

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**БРАТСКИЙ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫЙ КОЛЛЕДЖ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Специальность 15.02.12

Монтаж, техническое обслуживание и ремонт промышленного оборудования
(по отраслям)

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

по дисциплине
«МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

Братск 2020

Составила (разработала) Лобанова С.В., преподаватель кафедры химико-механических дисциплин

Рассмотрено на заседании кафедры химико-механических дисциплин

« _____ » _____ 20__ г.

(Подпись зав. кафедрой)

Содержание

Введение.....	4
1 Лабораторная работа №1. Определение твердости металлов методом Бринелля.....	5
2 Лабораторная работа №2. Определение твёрдости металлов методом Роквелла	12
3 Лабораторная работа №3. Исследование свойств и структуры чугунов.....	15
4 Лабораторная работа № 4. Исследование свойств и структуры углеродистых сталей.....	23
5 Лабораторная работа №5. Исследование сплавов на основе цветных металлов	30
Список использованных источников	41

Введение

Лабораторные работы по материаловедению предназначены для студентов специальности 15.02.12 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт промышленного оборудования (по отраслям).

Описание каждой лабораторной работы состоит из двух частей. В первой части даются краткие теоретические сведения, помогающие студентам правильно и осмысленно выполнять лабораторные работы, приводится описание установок, машин и приборов, используемых при проведении работ, и разъясняются цели и задачи каждой работы. Во второй части указывается конкретное задание, приводятся методические указания о порядке выполнения работы и составления отчёта, а также необходимые справочные материалы.

Лабораторные работы должны выполняться каждым студентом или группой студентов самостоятельно по полученным индивидуальным заданиям.

Во время работы студенты должны выполнять следующие правила:

1. До начала работы студенты должны детально ознакомиться с заданием и методическими указаниями по данному пособию.
2. После ознакомления с оборудованием необходимо приступить к выполнению работы в том порядке, какой указан в методических указаниях.
3. Тетрадь лабораторных работ должна заполняться аккуратно, без помарок, с приложением схем, рисунков, вычерченных карандашом.
4. По окончании выполнения работы назначается сдача зачёта.

1 Лабораторная работа №1. Определение твердости металлов методом Бринелля

Цель работы: Ознакомится с методикой определения твердости металлов по Бринеллю и изучение устройства прибора для проведения лабораторной работы.

Задание:

1. Изучить устройство и работу твердомера типа ТШ
2. Определить твёрдость стальных образцов
3. По показателям твёрдости незакалённых образцов определить характеристики прочности
4. Составить отчёт о работе

Оборудование: Твёрдомер шариковый ТШ, лупа, комплекты образцов

Методические указания

Твердость – это способность материала оказывать сопротивление проникновению в него другого, более твердого тела.

Твердость является одним из важнейших механических свойств металлов. По величине твердости металлов можно судить об их прочностных свойствах, не производя статических испытаний на растяжение. Твердость металлов тесно связана с их обрабатываемостью: чем тверже металл, тем большее усилие требуется для его обработки. От твердости зависит и износостойкость металлов, т. е. их способность сопротивляться истиранию, разрушению поверхности или изменению размеров под действием трения. Чем тверже поверхность изделия, тем меньше она будет изнашиваться в процессе работы. Вот почему по величине твердости металлов судят о возможности применения их для изготовления различных деталей машин. Твердость является также основной характеристикой при оценке качества режущих и измерительных инструментов.

Испытания металлических материалов на твердость получили широкое распространение на заводах и в научно-исследовательских лабораториях вследствие быстроты выполнения и простоты оборудования, необходимого для этого. Большое значение имеет и то, что испытаний на твердость не сопровождаются разрушением деталей. Существует много методов определения твердости металлов. Выбор того или иного метода зависит от твердости испытуемого металла, его толщины, размеров испытуемой поверхности и формы изделия.

На практике наибольшее распространение получили следующие методы определения твердости металлов:

- а) вдавливанием стального шарика (метод Бринелля);
- б) по глубине вдавливания алмазного конуса или стального шарика малого диаметра (метод Роквелла);
- в) вдавливанием алмазной пирамиды (метод Виккерса).

Испытание на твердость по Бринеллю производится вдавливанием в испытуемый образец (металл), стального закаленного шарика определённого диаметра под действием заданной нагрузки P в течение определенного

времени. После снятия нагрузки (вдавливания шарика) на поверхности испытуемого образца, заготовки или детали остается сферический отпечаток (лунка). Схема испытания на твердость по Бринеллю дана на рисунке 1.

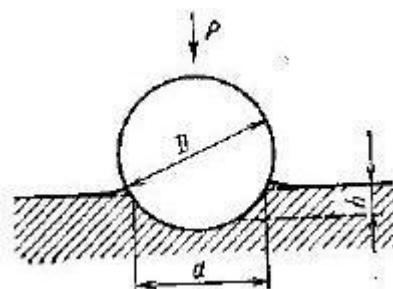


Рисунок 1 – Схема испытания на твердость по способу Бринелля

Процесс измерения твёрдости твёрдомером ТШ состоит из следующих основных последовательно выполняемых операций.

