регистрируются указателями шкалы индикатора.

Ударная вязкость обозначается символом КС и вычисляется по формуле

$$КС = \frac{K_0 - K_1}{S_0} = \frac{K}{S_0} \left[\text{Дж/см}^2 \right]$$

где K – работа удара, Дж; S_0 – начальная площадь поперечного сечения образца в месте надреза, см^2 ; вычисляется по формуле

$$S_0 = H_1 \times B,$$

где H_1 – начальная высота рабочей части образца (в месте надреза), см; B – начальная ширина образца, см.

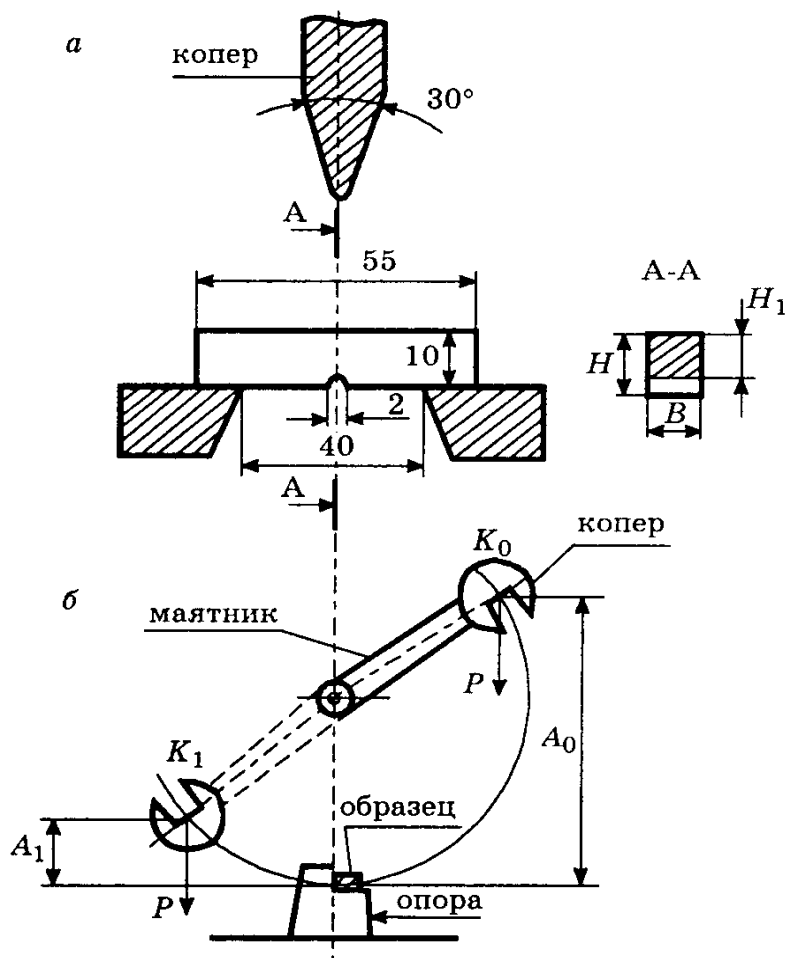


Рис. 5. Схема испытания на ударную вязкость: *а* – положение образца и маятника копра при испытании; *б* – схема работы маятникового копра

В зависимости от вида концентратора в обозначении ударной вязкости к символу КС добавляют буквы U, V или T: КСУ, КСV, КСТ. Например, КСУ=21 Дж/см²; КСТ=1,8 Кдж/м²; КСV=120 Дж/см². Стандартная размерность ударной вязкости Кдж/м² или Дж/см².

В отдельных случаях при определении ударной вязкости хрупких материалов (чугунов, сталей с твердостью более 50 HRC) допускают применение образцов с размерами 10x10x55 мм без предварительно нанесенных концентраторов, и ударная вязкость обозначается КС.

Примечание. Вид обработки материалов и сплавов влияет на ударную вязкость. Ковка и прокатка повышают ударную вязкость по сравнению с литьем. В результате отжига значительно повышается ударная вязкость стального литья. Ударная вязкость металла тем выше, чем тоньше и равномернее его структура.

4. Экспериментальная часть

1. Ознакомиться с устройством и принципом работы приборов для измерения твердости по Бринеллю и Роквеллу.
2. Выбрать метод измерения твердости испытания образцов различных материалов и провести измерения.
3. Рассчитать приближенное значение временного сопротивления σ_B (прочности) испытываемых материалов.
4. Результаты оформить в виде таблиц 4 и 5.

Таблица 4

Экспериментальные данные измерения твердости по Бринеллю

№ п/п	Условия испытаний			Результаты испытаний		
	Нагрузка Р, кгс	Диаметр шарика D, мм	Время выдержки t, с	Диаметр отпечатка d, мм	Твердость по Бринеллю, НВ	Предел прочности σ_B

Таблица 5

Экспериментальные данные измерения твердости по Роквеллу

№ п/п	Условия испытаний		Результаты испытаний		
	Индентор	Нагрузка, кгс	Твердость, HRC	Твердость, HRC _Э	Твердость НВ

5. Ознакомиться с устройством и принципом работы маятникового копра.
6. Изучить сущность метода испытаний на ударную вязкость.
7. Измерить с точностью $\pm 0,1$ мм размеры образцов H_1 и B в месте надреза. Рассчитать площадь поперечного сечения S_0 . Результаты внести в таблицу 6.
8. Провести испытания на ударную вязкость. Энергии копра K_0 и K_1 внести в таблицу 6.
9. Рассчитать ударную вязкость образцов. Результаты внести в таблицу 6.

Таблица 6

Результаты испытаний

№ п/п	Материал образцов	B, мм	H ₁ , мм	K ₀ , Дж	K ₁ , Дж	K, Дж	KС, Дж/см ²	Примечание

10. Оформить отчет.

5. Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Теоретическое описание с рис. 1, 2, 3.
4. Практическая часть работы: результаты испытаний в виде таблиц №№ 1, 2, 3.

6. Контрольные вопросы

1. Характеристика испытаний материалов на твердость.
2. Основные методы измерения твердости и для каких материалов они применяются.
3. Характеристика метода Бринелля.
4. Характеристика метода Роквелла.
5. Какая связь твердости с другими механическими характеристиками?
6. Какая связь между различными числами твердости?
7. Что понимают под ударной вязкостью?
8. Как определяется и обозначается ударная вязкость различных изделий?

Лабораторная работа № 2

МАКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Цель работы: ознакомиться с методикой проведения макроструктурного анализа; изучить коллекцию макродефектов, коллекцию изломов и выявить распределение серы в макрошлифе стали или чугуна.

Приборы и материалы: коллекция макродефектов, коллекция изломов, коллекция макрошлифов, 5 % раствор серной кислоты в воде, 10 % раствор гипосульфита, фильтровальная бумага, вата, спирт, шлифовальная машина с набором наждачной бумаги различной зернистости.

Выполнение работы рекомендуется проводить в следующем порядке:

1. Ознакомиться по методическому указанию с назначением и методикой проведения макроструктурного анализа

Макроструктурный анализ (макроанализ) – это метод исследования металлов и сплавов, выполняемый невооруженным глазом или при небольшом увеличении (до 30 крат) с помощью лупы или специального микроскопа.

Существует три основных способа изучения макроструктуры:

1. Осмотр поверхности готового изделия.
2. Изучение специально приготовленных макрошлифов.
3. Изучение изломов.

Возможности макроструктурного анализа велики, по выполнению он прост и не требует сложного оборудования. Преимуществом макроанализа является то, что ему может быть подвергнут большой объем металла, т. е. все изделие или его основные части. Поэтому в ГОСТах на большинство металлоизделий различные виды макроанализа включены как обязательные.

Макроанализ проводится с целью изучения макроструктуры и выявления макродефектов, возникающих на различных этапах производства заготовок и изделий.

Оценка макроструктуры стали производится по ГОСТ 10243-75.

Макроанализ позволяет установить:

1. Строение металла или сплава в литых деталях и слитках; наличие дефектов и распределение зон кристаллизации.
2. Химическую неоднородность (ликвацию), получаемую в процессе кристаллизации.
3. Строение металла после горячей обработки давлением.
4. Неоднородность состава и структуры, созданной термической или химико-термической обработкой, глубину и характер распределения закаленного, цементированного, азотированного и других слоев.
5. Характер излома и характер разрушения.

2. Оценка поверхности металла

При осмотре поверхности отливки или детали можно обнаружить следующие основные дефекты:

Газовые раковины – пустоты, расположенные на поверхности или внутри отливки. Форма раковин сферическая или округленная. Причина их образования может быть связана с большим содержанием газов вследствие:

- а) плохого качества исходных материалов;
- б) пониженной газопроницаемости или повышенной влажности формовочных и стержневых материалов;
- в) недостаточной вентиляции форм и стержней;
- г) низкой температуры заливаемого сплава;
- д) чрезмерно быстрого заполнения формы.

Песочные раковины – закрытые или открытые раковины, полностью или частично заполненные формовочным материалом. Причинами их образования могут быть:

- а) недостаточная прочность формовочной и стержневой смеси;
- б) применение неисправных моделей;
- в) слабая или неравномерная набивка формы или стержней;
- г) местное разрушение и засорение формы при сборке;
- д) нетехнологичность конструкции отливки и др.

Пригар – поверхность отливки шероховатая или бугристая и связана с пригоранием формовочной земли к стенкам отливки из-за очень высокой температуры заливаемого металла.

Пористость или рыхлость – крупнозернистое и неплотное строение сплава с наличием межкристаллических пустот.

Причинами брака могут быть:

- а) неправильная конструкция отливки;
- б) недостаточное питание отливки жидким металлом в процессе затвердевания;
- в) чрезмерно высокая температура заливки и др.

Спай – сквозные или поверхностные щели в теле отливки, образованные неслившимися потоками металла.

Причина их образования может быть связана с :

- а) низкой температурой расплава при заливке;
- б) неправильным устройством литниковой системы (встречные потоки);
- в) низкой скоростью заливки.

Трещины – сквозные или несквозные разрывы в стенках отливок или деталей.

Причинами трещин в отливках могут быть:

- а) неправильная конструкция отливки с резким переходом от толстых к тонким сечениям;
- б) острые углы в отливках;

- в) чрезмерная плотность набивки;
- г) неправильный состав формовочных и стержневых смесей;
- д) неправильный режим заливки.

Горячие трещины в отливках имеют “рваные”, а холодные – ровные и гладкие края.

Причинами трещин в стальных поковках и заготовках могут быть:

- а) большое загрязнение слитка неметаллическими включениями;
- б) наличие литейных дефектов;
- в) чрезмерные обжатия по сечению и др.

Трещины в термически обработанных деталях возникают из-за высоких напряжений термического или структурного характера вследствие:

- а) неправильного температурного режима термической обработки;
- б) неправильного выбора охлаждающей среды;
- в) нетехнологичности конструкции деталей и др.

Шлифовочные трещины в виде сетки на поверхности детали возникают в результате больших растягивающих напряжений при неправильных режимах шлифования. Такие трещины выявляются после шлифования и травления поверхности. В качестве травителя можно использовать 10-15 % спиртовой или водный раствор азотной кислоты или персульфата аммония.

Трещины в сварных швах возникают в результате больших внутренних растягивающих напряжений при охлаждении наплавленного металла в результате:

- а) неправильного режима сварки;
- б) насыщения шва водородом при использовании влажных электродных покрытий из флюсов и из окружающего воздуха;
- в) плохой свариваемости металлов.

3. Изучение макрошлифов

Макрошлифом (темплетом) называется образец, вырезанный в определенном месте детали и имеющий плоскую шлифованную поверхность, которая в зависимости от цели исследования протравливается специальным травителем.

Для изучения строения металла слитков, отливок, катаных и кованых заготовок и готовых деталей образцы вырезают в направлении, перпендикулярном продольной оси. При изучении строения сварного шва образцы вырезают в продольном направлении.

Контролируемую поверхность образцов торцуют, строгают и шлифуют. Шлифование ведут до полного уничтожения рисок, оставшихся после торцовки. Когда на шлифе останутся риски только от шлифовальной бумаги, шлифование прерывают и повторяют обработку поверхности на бумаге с более мелким зерном, каждый раз изменяя направление движения шлифа на 90^0 .

Уже на шлифованной поверхности можно обнаружить после внимательного исследования невооруженным глазом или в лупу некоторые

внутренние дефекты металла: пузыри, пустоты, трещины и крупные шлаковые включения. Но такие дефекты, как мелкая пористость, волосовины – еле заметные трещины, мелкие раковины, неоднородность металла (ликвация), а также кристаллическая структура металла выявляются только в результате так называемого макроскопического травления растворами кислот (серной, азотной, соляной, пикриновой, хромистой или их смесями) или же специальными реактивами, среди которых наиболее распространены 10 % водный раствор персульфата аммония и реактивы, содержащие хлористую медь.

Для выявления кристаллической структуры литой стали наиболее подходящим реактивом является 10 – 20 % водный раствор персульфата аммония. Для выявления неравномерности в распределении фосфора и углерода рекомендуют реактив с хлористой медью.

Макротравлением можно определить способ изготовления изучаемой детали, в частности, является ли она литой или изготовлена ковкой (штамповкой), или резанием (рис. 1).

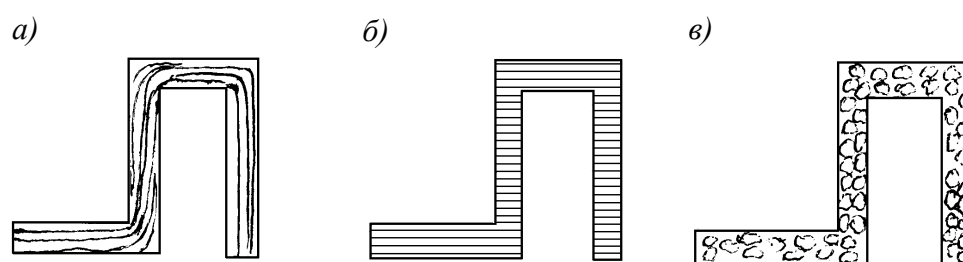


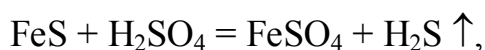
Рис. 1. Схема макроструктуры изделия, изготовленного: а – штамповкой; б – резанием; в – литьем

Неметаллические включения в стали (сульфиды, оксиды, шлаки) и ликвационные участки, неоднородные по составу и структуре, при обработке давлением (прокатке, ковке, штамповке) частично раздробляются и вытягиваются вдоль направления деформации, образуя характерную продольную волокнистость. Волокна металла вследствие неодинакового состава и строения имеют различную травимость. Поэтому реактив, содержащий 85 г CuCl_2 и 54 г NH_4Cl на 1000 мл воды, хорошо выявляет полосчатость. Макрошлиф в этом случае надо изготавливать в продольном направлении.

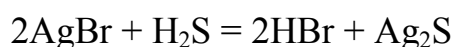
Ввиду важности направления волокон для конструкционной прочности изделия, этот способ получил широкое применение и послужил толчком для рациональной постановки процессовковки и штамповки специальных изделий (коленчатых валов, шестерен и пр.). Волокнистость, повторяющая конфигурацию сечения детали, свидетельствует о правильной технологии горячей обработки давлением. При несоответствии расположения волокон контуру детали в местах перехода от одной конфигурации

к другой создаются напряжения, сокращающие эксплуатационный срок ее службы.