1. Подготовка образцов материала к испытанию. Образец материала должен иметь параллельные поверхности (испытуемую и опорную), без окалины, ржавчины или каких-либо неровностей. При необходимости указанные поверхности подвергаются специальной зачистке или обработке наждачной бумагой, шлифовальным кругом или напильником, при этом образец не должен нагреваться выше 150⁰С.

2. Определение диаметра шарика D, величины нагрузки P и времени выдержки t.

Производится при помощи таблицы 1.

Таблица 1 – Выбор диаметра шарика и нагрузки

Материал	Интервал твёрдости в числах Бринелля	Толщина образца, мм	Диаметр шарика D, мм	Нагрузка P, кг·с	Выдержка t под нагрузкой, сек
Чёрные металлы	140-450	3-6	10	3000	10
		2-4	5	750	
		менее 2	2,5	187,5	
Чёрные металлы	менее 140	3-6	10	1000	10
		2-4	5	250	
		менее 2	2,5	62,5	

3. Подготовка прибора Бринелля к испытаниям. Шарик, выбранный в соответствии с таблицей 1, закрепляют в держателе и устанавливают необходимую нагрузку на приборе. Нагрузка создается весом рычажной системы, подвески и сменными грузами.

4. Работа с прибором при испытании.

Испытание на твердость по Бринеллю производят на специальных прессах. Наиболее распространенным прибором является автоматический рычажный пресс. Схема пресса показана на рисунке 2.

В верхней части станины 1 имеется шпindelь 7, в который вставляется наконечник с шариком 6. Может быть установлен один из трёх наконечников – с шариком диаметром 10, 5 или 2,5 мм. Столик 4 служит для установки на нём испытываемого образца 5. Вращением по часовой стрелке рукоятки 15 приводят в движение винт 3, который, перемещаясь вверх, поднимает столик 4, и образец 5 прижимается к шарикку 6. Электродвигатель 13, который включается нажатием кнопки, расположенной сбоку пресса, приводит во вращение эксцентрик 2. При вращении эксцентрика 2 шатун 9, перемещаясь вниз, отпускает рычаг 10 и соединенную с ним подвеску 11 с грузами 12, создавая этим нагрузку на шарик, который вдавливается в образец. Этот момент фиксируется загоранием лампочки. После соответствующей выдержки испытываемого образца под действием нагрузки вращение мотора автоматически переключается на обратное. Когда рычаг и подвеска с грузами достигнут исходного положения, автоматически даётся сигнал звонком и выключается электродвигатель, лампочка гаснет. Вращением рукоятки 15 против часовой стрелки опускают столик 4. В зависимости от грузов, установленных на подвеске 11, создается различная нагрузка (см. таблицу 1).