Макроанализ выявляет зональную (в различных частях) и дендритную (в пределах одного кристалла – дендрита) ликвацию в стали углерода и вредных примесей – серы и фосфора, а также ликвацию по удельному весу (гравитационную). Наиболее часто для выявления ликвации используется метод травления. Выявить ликвацию серы в стали или чугуна можно методом Баумана. Принцип метода заключается в следующем: обычную неотфиксированную фотобумагу при дневном свете пропитывают в течение 8-10 мин. 5 %-м раствором серной кислоты и затем лишнюю кислоту с фотобумаги удаляют фильтровальной бумагой. Потом бумагу прижимают эмульсионным слоем приблизительно на 2 мин к предварительно отшлифованному, промытому и обезжиренному образцу, причем прикладывать фотобумагу необходимо плотно, чтобы не осталось пузырьков воздуха между бумагой и образцом. В результате реакции сернистого железа металла с серной кислотой фотобумаги образуется сероводород:



который реагирует с бромистым серебром фотоэмульсии и образует на бумаге сернистое серебро:



темного цвета. Фотобумага снимается со шлифа, промывается водой, фиксируется 6-10 мин в 10 %-м растворе гипосульфита, после чего снова промывается водой и просушивается.

Темно-коричневые пятна указывают на места, обогащенные серой и на форму скоплений сульфидов по сечению образца.

Для определения глубины поверхностного слоя, образованного после закалки или цементации, образец травят 20 %-м раствором соляной кислоты при 80 °С в течение 3 мин, а затем промывают водой. После травления цементованный или закаленный слой имеет более темную окраску.

4. Изучение изломов

Изломом называется поверхность, по которой произошло разрушение образца или детали.

Изучение излома позволяет выявить причины и характер эксплуатационного разрушения, оценить качество стали, выявить дефекты, которые не выявляются при анализе макроструктуры на темплетах, позволяет с достаточной для практических целей точностью выявить глубину закаленного и цементованного слоев, оценить вязкость материалов.

В зависимости от состава, строения, режима термической обработки и условий эксплуатации изделия могут разрушаться вязко или хрупко. В со-

ответствии с этим изломы делятся на вязкие, хрупкие и смешанные. Большинство металлов и сплавов могут разрушаться и вязко, и хрупко. Состояние поверхности – один из важнейших факторов, влияющих на механические свойства материала. Поверхностные неровности при плохой обработке, небольшие выступы или впадины могут играть роль хрупких трещин и снижать прочность материала. На увеличение хрупкости материала влияет масштабный фактор, так как вероятность существования опасного дефекта уменьшается при уменьшении размеров образца. Тщательная полировка поверхности, а также создание на поверхности сжимающих напряжений дробеструйной обработкой, обкаткой роликами, термической и химикотермической обработкой, препятствующих раскрытию поверхностных трещин, существенно увеличивает срок службы деталей. Для обеспечения конструктивной прочности изделий излом материала должен быть вязким, так как хрупкий излом происходит мгновенно и создает ситуацию, называемую “аварией”.

Вязкий излом (рис. 2а, 3а) (волокнуистый) имеет пепельно-серый цвет.

На поверхности отсутствуют кристаллические фасетки. В связи с этим по излому нельзя судить о форме и размере зерна. Волокнуистая структура образуется при длительном воздействии напряжения, превышающего предел текучести, и свидетельствует о пластической деформации зерен поликристалла. В результате вязкого разрушения образуется “косой” излом – его поверхность в макромасштабе наклонена под углом 45^0 к направлению действия максимального напряжения.

Вязкий излом может образоваться в результате :

а) соскальзывания одной части кристалла по другой или уменьшения сечения при деформации до нуля;

б) зарождения трещины и ее дальнейшего распространения.

Вязкому разрушению предшествует значительная макропластическая деформация. Вязкая трещина – тупая и скорость ее распространения мала. Волокнуистый – матовый излом указывает на достаточную вязкость материала.

Хрупкий излом (рис. 2б, в, 3б, 4) имеет кристаллическое строение. Обычно в хрупком изломе можно видеть форму и размер зерен металла, т. к. излом происходит без значительной пластической деформации, и зерна при разрушении металла не искажаются. Такие изломы бывают крупно- и мелкокристаллические. Чем крупнее зерно на изломе, тем выше хрупкость материала.

Хрупкий излом прямой. По характеру отражения света излом может быть светлым, характерным для сталей и белых чугунов, серым, характерным для серых чугунов и темным, бархатистым, характерным для ковких и высокопрочных чугунов.

Хрупкий излом, как и вязкий, образуется в результате зарождения трещины и дальнейшего ее распространения. “Хрупкая” трещина – острая, ветвящаяся, ее распространение происходит при низких напряжениях и

рост трещины на определенной стадии становится неуправляемым. Скорость распространения трещины близка к скорости звука.

Разновидностями хрупкого излома является также шиферный или слоистый, нафталинистый и дендритный изломы.

Шиферный излом (рис. 5) – выявляется в кованой и катанной стали после закалки и отпуска. Получил свое название по аналогии с изломом шифера, легко раскалывающегося по плоскости в одном направлении.

Причинами шиферного излома являются:

а) наличие неметаллических включений, вытягивающихся вдоль направления прокатки;

б) наличие разнородных по пластическим свойствам участков металла, как результат неравномерного распределения примесей и фаз.

Таким образом, шиферный (слоистый) излом свидетельствует о загрязнении материала неметаллическими включениями и низком качестве материала.

Нафталинистый излом (рис. 6) характеризуется крупнозернистостью и наличием своеобразного блеска, напоминающего блеск чешуек нафталина. Такой излом указывает на повышенную хрупкость стали. Обнаруживается чаще всего у быстрорежущей стали при нарушении технологии ее обработки, а также у других сталей, как результат сильного перегрева.

Дендритный излом выявляется у литого металла. Разрушение в этом случае происходит по границам сопряженных дендритных кристаллов и наблюдается у белых чугунов.

Смешанный излом (рис. 2с, 3в) – излом кристаллический в одних участках и волокнистый в других. Смешанный излом наблюдается в условиях усталостного разрушения (усталостный излом) у сталей с несквозной прокаливаемостью.

Этот излом можно также наблюдать на образцах после ударных испытаний: темная каемка на периферии образца – вязкая составляющая – довольно резко отличается от светлой сердцевины, где имеет место хрупкое разрушение.

Усталостный излом всегда имеет две зоны разрушения. Одна из них соответствует участку развития усталостной трещины и имеет характерный (иногда блестящий) вид. На поверхности этой зоны часто видны концентрические контуры фронта распространения трещин, которые сходятся в очаге разрушения. Вторая зона – зона долома – возникает в результате быстрого окончательного разрушения. Она может иметь либо хрупкое, либо вязкое, либо смешанное строение в зависимости от условий испытания или работы детали. Такой излом наблюдается у деталей, работающих в условиях повторно-переменных нагрузок (шатуны, коленчатые валы и др.).

На поверхности изломов можно обнаружить различные дефекты: поры – пузыри, грубую пятнистую ликвацию, которая в изломе имеет вид темных полос и флокены. Флокены (трещины, заполненные водородом) в

изломе имеют вид светлых округлых пятен с кристаллической поверхностью серебристого или светлого оттенка, а на протравленном макрошлифе видны тонкие нитевидные трещины, соответствующие белым пятнам на изломе.

При оценке вида излома необходимо учитывать характер прилагаемой нагрузки, т. к. один и тот же материал в одном и том же структурном состоянии может иметь волокнистый излом при статическом нагружении и кристаллический излом – при ударном нагружении.

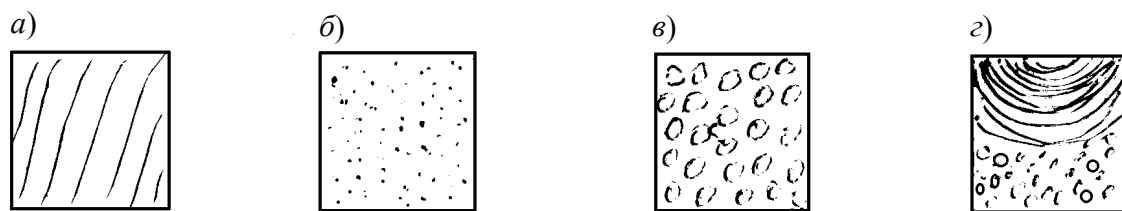


Рис. 2. Схема изломов: а – вязкого; б – мелкозернистого хрупкого; в – крупнозернистого хрупкого; г – смешанного

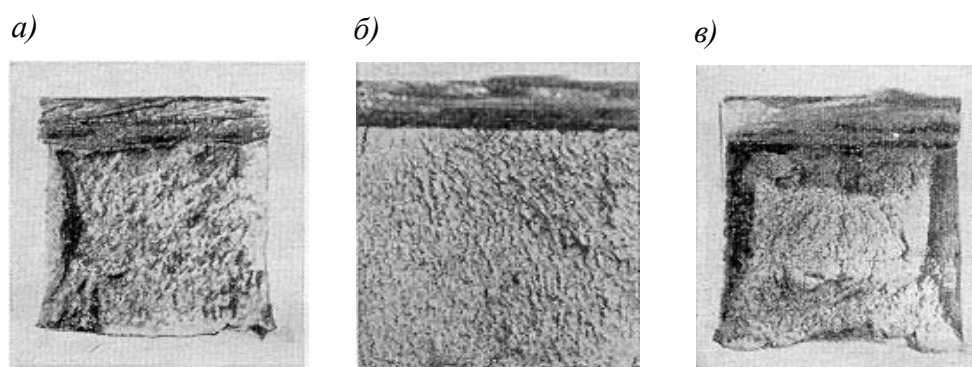


Рис. 3. Изломы стали: а – вязкий; б – хрупкий; в – смешанный

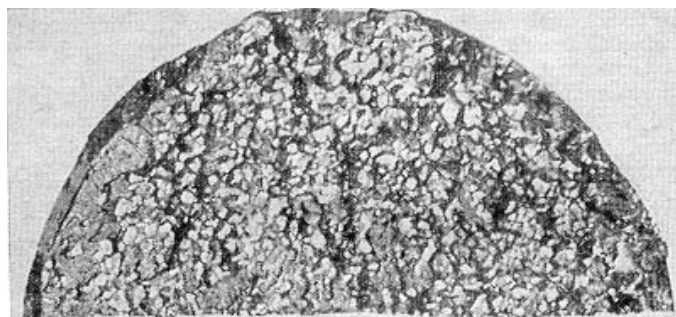


Рис. 4. Хрупкий межкристаллический излом

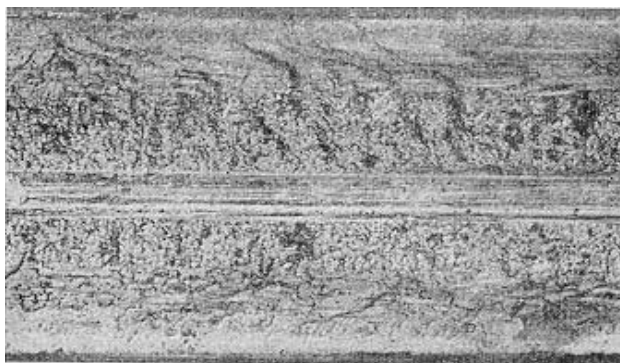


Рис. 5. Шиферный излом стали



Рис. 6. Нафталинистый излом быстрорежущей стали

5. Экспериментальная часть

1. Изучить коллекцию макродефектов и перечислить обнаруженные макродефекты.
2. Изготовить макрошлиф и выявить распределение серы по методу Баумана.
3. Изучить и зарисовать коллекцию изломов.
4. Оформить отчет по работе.

6. Содержание отчета

1. Основные теоретические данные о назначении и методике проведения макроструктурного анализа.
2. Результаты изучения поверхности деталей.
3. Отпечаток макрошлифа на фотобумаге.
4. Рисунки макроструктуры коллекции изломов.

7. Контрольные вопросы

1. Назначение и задачи макроструктурного анализа.
2. Какими основными способами проводится макроструктурный анализ?

3. Какие дефекты можно обнаружить с помощью макроструктурного анализа?
4. Что такое ликвация, типы ликваций и методы их определения.
5. Виды изломов, их характеристика и связь со свойствами металла.
6. Что можно сказать о металле по его излому?

Лабораторная работа № 3

МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ, СПЛАВОВ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: освоить технику проведения микроструктурного анализа в отраженном и проходящем свете.

Приборы и материалы: микроскопы ММУ-3, AMPLIVAL; шлифовальные и полировальные станки, травитель, спирт, фильтровальная бумага, вата, металлические образцы для приготовления микрошлифов и коллекция образцов из неметаллических материалов.

Выполнение работы рекомендуется проводить в следующем порядке:

1. Ознакомиться по методическому указанию с назначением микроанализа, устройством и работой микроскопов и методами подготовки образцов для микроанализа

Микроструктурный метод исследования материалов заключается в изучении строения при помощи микроскопа специально приготовленных образцов – микрошлифов.

Строение материала, изучаемого при микроанализе, называется **микроструктурой**. Элементами микроструктуры являются кристаллы.

Назначение микроанализа:

- выявить микроструктуру;
- определить количество структурных составляющих, их процентное соотношение, размер, форму и характер распределения отдельных составляющих;
- определить наличие неметаллических включений и микродефектов.

Анализ микроструктуры позволяет оценить влияние технологической операции (пластической деформации, термической и химико-термической обработки и др.) на свойства сплавов, а в ряде случаев определить причину разрушения изделия.

Микроанализ непрозрачных объектов проводится в отраженном, а прозрачных в проходящем свете:

а) микроанализ в отраженном свете

Примечание. Студентами микроструктурные исследования проводятся на микроскопах МИМ-3 и МЕТАМ-Р.

Принципиальная схема микроскопа представлена на рис. 1.

Объект (1) помещают перед объективом (2), который создает увеличенное и перевернутое изображение объекта (3). Это изображение расположено перед окуляром (4). Окуляр (4) создает увеличенное мнимое изображение (5) объекта, расположенное от глаза наблюдателя (6) на расстоянии наилучшего видения ($D = 250$ мм).

Величина увеличения микроскопа показывает, во сколько раз угол зрения, под которым наблюдаемый объект виден в микроскоп, больше угла

зрения, под которым невооруженный глаз видит этот объект на расстоянии 250 мм.

Общее увеличение микроскопа V равно:

$$V = V_{об} \cdot V_{ок},$$

где $V_{об}$ – увеличение объектива; $V_{ок}$ – увеличение окуляра.

Увеличение микроскопа не может быть беспредельным. Оно ограничено величиной так называемой разрешающей способности микроскопа, под которой понимается минимальное расстояние между двумя точками на поверхности объекта, позволяющее различать их отдельно. Разрешающая способность микроскопа (δ) зависит от длины световой волны (λ):

$$\delta = \lambda / 2A,$$

где A – числовая апертура объектива, определяемая по формуле:

$$A = n \cdot \sin \alpha / 2,$$

где n – показатель преломления среды; α – угол раскрытия входящего светового пучка.

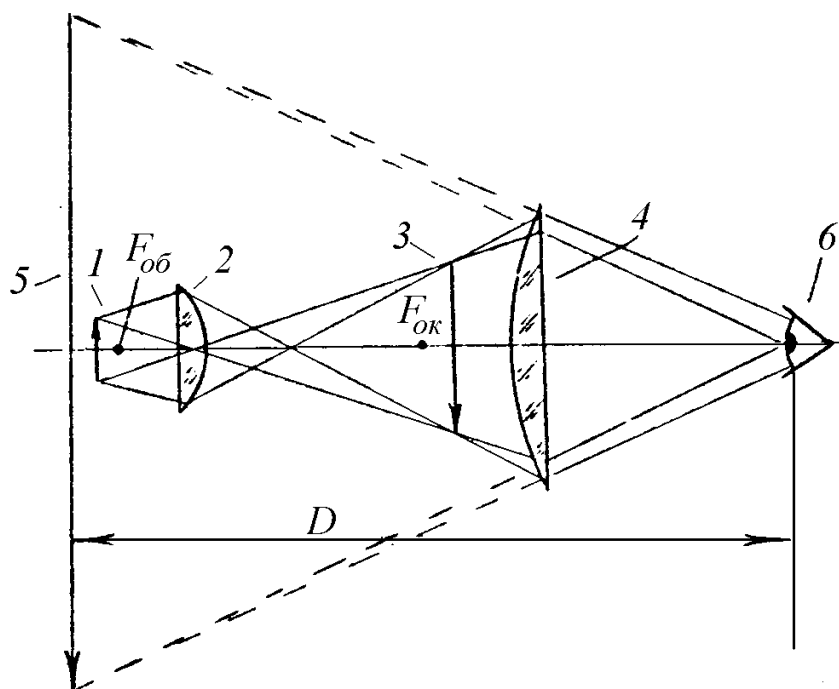


Рис. 1. Принципиальная схема микроскопа

Интервал увеличений, при котором две разрешаемые точки отчетливо воспринимаются глазом, называется **полезным увеличением микроскопа**. Повысить разрешающую способность микроскопа можно путем уменьшения длины световой волны (например используя микроскопы с

ультрафиолетовым освещением) или увеличения апертуры. В последнем случае между шлифом и объективом помещают среду с большим показателем преломления, например, кедровое масло ($n=1,5$). Разрешающая способность современных оптических микроскопов не позволяет использовать увеличения, превышающие $1000 \div 2000$ крат.

На рис. 2 показана оптическая схема бинокулярного микроскопа ММУ-3. Лучи света от источника света (1) проходят через коллектор (2), теплофильтр (3), осветительную линзу (4), диафрагму (5), отражаются от плоскопараллельной полупрозрачной пластины (6) и направляются через объектив (7) на поверхность объекта (8). Лучи отражаются от полированной поверхности шлифа, снова попадают в объектив, который, совместно с линзой (9), проецирует изображение объекта в фокальную плоскость окуляров (10). Микроскоп ММУ-3 позволяет получить увеличение от 80 до 476 крат.

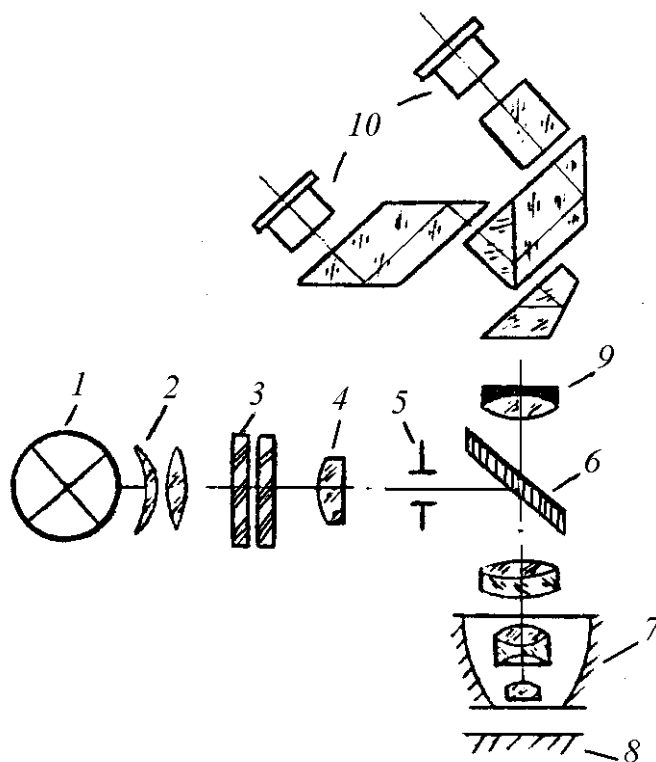


Рис. 2. Оптическая схема микроскопа ММУ-3

Примечание. Оптические микроскопы позволяют исследовать и фотографировать детали микроструктуры, размеры которых превышают $0,4 \div 0,6$ мкм. При необходимости изучения более мелких структурных образований используют электронную микроскопию, основанную на формировании изображения с помощью пучка электронов с увеличением от 600 до 150000 крат.

б) микроанализ в проходящем свете

Примечание. Студентами микроструктурные исследования проводятся на микроскопе AMPLIVAL.

На рис. 3 представлена принципиальная схема микроскопа. Коллектор 2 проецирует источник света 1 в плоскость апертурной диафрагмы 4 конденсора 5. Апертурная диафрагма установлена в передней фокальной плоскости конденсора и проецируется им в бесконечность. Как известно, входной зрачок микроскопа также находится в бесконечности, поэтому схема обеспечивает правильное соединение осветителя и микроскопа. После объектива микроскопа 7 изображение апертурной диафрагмы образуется в его выходном зрачке 8. Полевая диафрагма 3 проецируется конденсором в плоскость объекта 6. Через каждую точку объекта проходят лучи, вышедшие из всех точек источника, т. е. объект освещается равномерно. Кроме того, освещаемая часть поля зрения ограничивается с помощью полевой диафрагмы, что повышает контраст изображения.

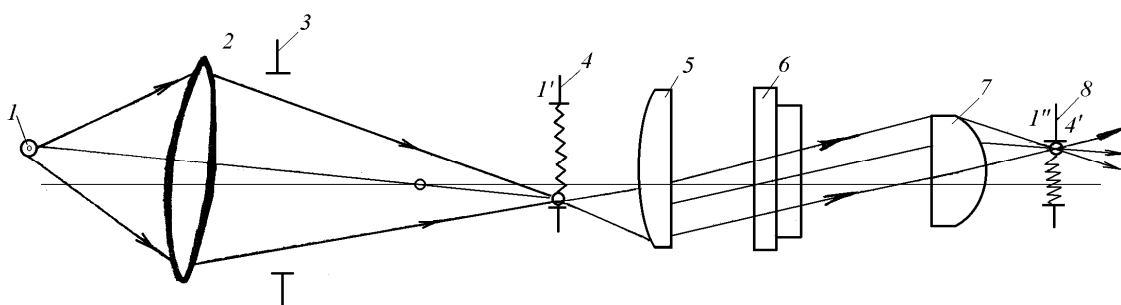


Рис. 3. Принципиальная схема микроскопа

Отбор образцов и их подготовка к микроанализу:

а) в отраженном свете

при исследовании микроструктуры крупного объекта (например, слитка) необходимо отобрать пробу (часть металлопродукции), из которой изготавливается образец – микрошлиф.

Пробы и образцы отбирают из наиболее характерных зон металлопродукции.

Примечание. При отборе проб и при изготовлении образцов должны быть предусмотрены все меры, предохраняющие образцы от нагрева и наклепа (упрочнения под действием пластической деформации), которые искажают структуру и изменяют свойства.

Высота используемых для микроанализа образцов обычно не превышает $10 \div 20$ мм, площадь изучаемой поверхности – $2 \div 3$ см². Образцы, размеры которых значительно меньше общепринятых, помещают для удобства обращения с ними в различные оправки, зажимы, заливают легкоплавкими сплавами, запрессовывают в пластмассу. Поверхность отобранного образца готовят к микроанализу, подвергая ее шлифованию, полированию и травлению.

Для сухого шлифования применяют шкурку, отвечающую по характеристикам ГОСТ 6456-82. Перед шлифованием поверхность образца обрабатывают на токарном или фрезерном станке для придания ей приближи-

тельно плоской формы. Для получения качественной поверхности микрошлифа при шлифовании последовательно переходят от крупнозернистых шкурок к мелкозернистым, поворачивая образец при каждой смене шкурки на 90^0 . Во избежание деформации поверхностного слоя мягкие материалы не следует слишком сильно прижимать к поверхности шкурки. Для очень мягких материалов поверхность шкурки перед шлифованием натирают парафином.

Полирование образцов может осуществляться несколькими способами. Применяется механическое, химико-механическое и электролитическое полирование.

Механическое полирование проводят на станках, снабженных вращающимся кругом, на который натянут полировальный материал – фетр, сукно, драп и др. Чем мягче полируемый материал, тем тоньше должно быть строение ткани. На ткань наносят водную суспензию абразивных материалов – оксидов алюминия, железа или хрома. Хорошие результаты при полировании черных металлов получают при использовании пасты ГОИ. Для полировки особо твердых материалов применяют алмазные пасты (ГОСТ 9206-80).

При электролитическом полировании образец в качестве анода помещается в электролитическую ванну. Полируемая поверхность устанавливается против катода. При прохождении постоянного тока выступы на полируемой поверхности растворяются, поверхность становится зеркальной. Состав электролита, а также режим полирования зависят от полируемого материала. Преимуществом этого метода является сохранение неискаженной структуры и отсутствие наклепанного слоя, возникающего при механическом полировании.

При химико-механическом полировании в состав полирующей смеси вводится химически активное вещество, воздействующее на поверхность образца и ускоряющее процесс полирования.

Примечание. Если полированная поверхность подвергается анализу не сразу после приготовления, то ее необходимо защищать от окисления. На поверхность наносят тонкий слой раствора кедрового масла в серном эфире. Подготовленные образцы хранят в эксикаторе – стеклянном сосуде с притертой крышкой, содержащем вещества, поглощающие влагу.

Травление микрошлифов

Для выявления полной картины микроструктуры образец подвергают травлению одним из способов:

– химическое травление, электролитическое травление, тепловое травление, травление в расплавленных солях, катодное травление, травление методом вакуумного испарения, методом окисления, магнитный метод. Выбор метода травления определяется природой сплава и целью исследования.

Примечание. В настоящей работе студентами используется химическое травление.

Выявление микроструктуры металла при химическом травлении проводят различными способами: погружением образца в травитель, втиранием травителя в поверхность шлифа и смачиванием поверхности шлифа травителем.

Химическое травление основано на различии физико-химических свойств отдельных фаз и пограничных участков зерен. Зерна различного химического состава растворяются при травлении в агрессивных средах (кислоты, соли, щелочи) с различной скоростью. Если же зерна не отличаются по составу (например, у чистого металла), то в первую очередь металл растворяется на границах зерен, где сосредоточено большое количество примесей, способствующих образованию гальванических пар. Все это приводит к формированию рельефа поверхности шлифа (рис. 4.). Если освещать такой шлиф падающим светом, то из-за присутствия косых лучей образуются теневые картины, по которым можно судить о структуре металла.

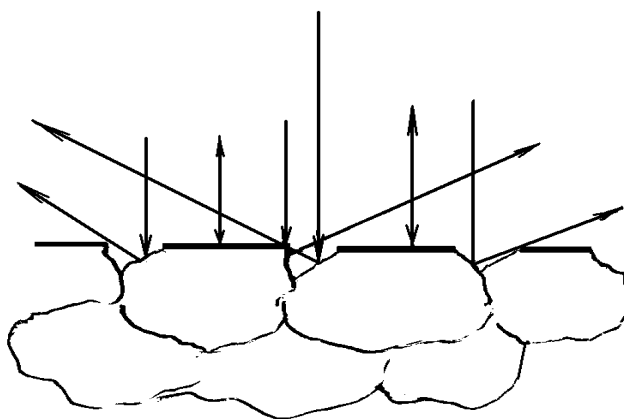


Рис. 4. Схема отражения лучей от полированной и протравленной поверхности микрошлифа

Травление считается законченным, когда полированная поверхность становится слегка матовой. Окончательно качество травления проверяется под микроскопом. Если наблюдаемая при этом поверхность шлифа очень светлая, отсутствует четкость контуров – шлиф недотравлен; если темная, с широкими затемненными границами структурных образований – шлиф перетравлен. В первом случае производят повторное травление, во втором – шлиф переполіровывают, снимая поверхностный слой и снова травят. После окончания травления шлиф, во избежание окисления, промывают проточной водой, а затем протирают спиртом и высушивают, прикладывая фильтровальную бумагу. Для химического травления используют множество разнообразных реактивов (табл. 1).

Рекомендуемые составы травителей

№ п/п	Материал	Состав травителя
1	Стали и чугуны	– (1,5 – 4,0) % раствор азотной кислоты в воде или спирте (вода ускоряет травление);
2	Медь и ее сплавы	– 10 г хлорного железа, 25 см ³ соляной кислоты, 100 см ³ воды; – аммиачный раствор двойной соли – хлористой меди и хлористого аммония; 10 г двойной соли, 100 см ³ воды, аммиак – до получения нейтральной или щелочной реакции.
3	Алюминий и его сплавы	– 0,5 см ³ фтористой кислоты, 99,5 см ³ воды – 1,0 см ³ фтористой кислоты, 1,5 см ³ соляной кислоты; 2,5 см ³ азотной кислоты, 95,0 см ³ воды.

б) в проходящем свете

при исследовании микроструктуры объектом исследования являются тонкие прозрачные пленки или тонкие прозрачные срезы материала.

Анализ микроструктуры сплавов

Микроструктура сплава может быть однофазной и многофазной.

При изучении однофазной структуры можно наблюдать темные границы зерен, т. к. они более глубоко протравились и больше рассеивают свет, а, следовательно, определить форму и размер зерен.

Примечание. Зерна имеют различную кристаллографическую ориентировку, и поэтому в поверхностном слое микрошлифа зерна будут срезаны по разным кристаллографическим плоскостям, которые будут травиться неодинаково, следовательно, на микроструктуре они будут несколько отличаться по цвету (рис. 4и.).

При исследовании формы зерна можно различать равноосную зернистую (рис. 5а), пластинчатую (рис. 5б), полиэдрическую (рис. 5в), шаровидную (рис. 5д), вермикулярную (рис. 5е), игольчатую (рис. 5ж) структуры.

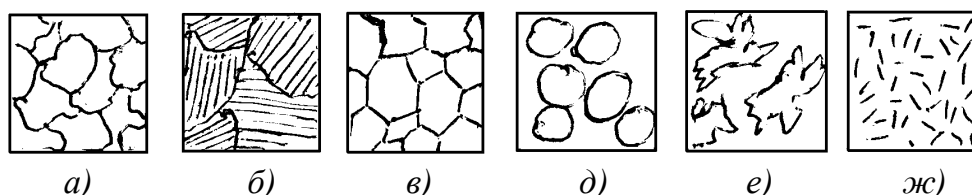


Рис. 5. Схема микроструктуры однофазных металлов и сплавов

Многофазная структура состоит из двух или более типов кристаллов, различающихся травимостью и формой (рис. 6а, б). Если кристаллизация фаз происходит одновременно, то можно наблюдать смеси с пластинчатым (рис. 6а) или с дендритным строением (рис. 6б), а если не одновременно, то вторая фаза выделяется по границам зерен в виде цепочки (рис. 6в) или сетки (рис. 6д).

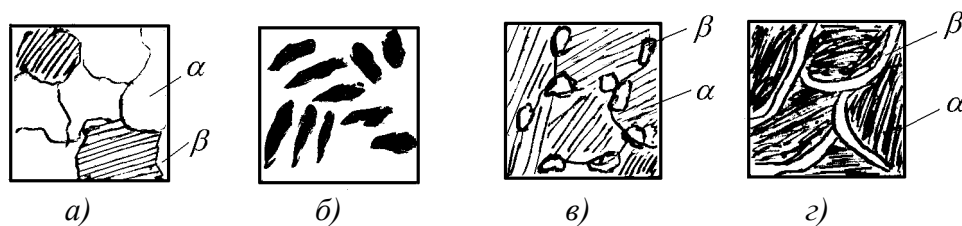


Рис. 6. Схема микроструктуры двухфазных сплавов

Пластическая деформация (вытяжка, осадка, прокатка и т. д.) приводит к появлению зерен, ориентированных по отношению направления действия деформирующего усилия. Такая структура называется текстурой (рис. 7).



Рис. 7. Схема микроструктуры (текстуры) деформированного образца

В микроструктуре материала, изучаемого в проходящем свете, кристаллическая часть материала будет наблюдаться (рис. 8α), а аморфная – нет (рис. 8 β).