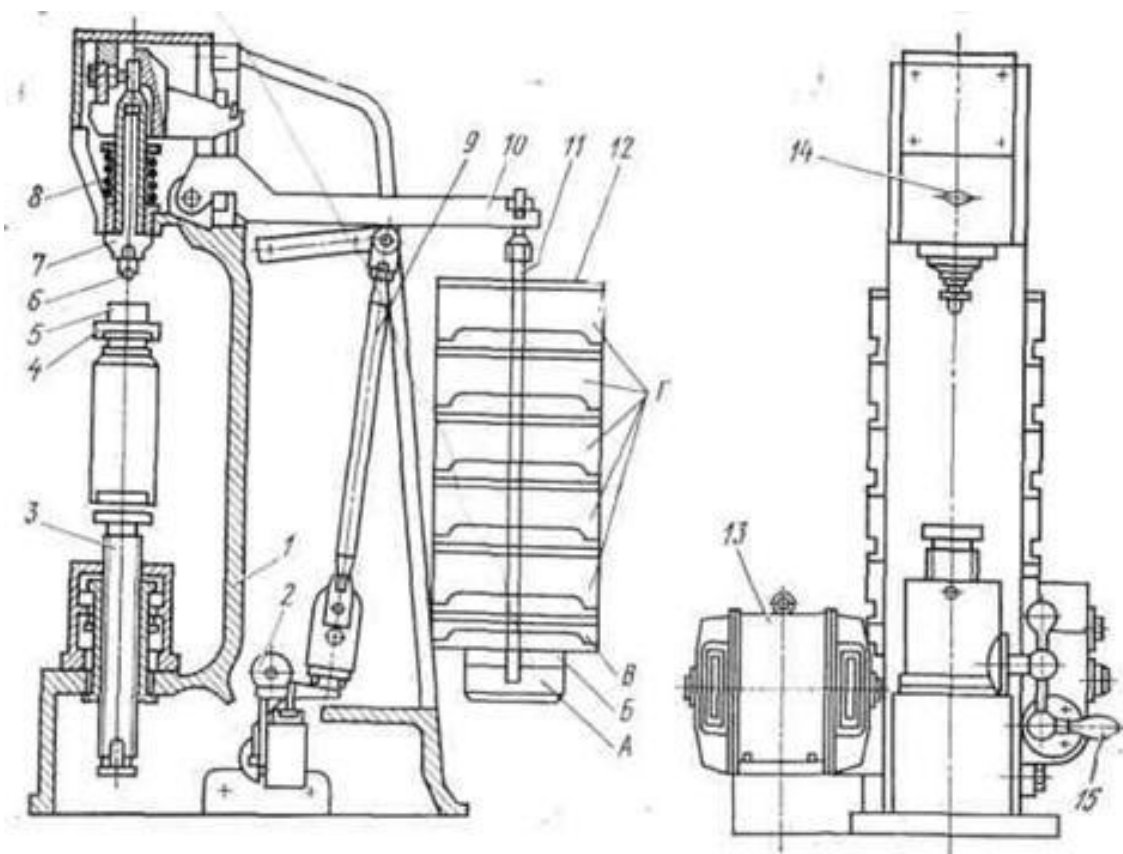


Рисунок 2 – Схема автоматического рычажного пресса для определения твердости

1 – станина; 2 – вращающийся эксцентрик; 3 – винт; 4 – столик; 5 – испытуемый образец; 6 – наконечник с шариком; 7 – шпindelь; 8 – пружина; 9 – шатун; 10 – рычаг; 11 – подвеска; 12 – груз; 13 – электродвигатель; 14 – сигнальная лампа; 15 – рукоятка

5. Определение показателя твёрдости

Полученный отпечаток измеряют с помощью лупы или микроскопа в двух взаимно перпендикулярных направлениях, диаметр отпечатка определяется как среднее арифметическое из двух измерений

$$d_{cp} = \frac{d_1 + d_2}{2}, \quad (1)$$

где d_1 – первое измерение отпечатка, мм;

d_2 – второе измерение отпечатка, мм.

Точность измерения диаметра отпечатка при испытании шариками диаметром 10 и 5 мм должна быть не менее 0,05 мм, а при испытании шариком диаметром 2,5 мм – 0,01 мм. Лупа имеет шкалу (рисунок 3).

Лупу нижней опорной частью надо плотно установить на испытываемую поверхность образца над отпечатком (рисунок 4), если лупа не имеет специальной лампочки для освещения поверхности, вырез (окно) в нижней части лупы обратить к свету. Поворачивая окуляр, необходимо добиться, чтобы края отпечатка были резко очерчены.

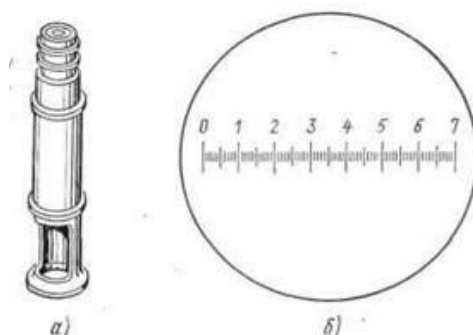


Рисунок 3 – Лупа для измерений отпечатков

а – внешний вид, б – шкала лупы

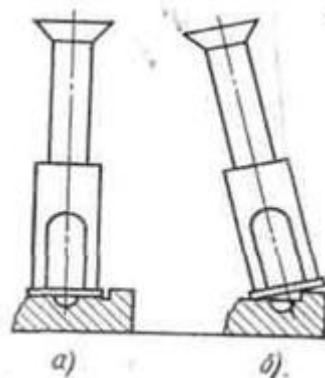


Рисунок 4 – Положение лупы при измерении отпечатка

а – правильное положение, б – неправильное положение

Затем, передвигая лупу, надо один край отпечатка совместить с началом шкалы (рисунок 5). Прочитать деление шкалы, с которым совпадает противоположный край отпечатка.

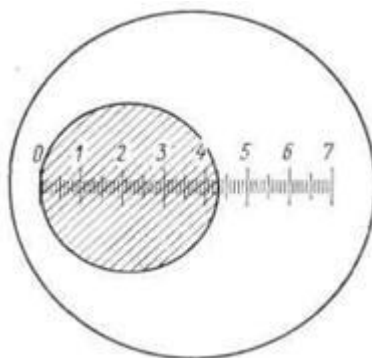


Рисунок 5 – Отсчет по шкале лупы

Твёрдость образца определяется по формуле

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

где P – величина нагрузки при испытании, кг·с;

D – диаметр шарика, мм;

d – принятое значение диаметра отпечатка, мм.

Максимальная твёрдость испытываемых металлов $HB=450$. Испытание более твёрдых металлов повлечёт за собой деформацию шарика. Для получения правильной характеристики твердости данного материала необходимо провести еще два повторных испытания на твердость того же образца; полученные результаты записывают в протокол испытания (диаметры отпечатков, числа твердости), определяют средний результат и снова записывают в протокол. При повторных испытаниях центр отпечатка находится на расстоянии не менее двух диаметров шарика.

Чтобы не прибегать к длительным вычислениям твердости по приведенной формуле, на практике пользуются специальной таблицей (таблица 2), которая дает перевод диаметра отпечатка в число твердости HB . Полученное число твердости HB также записывают в протокол испытания.

Таблица 2 – Определение числа твёрдости

Диаметр отпечатка, мм	Твёрдость, HB	Диаметр отпечатка, мм	Твёрдость, HB
1	2	3	4
2,20	780	4,00	229
2,25	745	4,05	223
2,30	712	4,10	217
2,35	682	4,15	212

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
2,40	653	4,20	207
2,45	627	4,25	201
2,50	601	4,30	197
2,55	578	4,35	192
2,60	555	4,40	187
2,65	534	4,45	183
2,70	514	4,50	179
2,75	495	4,55	174
2,80	477	4,60	170
2,85	461	4,65	167
2,90	444	4,70	163
2,95	429	4,75	159
3,00	415	4,80	156
3,05	401	4,85	152
3,10	388	4,90	149
3,15	375	4,95	146
3,20	363	5,00	143
3,25	352	5,05	140
3,30	341	5,10	137
3,35	331	5,15	134
3,40	321	5,20	131
3,45	311	5,25	128
3,50	302	5,30	126
3,55	293	5,35	123
3,60	285	5,40	121
3,65	277	5,45	118
3,70	269	5,50	116
3,75	262	5,55	114
3,80	255	5,60	111
3,85	248	5,65	110
3,90	241	5,70	109
3,95	235	5,75	107

Примечание – Для определения числа твёрдости при испытании шариком в 5мм диаметр отпечатка надо умножить на 2, а при испытании шариком в 2,5 мм надо умножить на 4.

Порядок проведения работы

1. Ознакомится с устройством и принципом работы прибора для измерения твёрдости.
2. Провести испытания образцов с различным содержанием углерода. Результаты испытаний внести в таблицу.

3. Определить приближённое значение временного сопротивления σ_B для сталей, испытанных на твёрдость по Бринеллю

$$\sigma_B = k \cdot HB, \quad (3)$$

где k – коэффициент, определяемый опытным путём (для стали $k = 0,34-0,36$).

4. Составить отчёт о работе. (В отчёте необходимо указать цель, задание, оборудование, изложить последовательность выполнения работы по определению твёрдости, заполнить протокол испытания).

Таблица 3 – Протокол испытания на твёрдость твёрдомером типа ТШ

№ образца	
Материал образца	
Нагрузка на образец, кг·с	
Диаметр шарика, мм	
Время выдержки по нагрузкой, сек	
Первое измерение диаметра отпечатка, мм	
Второе измерение диаметра отпечатка, мм	
Среднее значение измерения диаметра отпечатка, мм	
Твёрдость, подсчитанная по формуле, НВ	
Твёрдость, взятая по ГОСТу, НВ	

Контрольные вопросы

1. Что такое твёрдость?
2. Как определяется твёрдость металлов по Бринеллю?
3. Из каких основных элементов состоит твёрдомер марки ТШ?
4. Как измеряется диаметр отпечатка?
5. В зависимости от чего выбирается диаметр шарика и нагрузка при определении твёрдости по Бринеллю?

2 Лабораторная работа №2. Определение твёрдости металлов методом Роквелла

Цель работы: познакомится с методом определения твёрдости по методу Роквелла.

Задание:

1. Изучить устройство и работу твёрдомера ТК (прибор Роквелла), с зарисовкой кинематической схемы
2. Определить твёрдость стального образца.
3. Составить отчёт.

Оборудование: Твёрдомер ТК, комплекты образцов

Методические указания

Метод Роквелла был предложен в 1920 г. и в настоящее время получил самое широкое распространение. Это объясняется, во-первых, упрощенной процедурой определения твердости, когда число твердости считывается непосредственно со шкалы прибора, а во-вторых, его универсальностью – с его помощью можно испытывать массивные и тонкие образцы из твердых и мягких материалов. В качестве индикатора используется алмазный конус с углом при вершине 120° и радиусом закругления 0,2 мм (шкалы А и С) и стальной шарик диаметром 1,5875 мм (1/16 дюйма) (шкала В). Процесс погружения осуществляется под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок – предварительной $F_0=98$ Н (10кГс) и общей F_1

$$F=F_0+F_1. \quad (4)$$

Предварительная нагрузка подается вручную и не снимается до конца испытаний, что обеспечивает повышенную точность измерений, т.к. исключается влияние вибраций и поверхностного слоя.

При работе с твёрдомером соблюдается следующая последовательность выполнения операций.

1. Подготовка образцов к испытанию. Испытываемая поверхность образца должна быть параллельна опорной и не иметь царапин. С этой целью испытываемая и опорная поверхности образца подвергаются обработке наждачной бумагой или на мелкозернистом шлифовальном круге. Следует следить при этом, чтобы образец не нагревался более чем на 150°C . После установки образца на приборе он не должен сдвигаться, качаться или деформироваться.

2. Определение шкалы твёрдости, вида наконечника и нагрузки. В соответствии с установленным пределом измерения твёрдости для каждой шкалы следует выбрать вид наконечника и общую нагрузку (таблица 4).