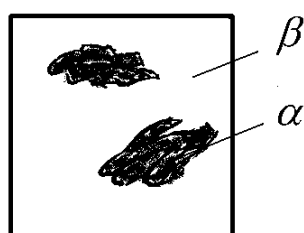


Рис. 8. Схема микроструктуры полиэтилена

Общий анализ неметаллических включений довольно сложен. Представление о природе неметаллических включений можно получить, используя некоторые признаки и свойства: форму, размер, цвет, твердость и т. п. Данные, характеризующие некоторые неметаллические включения в стали, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Название и состав вкл.	Внешний вид в литом состоянии	Оптические свойства
MnS	Правильные кристаллы в виде прямоугольника	Цвет серо-голубой
FeO	Глобулы размером до 20 мк	Цвет от серого до серо-корич.
MnO	Неправильной формы	Цвет темно-серый
Al ₂ O ₃	Мельчайшие включения в виде скоплений	Темно-серый с фиолетовым оттенком
SiO ₂	Разнообразной неправильной формы	Темно-серый

Величина зерна определяется составом металла, условиями его выплавки, кристаллизации, механической и термической обработки. Размеры зерен в металле влияют на многие его свойства. Для сплава с мелкими зернами характерны более высокие механические свойства: прочность, пластичность и вязкость. Связь прочности с размером зерен для сталей и цветных металлов описывается уравнением Холла-Петча:

$$\sigma_T = \sigma_0 + K / \sqrt{d},$$

где σ_T – предел текучести материала; σ_0 – напряжение, необходимое для перемещения свободной дислокации; K – постоянный коэффициент; d – диаметр зерна.

Методы выявления и определения величины зерна регламентированы ГОСТ 5639-82. Для определения величины зерна применяют три метода: сравнение видимых под микроскопом зерен с эталонными изображениями шкал; подсчет количества зерен на единице поверхности шлифа; измерение среднего диаметра зерна. По методу сравнения шлиф изучают под микроскопом при увеличении 100 раз и сравнивают величину зерна с эталонными изображениями на шкале (рис. 9)

Всего имеется 18 номеров зерна: от -3 до +14, которым соответствует изменение размеров зерен от 1мм до 0,003мм. С уменьшением величины зерна увеличивается номер. Между номером (N) зерна и количеством зерен (n), помещающихся на площади 1мм² шлифа, существует взаимосвязь: $n = 2^{N+3}$. Средний диаметр зерна и количество зерен на единице площади определяют при увеличении 100 раз на матовом стекле камеры микроскопа или на микрофотографии.

Металлографический анализ часто используют для оценки фазового состава сплава. Наиболее объективную оценку фазового состава сплава можно получить, используя количественные методы, например линейный метод Розиваля. В основе линейного метода лежит суммирование длин отрезков прямой линии (пересекающей изображение микроструктуры), попадающих на каждую фазу, с последующим делением суммарной длины

отрезков, приходящихся на данную фазу, на общую длину прямой линии. Например, при исследовании двухфазной структуры (рис. 10) количество фазы А определяется отношением:

$$\frac{ml + ko + ph}{mn} \cdot 100\%,$$

количество фазы В отношением:

$$\frac{lk + op}{mn} \cdot 100\%.$$

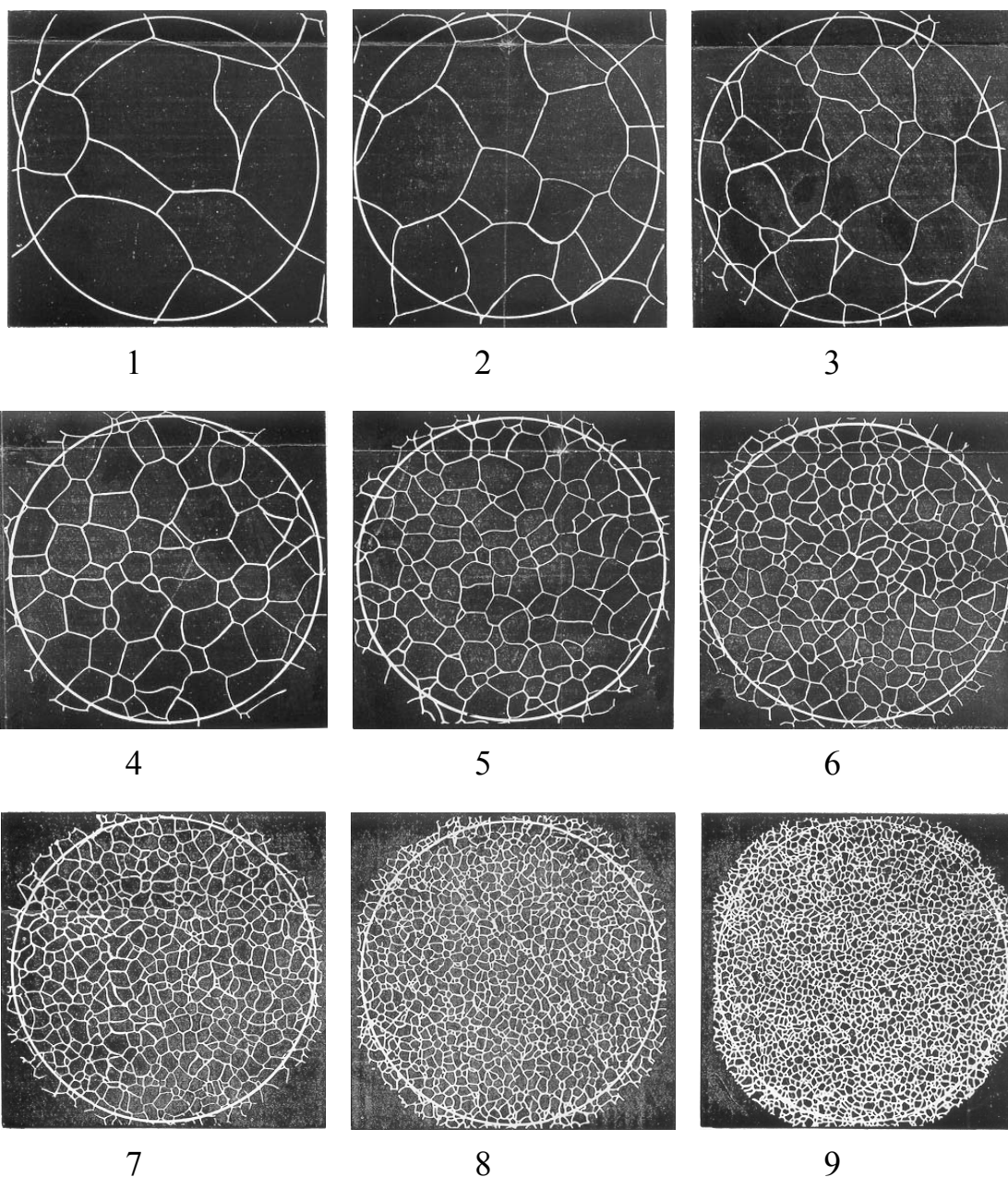
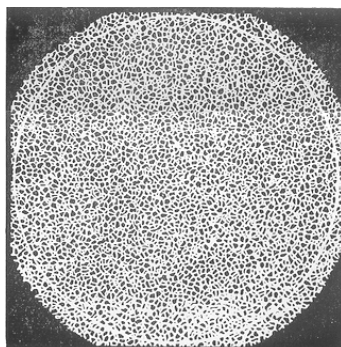


Рис. 9. Шкалы для определения величины зерна. Увеличение 100^x



10

Продолжение рис. 9

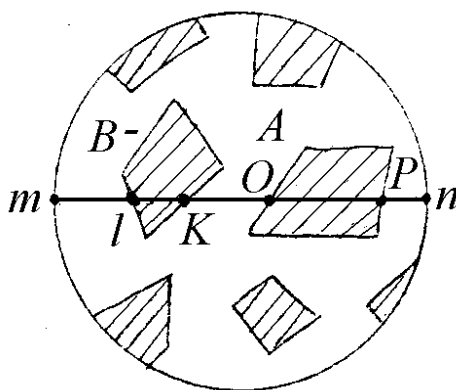


Рис. 10. Определение фазового состава линейным методом Розиваля

Любая обработка сплава влияет на его структуру, а следовательно, и на свойства.

Измерение среднего диаметра зерна проводится с помощью окуляр-микрометра и объект-микрометра. Объект-микрометр – стеклянная пластинка, на которую нанесена шкала длиной 1мм и ценой 10мкм. Для определения цены деления окуляр-микрометра объект-микрометр устанавливают вместо шлифа на предметный столик, левые риски обеих шкал совмещают и определяют следующее точное совмещение рисок шкал объект-микрометра и окуляр-микрометра.

Цена деления будет равна

$$Ц_{ок} = 10T / A \text{ мкм,}$$

где T – число делений объект-микрометра; A – число делений окуляр-микрометра.

2. Получить у преподавателя образцы, подготовить микрошлифы и провести микроанализ.

3. Оформить отчет.

2. Содержание отчета

1. В теоретической части отчета описать назначение микроанализа, основные методы подготовки образцов к микроанализу, привести принципиальные схемы микроскопов и схему формирования изображения при наблюдении в микроскоп, охарактеризовать увеличение микроскопа и его разрешающую способность.

2. Зарисовать картину, наблюдаемую при изучении полированной, не-протравленной поверхности образца. Сделать вывод о качестве подготовки поверхности и наличии неметаллических включений.

3. Зарисовать микроструктуру, наблюдаемую после химического травления поверхности образца. Сделать вывод о количестве присутствующих фаз и форме зерен.

4. Определить размер зерна.

5. Зарисовать микроструктуру неметаллического материала в проходящем свете и оценить степень его кристалличности.

3. Контрольные вопросы

1. На чем основан принцип работы металлографического микроскопа?

2. Рассказать устройство микроскопа и описать ход лучей в оптической схеме микроскопа.

3. Дать определение понятию “увеличение микроскопа”, рассказать каким образом можно его определить.

4. Что такое разрешающая способность микроскопа?

5. В чем заключается подготовка образца к микроанализу?

6. Охарактеризовать основные методы выявления структуры образцов.

7. Как влияют размеры зерна на свойства сплавов? Рассказать об основных методах определения величины зерна.

Лабораторная работа № 4
ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ.
ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ Sn – Zn

Цель работы: изучение методики проведения термического анализа, приобретение практических навыков работы с оборудованием и построение диаграммы состояния по экспериментальным данным.

Приборы и материалы: олово, цинк, сплавы олова с цинком, муфельная печь, автоматический самопишущий потенциометр, термопары.

Термический анализ – основной метод экспериментального построения диаграмм состояния сплавов. Все диаграммы состояния двойных, тройных и более сложных систем построены с помощью этого метода.

Диаграмма состояния представляет собой графическое изображение состояния сплавов в условиях равновесия и строится в координатах "температура – концентрация". Диаграмма показывает в удобной графической форме фазовый состав и структуру в зависимости от температуры и концентрации сплавов.

Геометрические образы диаграммы – точки, линии, являются геометрическим местом критических температур, фиксируемых на кривых охлаждения, и позволяют определять химическую природу, состав и границы существования равновесных фаз. Кроме того, диаграмма состояния необходима для:

- выбора температур нагрева сплава под ковку, штамповку, термическую обработку, для выбора температуры заливки;
- прогнозирования качества отливок, свойств материала в зависимости от состава сплава и т. д.

Термический метод основан на том, что большинство физических и химических процессов сопровождается выделением или поглощением тепла. При этом одни процессы обратимы, например, плавление – кристаллизация, кипение – конденсация, выделение – растворение, полиморфные превращения. К необратимым процессам относятся многие химические реакции. В металловедении преобладают обратимые процессы. Тепловые эффекты обратимых процессов наблюдают как при нагреве, так и при охлаждении. Регистрирующий прибор (потенциометр) автоматически вычерчивает термограмму – кривую охлаждения в координатах "температура – время". Ниже приведены схемы некоторых кривых охлаждения (рис. 1.).

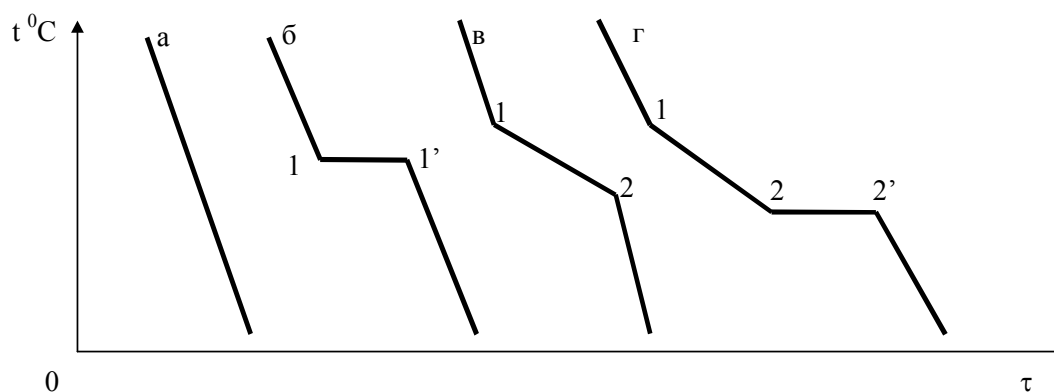


Рис. 1. Схема кривых охлаждения: а – аморфного вещества; б – металла; в – твердого раствора; г – сплава, содержащего смеси

1, 1', 2, 2' – критические точки, которые соответствуют началу или концу фазового превращения, сопровождающегося выделением тепла. Критические точки и используются для построения диаграмм. Любая линия диаграммы – это геометрическое место критических точек.

Диаграммы состояния строятся в условиях равновесия, т. е. весьма медленного нагрева или охлаждения и подчиняются общим законам равновесных систем. Основным из них правило фаз (закон Гиббса) $s = k + 1 - f$, где s – число степеней свободы; k – число компонентов сплава; f – число фаз в сплаве.

Фаза – однородная часть системы (сплава), отделенная от других частей системы поверхностью раздела, при переходе через которую состав, строение и свойства сплава изменяются резко, скачком.

Степени свободы или **вариантностью** системы называется число переменных факторов, которые можно менять, не нарушая равновесия; для диаграмм – не нарушая числа фаз.

Правило фаз используется для фазового анализа кривых охлаждения с целью проверки правильности их построения. Например, двухкомпонентная система может состоять из одной, двух или трех фаз, находящихся в равновесии. В первом случае ($f=1$) она дивариантна ($s=2$). Это значит, что при изменении в известных пределах двух ее параметров (температуры и состава) система останется однофазной. Если в равновесии находятся две фазы, то она моновариантна ($s=1$), для сохранения числа фаз, равного двум, может изменяться только один параметр (температура). Наконец, равновесие трех фаз в двухкомпонентной системе является безвариантным (нонвариантным), все параметры системы, в том числе и температура, должны быть постоянными ($s=0$), что соответствует изотермическому участку кривой охлаждения.

Рассмотрим конкретный пример построения диаграммы состояния сплавов олово-цинк. Из олова и цинка составляют серию сплавов различной концентрации и помещают их в стальные тигли. Сплавы нагревают в печи до расплавления и проводят их медленное охлаждение, фиксируя зависимость понижения температуры от времени охлаждения автоматическим потенциометром (рис. 2). Градуировка потенциометра соответствует определенному датчику температуры.

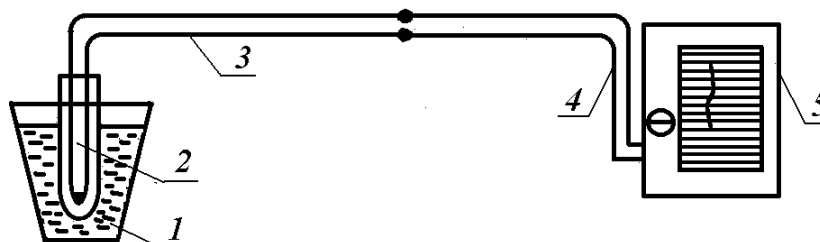


Рис. 2. Установка для снятия кривых охлаждения

Датчиком температуры является термопара ХА (хромель-алюмелевая). "Горячий" спай термопары (2) опускают в расплав (1), а "холодный" спай (3) приваривают к компенсационным проводам (4), которые подсоединяют к клеммам потенциометра (5). Между "холодным" и "горячим" спаями возникает термо-ЭДС, которая пропорциональна для данной термопары разности температур спаев. Считая температуру "холодного" спая постоянной (20°C), показания прибора будут пропорциональны температуре "горячего" спая.