Шкалой В пользуются при измерении твёрдости мягких металлов (незакалённых сталей, цветных металлов и их сплавов); шкалой С- при измерении твёрдости закалённых сталей; шкалой А – при измерении твёрдости изделий с твёрдым поверхностным слоем, полученным в результате химико-

термической обработки (цементации, цианирования и др.), а также твёрдых сплавов.

Таблица 4 – Выбор нагрузки и наконечника для испытаний

Шкала	Вид наконечника	Общая нагрузка, кг	Обозначение твёрдости	Допускаемые пределы шкалы
В	Стальной шарик, диаметром 1,588мм	100	HRB	25-100
С	Алмазный конус с углом при вершине 120 ⁰ .	150	HRC	20-67
А	Алмазный конус с углом при вершине 120 ⁰ .	60	HRA	70-85

4. Подготовка прибора Роквелла к испытанию. В соответствии с выбранной шкалой устанавливают в шпинделе прибора наконечник и предварительно закрепляют его с помощью винта.

5. Работа с прибором при испытании.

На рисунке 6 приведена принципиальная схема твердомера Роквелла. Основными его частями являются: корпус 1, подвеска 2, шток амортизатора 3, рычаг 4, рукоятка 5, винт 6, крышка 7, рычажок 8, индикатор 9, шпиндель 10, маховик 11 для перемещения образца, шпонка 12, направляющая втулка 13, станина 14, грузы 15, стойка 16, подъемный винт 17, масляный амортизатор 18, наконечник 19.

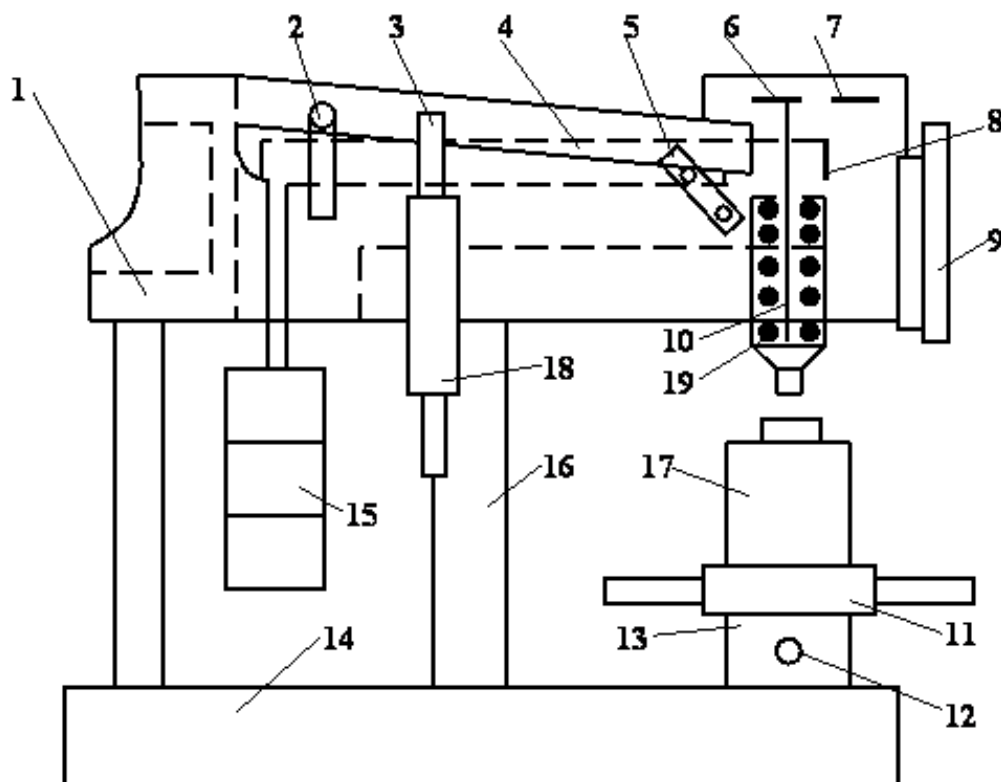


Рисунок 6 – Прибор для измерения твердости по Роквеллу

Установив испытуемый образец на столике, вращением маховика 11 приближают образец к наконечнику и, продолжая плавное вращение маховика, сообщают наконечнику предварительную нагрузку 10 кг. Требуемая величина нагрузки будет в тот момент, когда малая стрелка на циферблате остановится против красной точки. Большая стрелка в это время должна оставаться в положении, близком к вертикали. После этого сообщают наконечнику основную нагрузку при помощи рукоятки. При нагружении большая стрелка индикатора вращается против часовой стрелки. Цифра, против которой остановится большая стрелка (наблюдать следует по той шкале, которая выбрана для измерения твёрдости), укажет число твёрдости по Роквеллу.