Температура фиксируется через равные промежутки времени на диаграммной ленте, изображая термограмму.

На полученных термограммах отмечают критические точки цифрами 1, 1', 2, 2' и определяют температуры точек. Заполняют таблицу 1.

Таблица 1

№ сплава	Критические точки				
	Состав сплава	1	1'	2	2'
I	100 % Sn			—	—
II	96 % Sn, 4 % Zn		—		
III	91 % Sn, 9 % Zn			—	—
IV	20 % Zn, 80 % Sn		—		
V	50 % Zn, 50 % Sn		—		
VI	100 % Zn			—	—

Полученные критические точки 1, 1', 2, 2' должны лежать на линиях диаграммы, поэтому через них нужно провести линии, которые и будут линиями диаграммы.

Для этого на координатной плоскости "температура-концентрация" проводят ординаты, соответствующие выбранным сплавам I, II, III, IV, V, VI (рис. 3).

На ординаты переносят полученные критические температуры (точки) и одноименные (например, тт.1) соединяют сплошными плавными линиями (рис. 3).

Точки пересечения линий диаграммы обозначают буквами латинского алфавита.

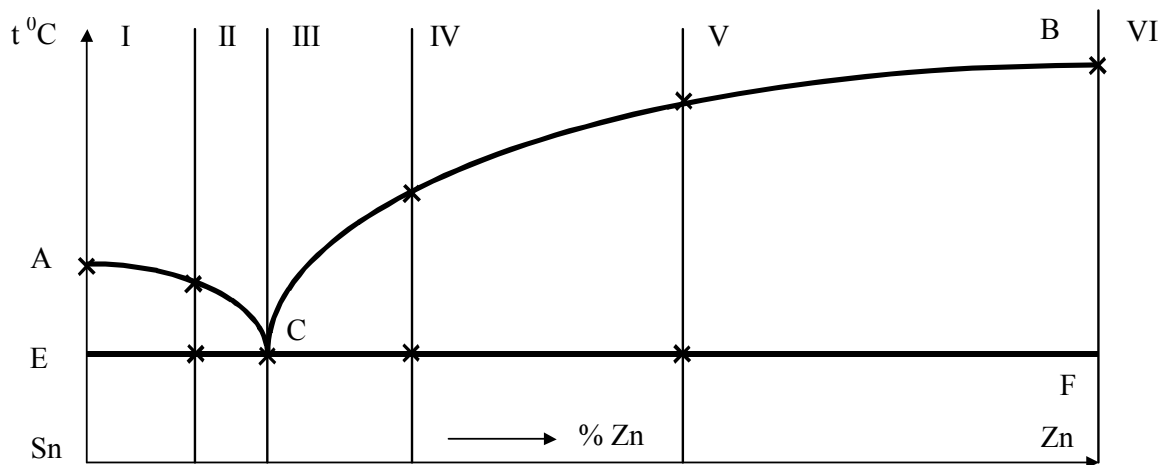


Рис. 3. построение диаграммы Sn – Zn

Линия ACB – геометрическое место точек начала кристаллизации – называется линией **ликвидус**.

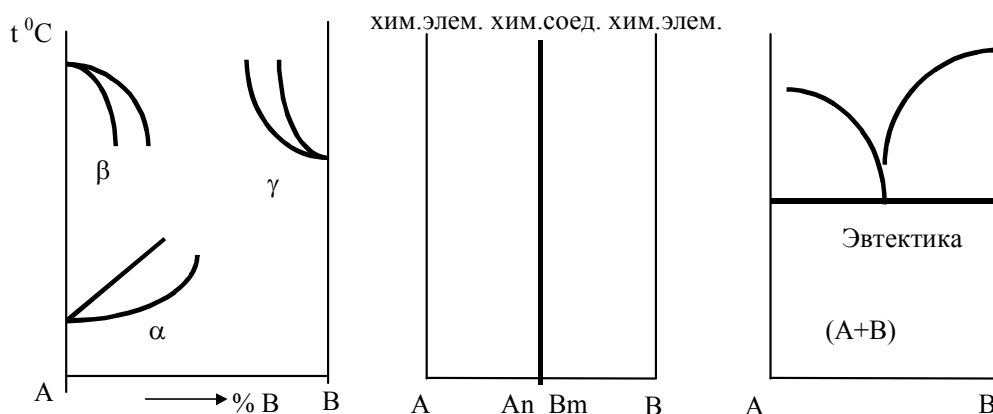
AECFB – геометрическое место точек конца кристаллизации – называется линией **солидус**.

Далее проводят анализ полученной диаграммы: по геометрическим признакам определяют фазы и фазовые превращения.

При фазовых превращениях фазы изменяются, превращаются в новые фазы.

Основные фазы в металлических сплавах: жидкие растворы, твердые растворы, химические соединения и химические элементы.

Геометрические признаки названных фаз и смеси:



A, B – условные химические элементы;

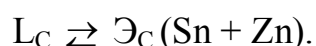
α , β , γ – твердые растворы;

An Bm – химическое соединение

Перечисленные фазы могут находиться как в структурно свободном состоянии, так и в различном сочетании друг с другом, образуя в сплавах

смеси со строго определенным соотношением фаз; наиболее часто – эвтектические смеси. "Эвтектическая" означает легкоплавящаяся: ее точка плавления самая низкая. Эвтектическая смесь или кратко **эвтектика** получается в результате превращения: жидкий раствор определенной концентрации при постоянной температуре превращается в эвтектику, состоящую из одновременно кристаллизующихся фаз (A+B).

На полученной диаграмме сплавов Sn – Zn находим признаки эвтектического превращения. Твердыми фазами могут быть только химические элементы олово и цинк, т. к. не находим признаков ни твердых растворов, ни химических соединений. Тогда эвтектическое превращение записывается следующим образом:



Читается так: жидкая фаза состава точки C при постоянной температуре превращается в эвтектическую смесь, состоящую из кристаллов олова и цинка.

Сплав, проходящий через точку C, отвечающий составу 91 % Sn и 9 % Zn, называется эвтектическим. Все сплавы слева от него называются доэвтектическими, а справа – заэвтектическими. Линия ECF – линия эвтектического превращения или **линия эвтектики**. Ниже этой линии в каждом сплаве присутствует эвтектика. Состав сплавов изменяется в интервале кристаллизации так, что при температуре линии ECF все сплавы приобретают одинаковый (эвтектический) состав: 91 % Sn и 9 % Zn и при постоянной температуре (~200 °C) превращаются в эвтектику.

Структура доэвтектических сплавов состоит из выпавших в период кристаллизации кристаллов олова и эвтектики (Sn+Э_C), эвтектического – только из эвтектики (Sn+Zn) и заэвтектических – из кристаллов цинка и эвтектики (Zn+Э_C).

Диаграмма окончательно принимает вид показанный на рис. 4.

Так как в процессе кристаллизации сплавов постоянно изменяются и концентрация фаз и количество каждой фазы, то определять в любой точке диаграммы, где присутствуют 2 фазы, количество и состав фаз можно с помощью правила отрезков.

1. Первое положение правила отрезков или правило концентраций.

Для того чтобы определить концентрации компонентов в фазах, через данную точку в двухфазной области проводят горизонтальную линию (**коноду**) до пересечения с линиями, ограничивающими данную область: проекции точек пересечения на ось концентрации показывают составы фаз.

2. Для определения каждой фазы (второе положение правила отрезков или правило рычага) также нужно провести коноду и представить ее как рычаг с точкой опоры в исследуемой точке. Отрезки этой линии (плечи

рычага) между заданной точкой и точками, определяющими составы фаз, обратно пропорциональны количествам этих фаз.

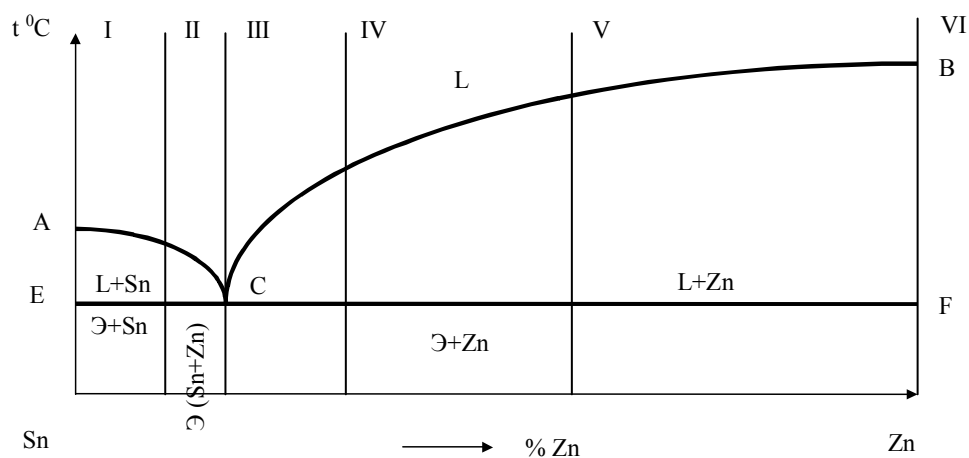


Рис. 4. Диаграмма состояния Sn – Zn

Например, в двухфазной области диаграммы, составленной из условных компонентов А и В, определим количество и составы фаз в точке s (рис. 5).

т.к' – состав фазы L в точке s.

т.р' – состав фазы A в точке s.

$$\text{Количество } L = \frac{ps}{pk} 100 \%$$

$$\text{Количество } A = \frac{sk}{pk} 100 \%$$

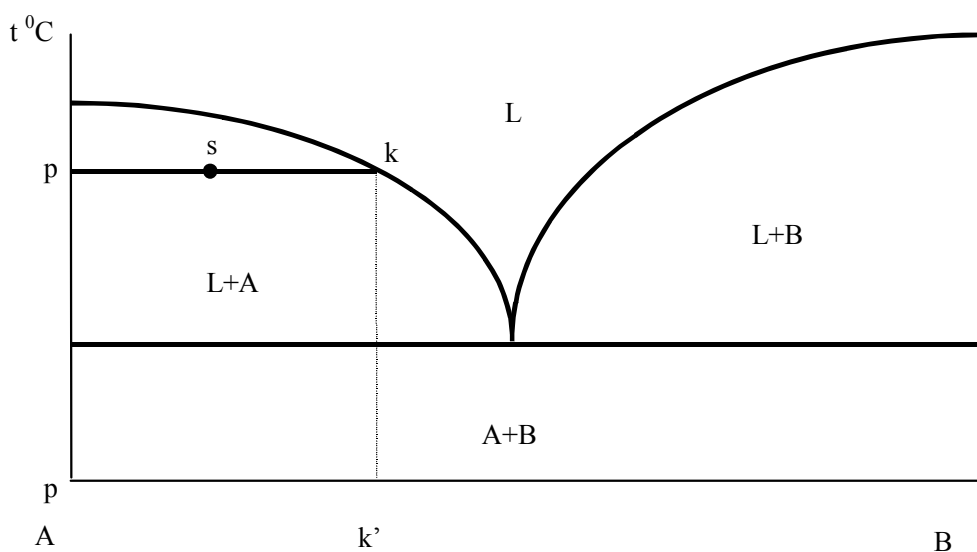


Рис. 5. Схема диаграммы состояния

Примечание. Все припои, которые должны быть легкоплавкими и плавиться при одной температуре, являются эвтектическими сплавами. Например, всем известный припой "третник", температура плавления которого 180°C , является эвтектическим сплавом свинца и олова (33,5 % Sn и 66,5 % Pb). Также предохранители на электропечах и нагревательных приборах изготавливаются из эвтектических сплавов.

1. Экспериментальная часть

1. Получить у преподавателя 6 образцов: олово, цинк, сплавы олово – цинк с различным содержанием Sn и Zn (4 %, 9 %, 20 %, 50 % Zn).
2. Под руководством учебного мастера расплавить в муфельной печи полученные образцы.
3. Собрать установку по рис. 2 и получить термограммы каждого сплава.
4. Определить критические точки на термограммах и заполнить табл. 1.
5. По критическим точкам построить диаграмму состояния сплавов Sn-Zn и обозначить линии диаграммы (см. рис. 3).
6. Проанализировать полученную диаграмму и заполнить все области построенной диаграммы.
7. Провести индивидуальный анализ диаграммы по заданию преподавателя.

2. Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Теоретическое описание.
4. Практическая часть работы:
 - схема установки;
 - экспериментальные кривые охлаждения (схемы);
 - таблица значений;
 - диаграмма состояния.
5. Данные индивидуального анализа диаграммы по заданию преподавателя.

3. Контрольные вопросы

1. Назначение термического анализа.
2. На чем основан метод термического анализа?
3. Кривые охлаждения (термограммы) и критические точки.
4. Построение диаграммы на примере олово-цинк.
5. Правило фаз, правило отрезков, их использование.
6. Значение диаграмм состояния.

Лабораторная работа № 7

ИЗУЧЕНИЕ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ

Цель работы: исследовать микроструктуру углеродистых сталей в равновесном состоянии и установить связь между структурой сталей и диаграммой состояния; по микроструктуре определить марку стали; ознакомиться с маркировкой, назначением, свойствами и применением углеродистых сталей.

Приборы и материалы: микроскоп ММУ-3, травитель, спирт, фильтровальная бумага, вата, коллекция микрошлифов.

Выполнение работы рекомендуется проводить в следующем порядке:

1. По методическому указанию ознакомиться с микроструктурами сталей в равновесном состоянии и установить связь между структурой сталей и диаграммой состояния Fe-Fe₃C

Сталь – сплав железа с углеродом, в котором постоянно присутствуют примеси марганца, кремния, алюминия, фосфора, серы и газы: кислород, азот, водород. Если марганец, кремний, алюминий необходимы по условиям технологии выплавки, то сера, фосфор и газы относятся к вредным примесям, не поддающимся полному удалению. Чем меньше вредных примесей, тем выше качество стали.

Качество стали зависит от способа ее выплавки, разливки и обработки на металлургических заводах.

Углеродистые стали наиболее применимы в различных отраслях промышленности. Их доля в общем объеме производства сталей составляет ~ 80 %. Свойства сталей очень разнообразны и зависят от структуры стали.

Микроструктура углеродистых сталей в равновесном состоянии, полученная в результате оптимального нагрева и медленного охлаждения (отжига), может быть определена по диаграмме состояния железо-цементит (рис. 1).

Сплавы железа с углеродом, содержащие углерода до 0,025 %, называют **технически чистым железом**. Его структура состоит из светлых зерен феррита с хорошо видными темными границами (рис. 2а). Железоуглеродистые сплавы, содержащие углерода от 0,025 до 2,14 % называются **сталями**. По структуре в равновесном состоянии стали делят на доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные.