Вращением маховика 11 против часовой стрелки снимают предварительную нагрузку, опускают столик и берут образец. Испытания повторяют ещё два раза с тем, чтобы на каждом образце их было не менее трёх. Расстояние между соседними отпечатками не должно быть менее 3 мм.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с устройством и принципом работы прибора ТК.
2. Произвести испытания образцов. Результаты испытаний внести в таблицу 5.
3. Составить отчёт о работе (в отчёте необходимо указать последовательность выполнения операций по определению твёрдости, устройство твёрдомера ТК, заполнить протокол испытания).

Таблица 5 – Протокол испытания на твёрдость твёрдомером типа ТК

№ образца	Материал образца	Условия испытания			Измерения			Среднее значение измерения
		Нагрузка, кг	Вид наконечника	Обозначение шкалы	1	2	3	

Контрольные вопросы

1. Что такое твёрдость?
2. Как определяется твёрдость металлов по Роквеллу?
3. Из каких основных элементов состоит твёрдомер марки ТК?
4. Какой вид наконечника применяют при определении твёрдости по Роквеллу?
5. Укажите достоинства и недостатки метода определения твёрдости по Роквеллу?

3 Лабораторная работа №3. Исследование свойств и структуры чугунов

Цель работы: изучение микроструктуры чугунов различных марок, их свойств и областей применения.

Оборудование: Металломикроскоп, набор шлифов, эталоны микроструктур

Общие сведения

Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов в равновесном состоянии определяют по диаграмме состояния железо–цементит. Особенность диаграммы – наличие на оси составов двух шкал, показывающих содержание углерода и цементита (рисунок 7).

Железоуглеродистые сплавы, содержащие углерода менее 2,14 %, называются *сталями*, а более 2,14 % – *чугунами*.

1. **Феррит (Ф)** – твёрдый раствор внедрения углерода в α -железе. Растворимость углерода в α -железе при комнатной температуре до 0,005%; наибольшая растворимость – 0,02% при 727°C. Феррит имеет незначительную твёрдость (НВ 80-100) и прочность ($\sigma_{\text{H}}=250\text{МПа}$), но высокую пластичность ($\delta=50\%$; $\psi=80\%$).

2. **Аустенит (А)** – твёрдый раствор внедрения углерода в γ -железе. В железоуглеродистых сплавах он может существовать только при высоких температурах. Предельная растворимость углерода в γ -железе 2,14% при температуре 1147°C и 0,8 % при 727°C. Эта температура является нижней границей устойчивого существования аустенита в железоуглеродистых сплавах. Аустенит имеет твёрдость НВ 160-200 и весьма пластичен ($\delta=40\text{-}50\%$).

3. **Цементит (А)** – химическое соединение железа с углеродом (карбид железа Fe_3C). В цементите содержится 6,67% углерода. Температура плавления цементита около 1600°C. Он очень твёрд (НВ \sim 800), хрупок и практически не обладает пластичностью. Цементит неустойчив и в определённых условиях распадается, выделяя свободный углерод в виде графита по реакции $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow 3\text{Fe} + \text{C}$.

4. **Графит** – это свободный углерод, мягок (НВ 3) и обладает низкой прочностью. В чугунах и графитизированной стали содержится в виде включений различных форм (пластинчатой, шаровидной и др.) С изменением формы графитовых включений меняются механические и технологические свойства сплава.

5. **Перлит (П)** – механическая смесь (эвтектоид, т.е.подобный эвтектике, но образующийся из твёрдой фазы) феррита и цементита, содержащая 0,8% углерода. Перлит может быть пластинчатым и зернистым (глобулярным), что зависит от формы цементита (пластинки или зерна) и определяет механические свойства перлита. При комнатной температуре зернистый перлит имеет предел прочности $\sigma_{\text{B}}=800\text{МПа}$; относительное удлинение $\delta=15\%$; твёрдость НВ 160. Перлит образуется следующим образом. Пластинка (глобуль) цементита начинает расти от границы зерна аустенита, или центром кристаллизации является неметаллическое включение. При этом

соседние области объединяются углеродом и в них образуется феррит. Этот процесс приводит к образованию зерна перлита, состоящего из параллельных пластинок или глобулей цементита и феррита. Чем грубее и крупнее выделения цементита, тем хуже механические свойства перлита.

6. **Ледебурит (Л)** – механическая смесь (эвтектика) аустенита и цементита, содержащая 4,3% углерода. Ледебурит образуется при затвердевании жидкого расплава при 1147°C. Ледебурит имеет твердость НВ 600-700 и большую хрупкость. Поскольку при температуре 727°C аустенит превращается в перлит, то это превращение охватывает и аустенит, входящий в состав ледебурита. Вследствие этого при температуре ниже 727°C ледебурит представляет собой уже не смесь аустенита с цементитом, а смесь перлита с цементитом.

Помимо перечисленных структурных составляющих в железоуглеродистых сплавах могут быть нежелательные неметаллические включения окислы, нитриды, сульфиды, фосфиды – соединения с кислородом, азотом, серой и фосфором.