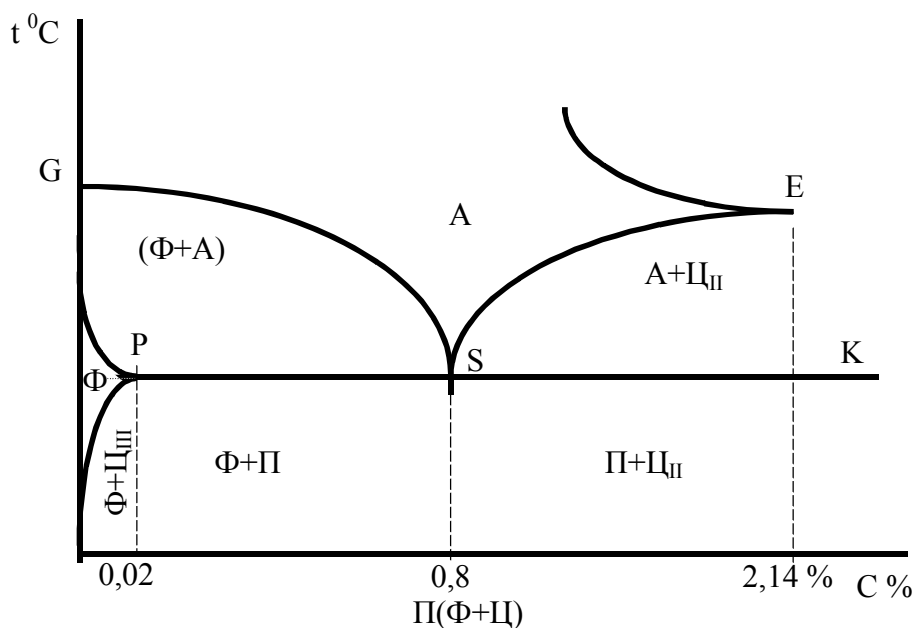


Рис. 1. Левый нижний угол диаграммы железо-цементит

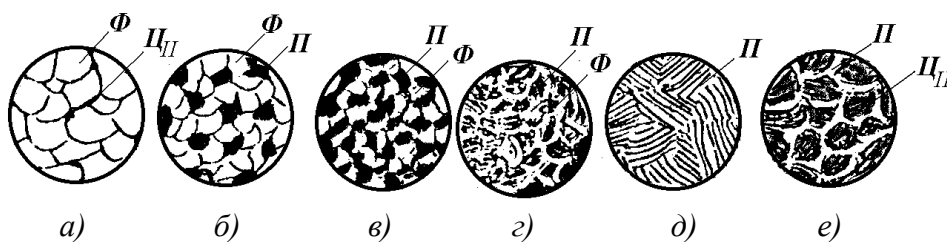


Рис. 2. Микроструктура стали в зависимости от содержания углерода:
 $a - 0,01 \% C$; $b - 0,3 \% C$; $в - 0,5 \% C$; $г - 0,6 \% C$; $д - 0,8 \% C$; $e - 1,2 \% C$

Доэвтектоидные стали содержат от 0,025 до 0,8 % углерода. Структура этих сталей состоит из светлых зерен феррита и темных зерен перлита (рис. 2 б,в,г). С увеличением содержания углерода уменьшается количество феррита, возрастает количество перлита.

Эвтектоидная сталь содержит 0,8 % углерода и состоит только из перлита (эвтектоидной смеси феррита и цементита), имеющего пластинчатое строение (рис. 2д).

Заэвтектоидные стали содержат от 0,8 % до 2,14 % углерода. Их структура состоит из перлита и вторичного цементита (рис. 2е). При медленном охлаждении вторичный цементит располагается по границам зерен перлита в виде сетки или ручейков белого цвета. Чтобы отличить цементит от феррита, применяют специальный реактив – пикрат натрия, который окрашивает цементит в темный цвет и совершенно не действует на феррит. Выделение вторичного цементита по границам зерен перлита нежелательно, т. к. такая структура обладает повышенной хрупкостью и плохо обра-

батывается резанием. Чем больше содержание углерода, тем более широкой получается цементитная сетка и меньше образуется перлита.

Таким образом, с увеличением содержания углерода в углеродистых сталях, находящихся в равновесном состоянии, меняются их структура и фазовый состав: уменьшается количество феррита (HB80-100), увеличивается количество цементита (HB800) и в соответствии с этим в сталях возрастают твердость HB, предел прочности σ_b , уменьшается пластичность δ и ударная вязкость KCU (рис. 3). При содержании углерода свыше 1 % предел прочности снижается, что объясняется образованием в структуре стали по границам зерен сплошной цементитной сетки.

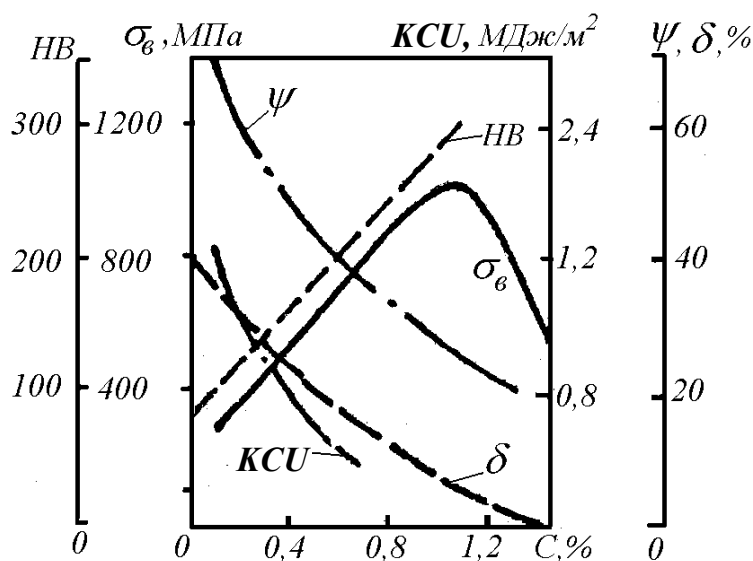


Рис. 3. Влияние углерода на механические свойства углеродистых сталей

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

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

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

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

Такое содержание углерода имеет конструкционная сталь марки 20. По структуре эвтектоидной стали не рекомендуется определять содержание углерода, так как с увеличением его содержания мало изменяется площадь, занимаемая цементитом, и можно сделать грубую ошибку в расчете.

Что же представляют из себя структурные составляющие углеродистых сталей: феррит, перлит, цементит и аустенит?

Микроструктура феррита (Ф) дана на рис. 2а. Это почти чистое железо, модификации Fe_α с решеткой объемно-центрированного куба – ОЦК, в котором растворяется 0,006 % С. При повышении температуры растворимость углерода увеличивается до 0,02 % С. Это самая мягкая структурная составляющая сталей (HB80 – 100, $\sigma_b \approx 250$ МПа, $\delta \approx 50$ %, $\psi \approx 80$ %); стали с высоким содержанием феррита легко деформируются, но плохо обрабатываются резанием.

На рис. 2д дана **микроструктура перлита (П)**. Перлит присутствует во всех сталях. Из одного перлита состоит сталь с содержанием углерода 0,8 %. Перлит – это эвтектоид – смесь феррита и цементита, получающаяся при распаде аустенита с 0,8 % С. При травлении шлифа стали 0,8 % С, т. е. эвтектоидной стали, поверхность имеет перламутровый отлив, в связи с чем такую структуру и называли перлитом.

В зависимости от режима отжига перлит имеет пластинчатое или зернистое строение.

Пластинчатым перлитом называют эвтектоидную смесь, в которой в кристаллах феррита равномерно распределены, чаще всего слегка изогнутые, параллельно расположенные, кристаллы цементита пластинчатой формы.

При больших увеличениях (в 500 – 1000 раз) при рассмотрении в оптический микроскоп пластинчатое строение различимо всегда. При меньших увеличениях пластинчатое строение различимо только при достаточной толщине, а если перлит тонкопластинчатый, то зерна перлита при рассмотрении в микроскоп имеют однородный темный цвет.

Пластинчатая форма перлита образуется при нагреве углеродистых сталей выше температур линии GSE и медленном охлаждении.

Зернистым перлитом называют эвтектоидную смесь, в которой в кристаллах перлита равномерно распределены округлые (глобулярные) кристаллы цементита. Образуется при нагреве стали выше температур линии PSK и медленном охлаждении.

Строение зернистого перлита хорошо выявляется при средних (300 – 400 раз) и даже меньших увеличениях.

Механические свойства перлита зависят от размера (в случае пластинчатого перлита от толщины) кристалла цементита, возрастая с увеличением дисперсности строения, а также от формы кристалла цементита. Перлит пластинчатый характеризуется более высокой твердостью и проч-

ностью (твердость перлита пластинчатого 180-250 НВ $\sigma_b \approx 550-820$ МПа; $\delta \approx 5-15$ %; твердость перлита зернистого 160-220 НВ; $\sigma_b \approx 630$ МПа, $\delta \approx 20$ %).

Цементит (Ц) – это химическое соединение Fe_3C – карбид железа. В цементите 6,67 % С. Характеризуется очень высокой твердостью (~ 800НВ) и практически нулевой пластичностью ($\delta \approx 0$ %), т. е. хрупкий. Чем больше цементита в сталях, тем большей твердостью и меньшей пластичностью они обладают.

Аустенит (А) – структурная составляющая, появляющаяся в углеродистой стали только при нагреве выше $727^\circ C$ (см. рис. 1). Это раствор углерода в другой модификации железа – Fe_γ с решеткой гранцентрированного куба (ГЦК). Аустенит пластичен, твердость его 160 – 200 НВ, $\delta \approx 40 - 50$ %, поэтому хорошо куется, штампуется, прокатывается.

2. Ознакомиться с классификацией и маркировкой углеродистых сталей

Каждая партия стали сопровождается документом (сертификатом), который удостоверяет соответствие стали заказу и требованиям ГОСТов или технических условий (ТУ).

В сертификате, в частности, должны содержаться следующие сведения – марка стали, ее химический состав; номер соответствующего стандарта (ГОСТа, ТУ); номер плавки и номер партии; результаты всех испытаний, предусмотренных стандартом; данные о группах и категориях стали по свойствам, по назначению, качеству поверхности и др.

По назначению углеродистые стали разделяют на конструкционные, инструментальные и специального назначения.

Конструкционные углеродистые стали по качеству бывают обыкновенного качества и качественные; инструментальные – качественные и высококачественные.

Стали углеродистые обыкновенного качества маркируют сочетанием букв "Ст" – сталь и цифрой (от 0 до 6) – условный номер стали. С увеличением номера возрастает содержание углерода, повышаются прочностные характеристики и одновременно снижается пластичность. Для обозначения степени раскисления после номера марки ставятся индексы: кп- кипящая, пс- полуспокойная, сп- спокойная (например: Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп).

В обозначении марки качественной конструкционной стали две цифры указывают среднее содержание в ней углерода в сотых долях процента. Например, сталь 20 – (0,17-0,22 % С) – ~ 0,2 % С, сталь 45 – (0,42-0,5%) – ~ 0,45 % С.

Степень раскисления в марках спокойных сталей не отражается, а в марках полуспокойных и кипящих сталей, как и сталей обыкновенного качества, обозначается буквами "пс" и "кп" соответственно. В качественных

конструкционных сталях всех марок допускается содержание серы не более 0,040 % и фосфора – не более 0,035 %.

Для обозначения инструментальных углеродистых сталей используется буква У. Содержание углерода указывается в десятых долях процента. Буква А, стоящая в конце марки стали, указывает, что сталь является высококачественной. Например, У7 – сталь инструментальная, углеродистая с содержанием углерода 0,7 %, У13А – сталь инструментальная углеродистая, среднее содержание углерода 1,3 %, высококачественная.

3. Ознакомиться с назначением и применением углеродистых сталей

Углеродистые стали обыкновенного качества (ГОСТ 380-94) относятся к числу наиболее дешевых и широко применяемых. Из них получают до 70 % всего проката – горячекатанного, сортового и фасонного, толсто- и тонколистового. Из этих сталей изготовляют трубы, поковки, штамповки, ленту, проволоку, металлические изделия (метизы): гвозди, канаты, сетки, болты, гайки, заклепки, а также мало- и средненагруженные детали, штифты, шайбы, шпонки, крышки, кожухи, а из стали номеров 4-6 – валы, винты, зубчатые колеса и шпиндели. Стали обыкновенного качества хорошо свариваются и обрабатываются резанием.

Из углеродистых качественных конструкционных сталей (ГОСТ 1050-88) производят прокат, поковки, калиброванную сталь, сталь серебрянку, сортовую сталь, штамповки и слитки. Эти стали являются основным материалом для изготовления таких деталей машин, как валы, шпиндели, оси, зубчатые колеса, шпонки, муфты, фланцы, фрикционные диски, винты, гайки, упоры, тяги, цилиндры гидроприводов, эксцентрики, звездочки цепных передач, т. е. деталей различной степени нагружения. Они хорошо обрабатываются давлением и резанием, лются и свариваются, подвергаются термической, термомеханической и химико-термической обработке. Различные специальные виды обработки обеспечивают вязкость, упругость и твердость сталей, позволяют делать из них детали, вязкие в сердцевине и твердые снаружи, что резко увеличивает их износостойкость и надежность.

Качественные конструкционные стали обладают более высокими механическими свойствами, чем стали обыкновенного качества, за счет меньшего содержания в них фосфора, серы и неметаллических включений. Но они на 10-15 % дороже сталей обыкновенного качества, поэтому используются преимущественно для изготовления более нагруженных деталей. По видам обработки их делят на горячекатанную, кованую, калиброванную и серебрянку (со специальной отделкой поверхности).

ГОСТ1050-94 предусматривает следующие марки качественных конструкционных сталей: 05кп, 08кп, 08пс, 08, 10кп, 10пс, 10, 11кп, 15кп, 15пс, 18кп, 20кп, 20пс, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 58 (55пп), 60. В стали 58 (55ПП) буквы обозначают пониженную прокаливаемость.

Из инструментальных углеродистых сталей (ГОСТ 1435-90) получают горячекатаную, кованую и калиброванную сталь, сталь серебрянку, сталь для сердечников, а также слитки, листы, ленту, проволоку и другую продукцию. Из этих сталей изготавливают режущий инструмент, штампы для холодного деформирования.

В качественных инструментальных углеродистых сталях допускается содержание 0,03 % серы и 0,035 % фосфора, в высококачественных – 0,02 % серы и 0,03 % фосфора. Стали, полученные методом электрошлакового переплава, содержат до 0,015 % серы.

Инструментальная сталь должна обладать высокой твердостью, значительно превышающей твердость обрабатываемого материала, износостойкостью и теплостойкостью (способностью сохранять свойства при высоких температурах). Измерительный инструмент, изготовленный из такой стали, должен быть твердым и длительное время сохранять заданные размеры и форму. Рабочие детали штампов и накатных роликов для холодного деформирования (вытяжки, гибки, высадки, пробивки отверстий, накатки, раскатки), сделанные из этой стали, должны иметь высокую твердость, обладать износостойкостью при достаточной вязкости. Все это достигается путем закалки с отпуском, а для измерительного инструмента и за счет искусственного старения.

Из стали У9 производят деревообрабатывающий режущий инструмент (сверла, фрезы, ножи) и ножовочные полотна для обработки стали. Металлорежущий инструмент (фасонные резцы, сверла, метчики, плашки, развертки, фрезы, напильники и ходовые винты прецизионных станков) изготавливают из сталей У10, У11 и У12, бритвенные ножи, лезвийный хирургический инструмент и напильники – из стали У13, слесарные молотки, зубила, губки тисков – из сталей У7 и У8, шаблоны, скобы, детали микрометрического инструмента, гладкие и резьбовые калибры, цанги, фрикционные диски, штампы, пружины и др. – из сталей У8, У9 и У10. Как правило, изготовлению инструмента предшествуют отжиг на зернистый цемент, который способствует лучшей обрабатываемости резанием и уменьшает коробление деталей при закалке.

К углеродистым сталям специального назначения относятся рессорно-пружинные (ГОСТ 14959-79). Они выпускаются следующих марок: 65, 70, 75, 80, 85. Цифры показывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Стали нелегированные для отливок (ГОСТ 977-79) 15Л, 20Л, ..., 55Л используются для изготовления литых деталей, в том числе коленчатых валов (40Л, 45Л). В марке цифры соответствуют среднему содержанию углерода в сотых долях процента, буква Л означает сталь литейная.

Стали повышенной и высокой обрабатываемости резанием (автоматные) согласно ГОСТ 1414-75 выпускаются следующих марок:

- углеродистые сернистые (0,15-0,30 % S; 0,8-1,55 % Mn) – А12, А20, А30, А35, А40, А40Г;
- свинцовосодержащие (0,04-0,10 % Pb) – АС40, АС35Г и др.;

- сернистоселеновые с комплексным легированием S(0,09 %) и Se(0,07 %) – А35Е, А45Е и др.;
- кальцийсодержащие (0,2-0,35 % С; 0,04-0,07% S; 0,003-0,009 % Ca) – АЦ20 и др.

В марке буква А указывает, что сталь автоматная, цифры после нее показывают содержание углерода в сотых долях процента, затем следуют буквы, соответствующие легирующему элементу и цифры после них, показывающие его содержание. Введение серы или серы совместно с другими элементами (селен, кальций) приводит к образованию по границам зерен ферритно-перлитной структуры сульфидов марганца MnS и кальция, селенидов или свинца – это облегчает резание, способствует дроблению и легкому отделению стружки; увеличивается срок службы режущего инструмента, улучшается качество обрабатываемой поверхности изделий. Из этих сталей изготавливают мелкие детали массового спроса: детали швейных, текстильных, счетных, пишущих машин; оси, валики, втулки, шестерни, винты, болты, гайки и другие детали, к которым предъявляются повышенные требования к шероховатости поверхностей и точности размеров. Автоматные стали по содержанию углерода – доэвтектоидные. В них (АС12ХН, АЦ20ХНМ и большинство других) введены легирующие элементы, позволяющие получать однородную структуру при термической обработке в любых по толщине деталях.

4. Экспериментальная часть

Изучить коллекцию углеродистых сталей, зарисовать схематично микроструктуры и по графику (рис. 3) определить прочность каждой марки стали. Установить связь между структурами сталей и диаграммой железо-цементит.

5. Содержание отчета

1. Левый нижний угол диаграммы железо-цементит и характеристику фаз, составляющих структуру стали.
2. Назначение и маркировку углеродистых сталей.
3. Рисунки микроструктур сталей с указанием структурных составляющих.

6. Контрольные вопросы

1. Структурные составляющие сталей и их свойства.
2. Классификация углеродистых сталей по структуре, по назначению и по качеству.
3. Маркировка углеродистых сталей.
4. Назначение и применение углеродистых сталей.
5. Связь структуры и марки стали с диаграммой состояния железо-цементит.

Лабораторная работа № 8

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ЧУГУНОВ

Цель работы: ознакомиться с маркировкой, свойствами и применением чугунов; изучить микроструктуры чугунов.

Приборы и материалы: микроскоп ММУ-3, травитель, спирт, фильтровальная бумага, вата, коллекция микрошлифов чугунов.

Выполнение работы рекомендуется проводить в следующем порядке:

1. Ознакомиться по методическому указанию с маркировкой, свойствами, структурой и применением чугунов

Чугунами называются сплавы железа с углеродом, содержащие углерода от 2,14 % до 6,67 %. В состав чугунов входят также кремний (1,2-3,5 %), марганец (0,5-1,4 %), сера (0,05-0,2), фосфор (0,05-0,8 %).

Чугун – важнейший литейный материал, широко применяющийся в металлургии и машиностроении. Около 68 % отливок изготавливается из чугуна. Чугуны находят широкое применение в качестве конструкционного материала благодаря сочетанию высоких литейных свойств, достаточной прочности, износостойкости, а также невысокой стоимости. Чугуны отличаются низкой чувствительностью к качеству поверхности и надрезам; и благодаря этому, присутствующие в любой отливке отверстия, углы, резкие переходы, раковины, поры, неметаллические включения сравнительно мало влияют на ее реальную конструкционную прочность. Другими преимуществами чугуна являются: высокая прочность при сжатии, высокое значение предела выносливости при кручении (у высокопрочного чугуна даже на 20-30 % больше, чем у стали), хорошие антифрикционные свойства (графит выполняет роль смазки).

Особенностью чугунов является возможность существования двух высокоуглеродистых фаз: графита (стабильная фаза) и цементита (Fe_3C) (метастабильная фаза).

Цементит (Ц) – это химическое соединение Fe_3C – карбид железа. В цементите 6,67 % С. Характеризуется очень высокой твердостью (~ 800 НВ) и практически нулевой пластичностью ($\delta \approx 0$ %), т. е. хрупкий. Цементит имеет сложную ромбоэдрическую кристаллическую решетку.

Графит (Г) – одна из двух (алмаз, графит) кристаллических модификаций углерода (100 % С). Прочность и пластичность графита весьма низки. Кристаллическая структура гексагональная слоистая (рис. 1). (В чугунах встречается и менее устойчивая модификация графита – ромбическая). Из-за легкой подвижности слоев графит является наименее прочной и наименее пластичной фазой чугуна. Графит слабо электропроводен и химически стоек.

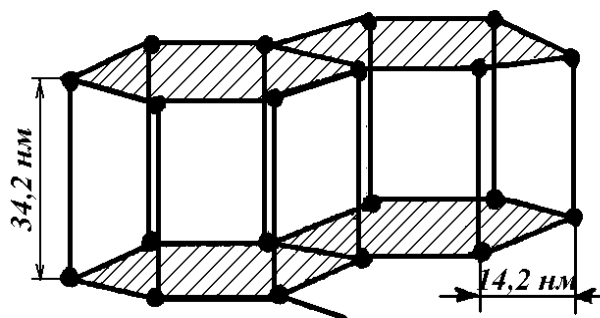


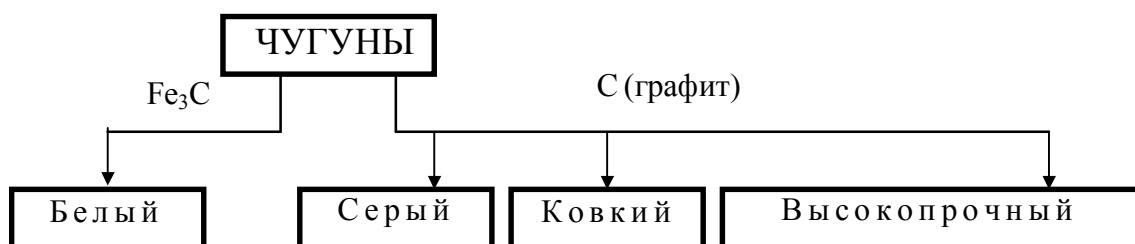
Рис. 1. Кристаллическая решетка графита

В зависимости от состояния углерода в чугунах различают:

- **белый чугун** – весь углерод находится в связанном состоянии в виде цемента;
- **серый чугун** – углерод в значительной степени или полностью находится в свободном состоянии в форме пластинчатого графита;
- **высокопрочный чугун** – углерод в значительной степени или полностью находится в свободном состоянии в форме шаровидного графита;
- **ковкий чугун** – углерод в значительной степени или полностью находится в свободном состоянии в форме хлопьевидного графита.

Примечание. В серых, ковких и высокопрочных чугунах та часть углерода, которая находится в связанном состоянии в виде цемента, входит в состав перлита – металлической основы чугуна.

Таким образом, чугун (кроме белого) отличается от стали наличием в структуре графитовых включений, а между собой чугуны различаются формой этих включений.



Белый чугун

Кристаллизация белых чугунов происходит в соответствии с метастабильной диаграммой Fe-Fe₃C (рис. 2), сплошные линии при больших скоростях охлаждения расплавов.

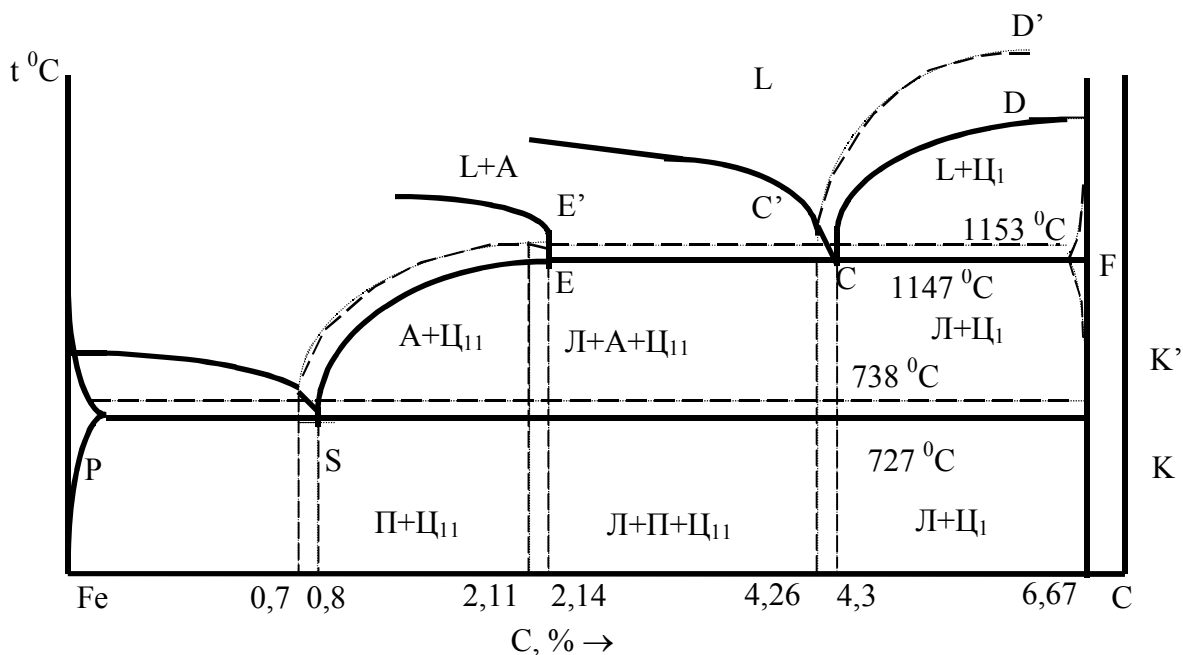


Рис. 2. Диаграмма состояния Fe – C сплавов

При температуре 1147 °C из металлической жидкости, содержащей 4,3 % C, одновременно выделяется аустенит состава точки E (рис. 2) и цементит. Образующаяся смесь этих фаз называется ледебуритом, а превращение эвтектическим $L_C \rightarrow L_C (A_E + Ц)$. При дальнейшем охлаждении концентрация углерода в аустените изменяется по линии ES (рис. 2) вследствие выделения вторичного цементита и к моменту достижения температуры эвтектоидного превращения (727 °C) принимает значение 0,8% C. При температуре 727 °C на линии PSK (рис. 2) аустенит, находящийся как в структурно-свободном состоянии, так и входящий в состав ледебурита, претерпевает эвтектоидное превращение в перлит $A_S \rightarrow П_S (Ф_P + Ц)$.

По структуре белые чугуны разделяются:

- доэвтектические, содержащие углерода до 4,3 %, со структурой ледебурит, перлит и цементит вторичный;
- эвтектические, содержащие углерода 4,3 %, со структурой ледебурит;
- заэвтектические, содержащие углерода более 4,3 %, со структурой ледебурит и цементит первичный.

Белые чугуны из-за присутствия в них большого количества цемента твердые (HB 450-500), хрупкие и для изготовления деталей машин не используются. Ограниченное применение имеют отбеленные чугуны – отливки из серого чугуна со слоем белого чугуна в виде твердой корки на поверхности. Из них изготавливают: тормозные колодки, прокатные валики, лемехи плугов и др. детали, работающие в условиях износа.

Белые доэвтектические чугуны подвергаются специальной термической обработке, в результате которой происходит распад цементита с обра-

зованием графита хлопьевидной формы, и чугун наряду с высокой прочностью приобретает и удовлетворительную пластичность. Образующийся чугун называется ковким.

Ковкий чугун

Чугун с хлопьевидной формой графита называется **ковким**.

Отжиг белого чугуна на ковкий обычно ведут по графику, показанному на рис. 3.

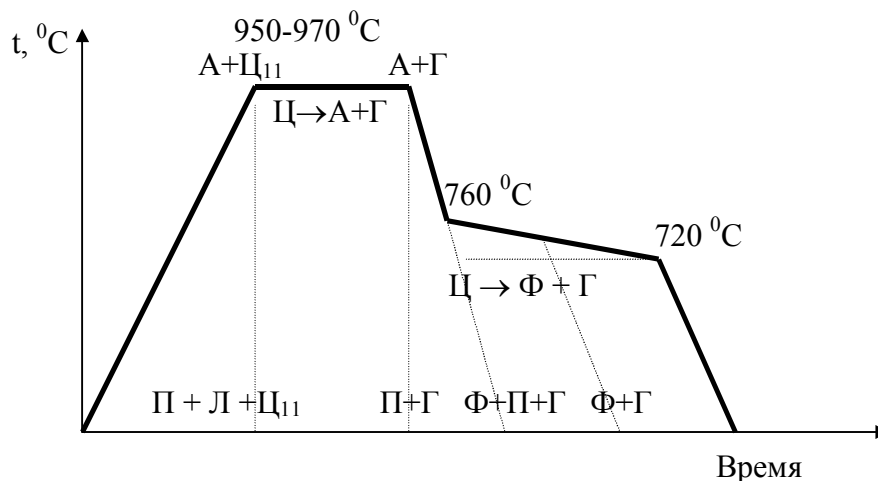


Рис. 3. График отжига белого доэвтектического чугуна на ковкий

Графит, образующийся в результате распада цементита, называют углеродом отжига.

Исходная структура доэвтектического чугуна состоит из перлита, ледебурита и цементита вторичного. При нагреве чугуна до температуры 950-1050 °C в сплаве протекает сначала превращение перлита в аустенит, а затем происходит растворение цементита вторичного в аустените. Во время длительной выдержки при указанных температурах цементит, являясь метастабильной фазой, распадается на аустенит и хлопьевидный графит.

Структура металлической основы чугуна зависит от режима охлаждения. Если после завершения графитизации провести охлаждение сразу до низких (комнатных) температур, то структура чугуна будет состоять из перлита и графита. Такой чугун называют перлитным ковким чугуном.

Если в температурном интервале 760-700 °C отливки охлаждать очень медленно (3-5 °C в час), то происходит распад аустенита на феррит и графит, который наслаивается на уже имеющиеся хлопья. Медленное охлаждение можно заменить изотермической выдержкой при температурах 720-700 °C, в результате которой происходит распад цементита, входящего в состав перлита, на феррит и графит. Такой режим отжига применяют чаще и называют второй стадией графитизации или второй стадией отжига. Структура чугуна после двухстадийного отжига состоит из феррита и графита, а чугун называют ферритным ковким чугуном. Если вторую стадию

отжига сократить, то часть цементита, входящего в состав перлита, не распадется и структура чугуна будет состоять из перлита, феррита и графита – такой чугун называют феррито-перлитным ковким чугуном; чем короче вторая стадия отжига, тем больше в структуре содержится перлита. Ферритный ковкий чугун характеризуется большей пластичностью, но меньшей прочностью, чем перлитный чугун. Для повышения пластичности перлитного чугуна с сохранением высокой прочности его подвергают сфероидизирующему (неполному) отжигу. Чугуны, подвергающиеся сфероидизирующему отжигу, содержат повышенное количество марганца (0,9-1,0 %) или небольшие добавки хрома и никеля для предотвращения распада аустенита на феррит и графит. Ковкий чугун со структурой зернистого перлита обладает большей прочностью на разрыв ($\sigma_B = 400 - 600$ МПа), сравнительно хорошей пластичностью ($\delta = 10,0 - 4,0$ %), хорошей обрабатываемостью резанием, повышенными антифрикционными свойствами и более высокой, чем у серого и ковкого ферритного чугунов, коррозионной стойкостью.

Согласно ГОСТа 1215-79 имеются следующие марки ковкого чугуна:

- ферритные и ферритно-перлитные: КЧ30-6, КЧ33-10, КЧ37-12;
- перлитные: КЧ45-7, КЧ50-5, КЧ55-4, КЧ60-3, КЧ65-3, КЧ70-2, КЧ80-1,5, где буквы “КЧ” обозначают ковкий чугун; цифры до дефиса временное сопротивление разрыву в кгс/мм², а цифры после дефиса – относительное удлинение в %.