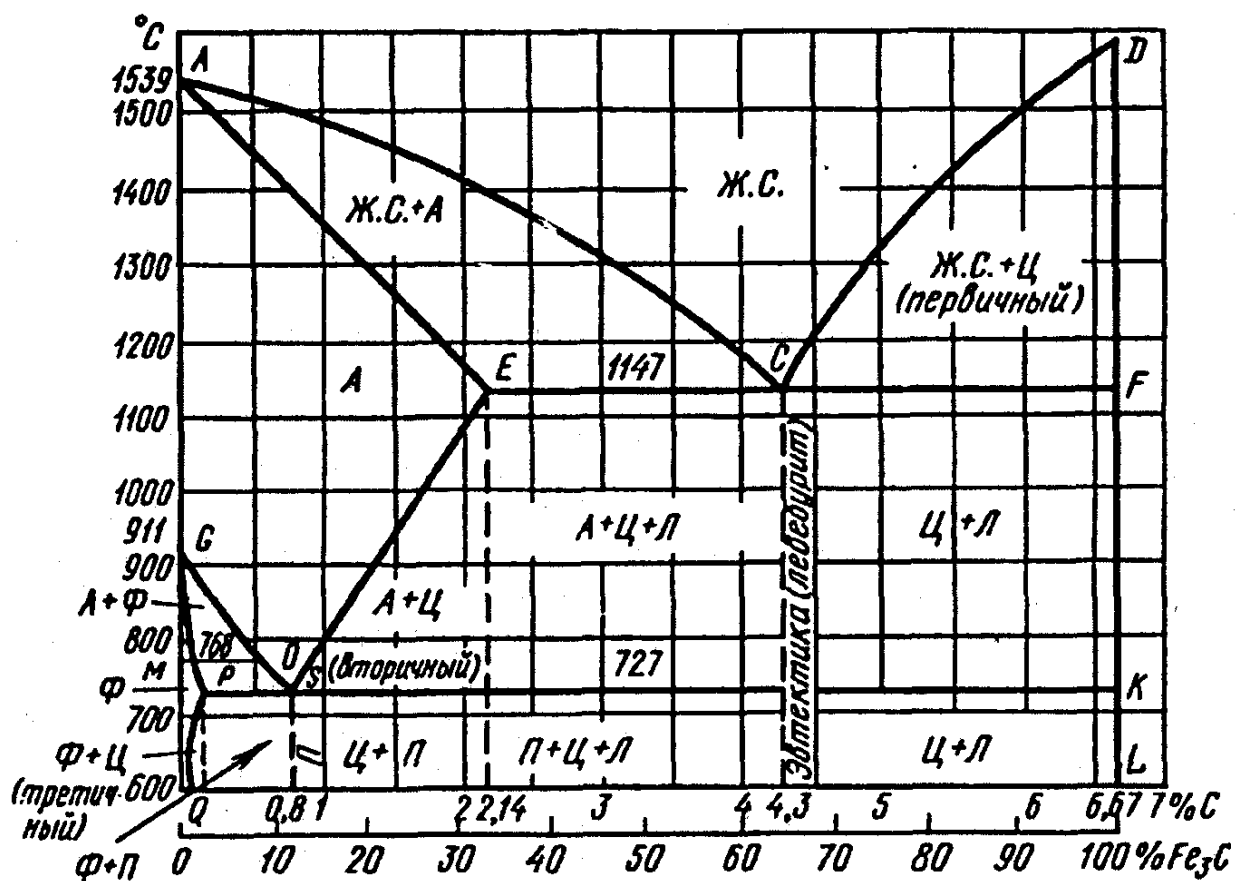


Рисунок 7 – Диаграмма состояния железо — цементит (в упрощенном виде)

А — аустенит, П — перлит, Л — ледебурит, Ф — феррит, Ц — цементит

Чугуны.

Чугун отличается от стали более высоким содержанием углерода, лучшими литейными свойствами. Он не способен в обычных условиях обрабатываться давлением и дешевле стали. В чугунах имеются примеси кремния, марганца, фосфора и серы. Чугуны со специальными свойствами содержат легирующие элементы — никель, хром, медь, молибден и др. Примеси, находящиеся в чугуне, влияют на количество и строение выделяющегося графита.

Механические свойства отливок из чугуна зависят от его структуры. Чугуны имеют следующие структурные составляющие: графит, феррит, перлит, ледебурит и фосфидную эвтектику. По микроструктуре чугуны делят на белый чугун I (рисунок 8), содержащий ледебуритный цементит Ц и перлит П; серый перлитный чугун II, содержащий перлит П и графит Г; серый ферритный чугун III, содержащий феррит Ф и графит Г.