Ковкие чугуны нашли широкое применение в сельскохозяйственном, автомобильном и текстильном машиностроении, в судо-, котло-, вагоно- и дизелестроении. Из них изготавливают: башмаки, коробки, муфты, фланцы, головки, хомутики, ступицы, картеры редукторов, тормозные колодки, звездочки и звенья приводных цепей и др. детали.

Все указанные детали изготавливают тонкостенными. Они не должны иметь сечение более 50 мм, иначе в сердцевине при кристаллизации выделяется пластинчатый графит и чугун отжигать не имеет смысла.

В настоящее время выпуск ковкого чугуна сокращается и происходит замена его высокопрочным чугуном, т. к. себестоимость 1 т. годных отливок из высокопрочного чугуна ниже. Масса отливки из ВЧ на 20-30 % меньше (благодаря более высоким механическим свойствам).

Серый чугун

Серым чугуном называется чугун с пластинчатой формой графита. Содержание углерода в серых чугунах колеблется в пределах 2,2 – 3,7 %. Чем выше концентрация углерода, тем больше выделений графита в чугуне и тем ниже его механические свойства. По этой причине его максимальное содержание ограничивается доэвтектической концентрацией. В то же время снижение содержания углерода отрицательно сказывается на жидкотекучести и, следовательно, на литейных свойствах. Нижний предел содержания углерода (2,2 %) принимают для толстостенных отливок,

верхний (3,7 %) – для тонкостенных. Кристаллизация серого чугуна протекает в соответствии со стабильной диаграммой Fe-C рис. 2. (пунктирные линии).

В системе железо-графит эвтектика образуется при температуре 1153 °C. Она содержит 4,26 % C и состоит из аустенита и графита. Ее называют графитной эвтектикой.

В интервале температур 1153-738 °C из аустенита выделяется вторичный графит. При этом аустенит изменяет свой состав по линии E'S' (рис. 2). Эвтектоидное превращение у сплавов в этой системе протекает при температуре 738°C, причем эвтектоидная точка (S') (рис. 2) соответствует содержанию 0,7% C. Эвтектоид в этом случае является смесью феррита и графита и называется графитным.

Таким образом, диаграмма состояния железо-графит принципиально не отличается от диаграммы железо-цементит, за исключением того, что во всех случаях из сплавов выделяется не цементит, а графит. Т. к. графитизация происходит в соответствии с рис. 2 в узком температурном интервале, то для образования графитного зерна необходима малая скорость охлаждения и наличие примесей, способствующих графитизации.

Наиболее сильное влияние на графитизацию оказывает кремний, содержащийся в количестве 0,8-3 %. Кристаллизации графита пластинчатой формы также способствуют микродобавки алюминия, кальция, меди, церия.

Степень графитизации определяет характер металлической основы серого чугуна. В зависимости от того, какая часть углерода содержится в цементите, различают ферритные, феррито-перлитные и перлитные чугуны.

Значительное влияние на структуру чугуна также оказывают технологические факторы, главным из которых является скорость охлаждения. С уменьшением скорости охлаждения увеличивается количество графита. При выборе скорости охлаждения принимают во внимание толщину стенки отливки. Чем больше толщина стенки отливки, тем меньше скорость охлаждения и полнее протекает процесс графитизации.

Наличие пластинчатого графита всегда создает как бы внутренние надрезы, поэтому серый чугун характеризуется низкой прочностью и очень низкой пластичностью. Серый чугун обнаруживает заметные пластические деформации только в условиях сжатия (осадка 20-40 %). При растяжении максимальные пластические деформации в момент разрушения не превышают 1-2 %, так как разрушение происходит путем отрыва по выделениям графита. Чем мельче графитные пластины и чем больше они изолированы друг от друга, тем выше прочностные и пластические свойства чугуна при одной и той же металлической основе. Но в то же время наличие пластинчатого графита обеспечивает чугуну большую демпфирующую способность и тем большую, чем больше графитных включений и чем они крупнее. Пластичность чугуна, в противоположность пластичности стали, может понижаться или, наоборот, возрастать с увеличением

прочности: все зависит от того, за счет чего повышается прочность. Если увеличение прочности происходит за счет увеличения количества перлита и его измельчения, то пластичность уменьшается. Если увеличение прочности происходит за счет улучшения формы включений графита или уменьшения их количества, то увеличивается модуль упругости и пластичность повышается одновременно с прочностью. Сопротивление усталости у чугунов, как и у сталей, растет с увеличением статической прочности. Чем мельче графит и больше перлитной составляющей, тем больше предел выносливости. Наиболее высокое сопротивление усталости чугунов сжимающим напряжениям. При пульсирующем цикле сжатия оно в 5-6 раз выше, чем при пульсирующем цикле растяжения. Таким образом, чугуны целесообразнее использовать для деталей, работающих в условиях сжатия и вибраций.

Номенклатура отливок из серого чугуна и их масса разнообразна: от деталей в несколько граммов (например, поршневые кольца двигателей) до отливок в 100 т. и более (станины станков). Из серых чугунов изготавливают крышки, фланцы, маховики, корпуса редукторов, подшипников, насосов, а также блоки цилиндров, барабаны сцепления, станины станков, зубчатые колеса, шпиндели, поршни цилиндров, корпуса насосов и компрессоров и др. детали.

Согласно ГОСТа 1412-85 предусматриваются следующие марки серого чугуна: СЧ10, СЧ15, СЧ20, СЧ25, СЧ30, СЧ35, СЧ40, СЧ45, где буквы СЧ обозначают серый чугун, а цифры – минимальное значение временного сопротивления при разрыве в МПа $\cdot 10^{-1}$.

Примечание. Иногда в одной отливке можно встретить все структурные виды чугуна: ускоренно охлажденная зона имеет структуру белого чугуна, медленно охлажденная – структуру серого чугуна, а зона, кристаллизующаяся при средних скоростях охлаждения, – структуру половинчатого чугуна. Такие чугуны называют отбеленными.

Высокопрочный чугун

Высокопрочным называют чугун, у которого графит имеет шаровидную, глобулярную форму. Чугуны с шаровидной формой графита получают модифицированием перед разливкой жидкого серого чугуна магнием в количестве 0,01-1,0 % к весу металла или церием в количестве 0,03-0,08 %. Большую часть высокопрочного чугуна производят сейчас с помощью Fe-Si-Mg лигатур с 3-10 % Mg; такие лигатуры содержат до 11 % Ce и 0,2-4,0 % Ca. Совершенствование технологии процесса модифицирования – это один из методов улучшения качества высокопрочного чугуна. Чугун после модифицирования имеет следующий химический состав: 3,0-3,6% C; 1,1-2,9% Si; 0,3-0,7 Mn; до 0,02% S и до 0,1% P.

Высокопрочный чугун, получаемый в производственных условиях, как правило, не имеет 100 % глобулярности графита. Увеличение доли нешаровидного графита в структуре чугуна снижает предел текучести, пре-

дел прочности при растяжении, относительное удлинение и модуль упругости.

По структуре металлической основы высокопрочный чугун может быть ферритным (допускается до 20 % перлита) и перлитным (допускается до 20 % феррита).

Шаровидные включения графита являются меньшими концентраторами напряжений, чем пластинчатые, и поэтому меньше снижают механические свойства металлической основы. Металлическая основа является доминирующим фактором, определяющим величину ударной вязкости, в то время как изменение числа глобулярных включений графита не оказывает на нее влияние. Чем больше феррита и мельче перлит, тем выше ударная вязкость. Причем распределение феррита влияет на уровень ударной вязкости в большей степени, чем дисперсность перлита. Чугун с ферритной оторочкой вокруг шаровидного графита имеет более высокие показатели, чем чугун, в котором феррит распределен по границам зерен. Благоприятное влияние на ударную вязкость оказывает измельчение зерна феррита и увеличение чистоты границ зерен. Предел статической прочности увеличивается перлитной составляющей, но ферритный чугун обладает меньшей чувствительностью к надрезам, более высокой сопротивляемостью перегрузкам и большей эффективностью поверхностного упрочнения.

Примечание. Интересен факт, что предел текучести и относительное удлинение чугуна с шаровидным графитом выше, если заданная структура металлической основы получена за счет термообработки, а не в литом состоянии.

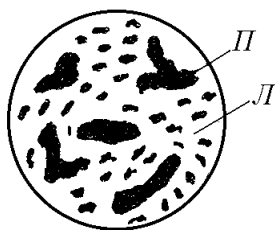
Высокопрочный чугун эффективно заменяет сталь во многих изделиях. Из него изготавливают: прокатные валки, траверсы прессов, лопатки турбин, коленчатые валы, поршни, шестерни, звездочки, ступицы, кронштейны рессор, корпуса вентиля и т. д.

Согласно ГОСТа 7293-85 высокопрочный чугун маркируется ВЧ35, ВЧ40, ВЧ45, ВЧ50, ВЧ60, ВЧ70, ВЧ80, ВЧ100, где буквы “ВЧ” обозначают высокопрочный чугун, а цифры – минимальное значение временного сопротивления при разрыве в МПа · 10⁻¹.

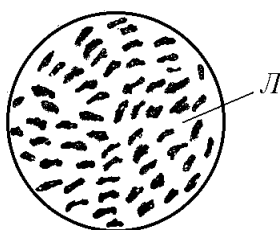
2. Получить коллекцию микрошлифов различных чугунов, изучить и зарисовать микроструктуры

Вначале по нетравленной поверхности изучить форму графитного зерна и определить, какой это чугун, а потом по протравленной поверхности шлифа определить металлическую основу чугуна.

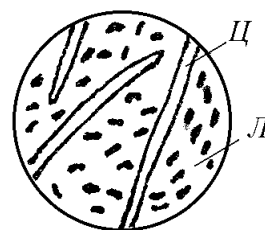
Микроструктура белых чугунов



а) доэвтектического



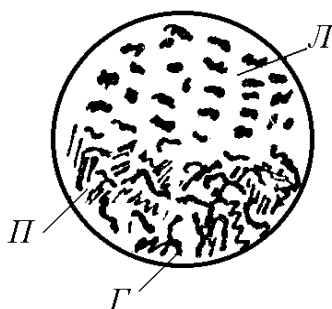
б) эвтектического



в) заэвтектического

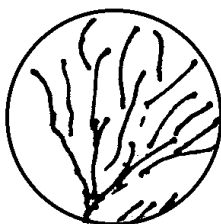
Перлит – темные зерна. Цементит первичный – крупные светлые пластины. Цементит вторичный – частично виден в виде светлых выделений по границам зерен перлита, а частично сливается с цементитом ледебурита. Ледебурит – светлые цементитные поля с равномерно расположенными на них темными перлитными участками.

Микроструктура отбеленных чугунов

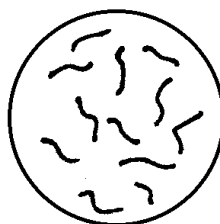


Микроструктура серых чугунов

Расположение пластин графита зависит от того, как плоскость шлифа разрезает колонию графита.



а)



б)

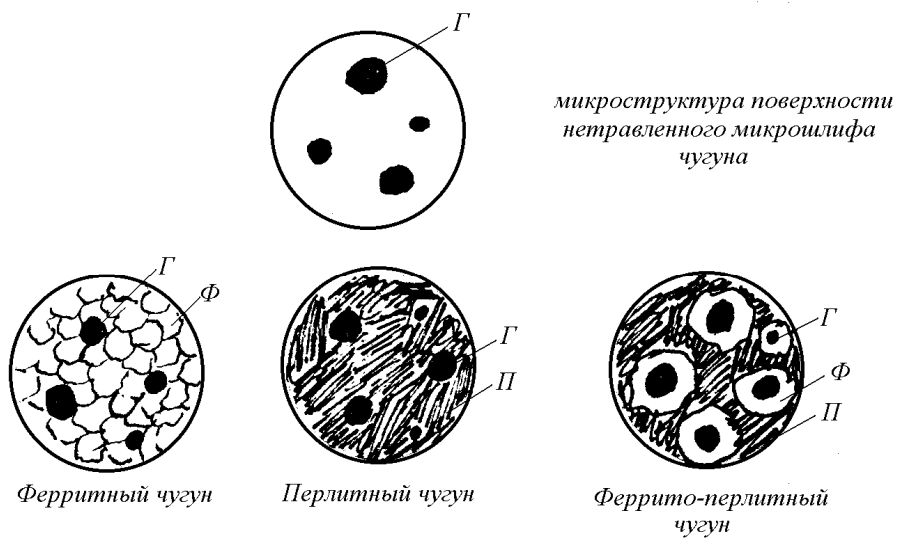
Участок колонии графита при разрезе через центр (а) и по периферии (б)



Микроструктура ковких чугунов



Микроструктура высокопрочных чугунов



3. Содержание отчета

1. Основные теоретические данные о применении, свойствах и маркировке чугунов.
2. Рисунки микроструктур чугунов из коллекции микрошлифов с указанием структурных составляющих.

4. Контрольные вопросы

1. Классификация чугунов по состоянию углерода, по форме графитного зерна и структуре металлической основы.
2. Маркировка и область применения белых, ковких, высокопрочных и серых чугунов.
3. Особенности получения белых, серых, ковких и высокопрочных чугунов.
4. Связь структуры чугуна с его свойствами.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П. 1

Твердость различных машиностроительных материалов

Материал	Состояние	Твердость по Бринелю	Тип применяемого прибора
Сталь	Отожженная	80—220	Бринель
	Закаленная и отпущенная	225—400	Бринель или Роквелл, шкала С
	Закаленная	400—750	Роквелл, шкала С
	Цементованная	600—750	Роквелл, шкала С
	Азотированная	900—1250	Роквелл, шкала С, с нагрузкой 60 кг и супер-Роквелл с нагрузкой 30 и 15 кг. Виккерс с нагрузкой 5, 10 и 30 кг
Чугун	Серый	100—250	Бринель
	Белый	550—650	Роквелл, шкала С
Дуралюмин	Отожженный	40—55	Бринель или Роквелл, шкала В
	Термически обработанный	90—120	Бринель или Роквелл, шкала В
Силумин	Литой	50—65	Бринель
	Термически обработанный	65—100	Бринель
Легкие магниевые сплавы	Литые	40—55	Бринель
	Термически обработанные	65—85	Бринель
Баббит	Литой	18—30	Бринель с малой нагрузкой или Роквелл и супер-Роквелл, шкала В
Свинцовистая бронза	Литая	20—25	То же
Алюминий	Отожженный, холоднокатанный (нагартованный)	20—50	Бринель с малой нагрузкой, Роквелл и супер-Роквелл шкала В
Медь	Отожженная, катаная холоднокалиброванная	25—55	То же

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ И УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ МАТЕРИАЛОВ	4
Лабораторная работа № 2. МАКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	14
Лабораторная работа № 3. МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ, СПЛАВОВ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ.....	24
Лабораторная работа № 4. ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ. ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ Sn – Zn	36
Лабораторная работа № 7. ИЗУЧЕНИЕ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ.....	43
Лабораторная работа № 8. ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ЧУГУНОВ.....	51

Учебное издание

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

**к лабораторным занятиям по одноименному
курсу для студентов спец. Т.02.02.01, Т.02.02.02,
Т.02.02.07, Т.03.01.01, Т.03.01.04, Т.05.09.02,
Т.05.11.01, Т.20.02.03**

**Авторы-составители: Овчинникова Мария Михайловна
Базилеева Нина Ивановна**

Редактор	Н. Г. Мансурова
Компьютерная верстка	В. В. Камелицкий

Подписано в печать 11.07.2000.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 3,74. Уч. – изд. л. 2,75. Тираж 500 экз.
Заказ № 67/ .

Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого».

Лицензия ЛВ № 399 от 12.06.2001.
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48, т. 47-71-64.

Отпечатано на ризографическом оборудовании
Учреждения образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого».

Лицензия ЛП №114 от 12.06.2001.
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48, т. 47-71-64.