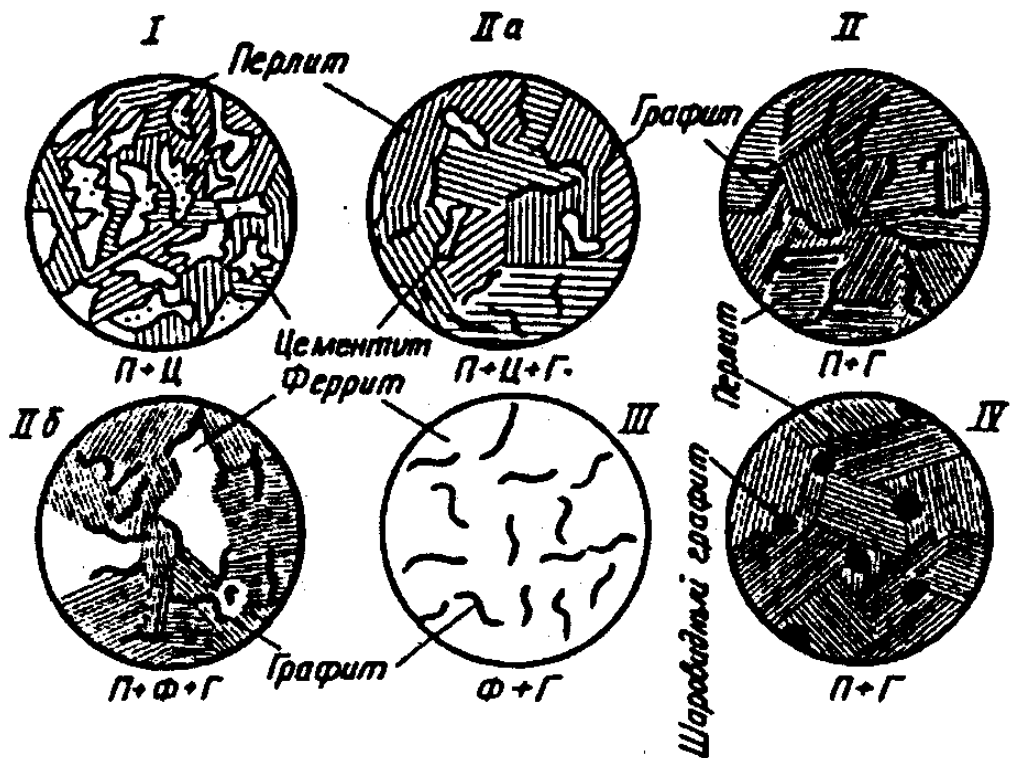


Рисунок 8 – Микроструктуры чугуна

В ферритном чугуне весь углерод находится в свободном состоянии в виде графита. Существуют чугуны с промежуточными микроструктурами: половинчатый IIa, в котором имеются перлит, ледебуритный цементит и графит; перлитно-ферритный IIб, содержащий феррит, перлит и графит; высокопрочный IV- перлит и шаровидный графит.

На образование той или иной микроструктуры чугуна большое влияние оказывают его химический состав и скорость охлаждения отливки.

Белые чугуны имеют белый блестящий цвет, в которых весь углерод находится в связанном состоянии в виде цементита. Эти чугуны, фазовые превращения которых протекают согласно диаграмме состояния Fe – Fe₃C, подразделяют на доэвтектические, эвтектические и заэвтектические.

Эвтектический белый чугун содержит 4,3% углерода. Его структура – ледебурит. Заэвтектические белые чугуны содержат углерода более 4,3%, имеют структуру в виде призматических кристаллов цементита первичного расположенные в ледебуритной матрице. Доля твёрдой и хрупкой фазы-цементита растёт с повышением содержания углерода в чугуне. Например, в структуре белого чугуна с 3% C находится около 45% цементита и 55% феррита, а в чугуне эвтектическом с 4,3% C доля цементита возрастает до 66%. Из-за большого его содержания чугуны имеют повышенную хрупкость и низкие показатели механических свойств. *Белые чугуны* очень твердые и хрупкие, плохо обрабатываются режущим инструментом, идут на переплавку в сталь и называются передельными чугунами. Часть белого чугуна идет на получение ковкого чугуна.

Серый чугун — это литейный чугун. Серый чугун поступает в производство в виде отливок. Серый чугун является дешевым конструкционным материалом. Он обладает хорошими литейными свойствами, хорошо обрабатывается резанием, сопротивляется износу, обладает способностью рассеивать колебания при вибрационных и переменных нагрузках. Свойство гасить вибрации называется демпфирующей способностью. Демпфирующая способность чугуна в 2—4 раза выше, чем стали. Выпускают следующие марки серых чугунов (в скобках указаны числовые значения твердости HB) :СЧ 10(143—229), СЧ 15 (163-229), СЧ 20 (170-241), СЧ 25 (180-250), СЧ 30(181-255), СЧ 35 (197-269), СЧ 40 (207-285), СЧ 45 (229-289).

Серый чугун получают при добавлении в расплавленный металл веществ, способствующих распаду цементита и выделению углерода в виде графита. Для серого чугуна графитизатором является кремний. При введении в сплав кремния около 5% цементит серого чугуна практически полностью распадается и образуется структура из пластичной ферритной основы и включений графита. С уменьшением содержания кремния цементит, входящий в состав перлита, частично распадается и образуется ферритно-перлитная структура с включениями графита. При дальнейшем уменьшении содержания кремния формируется структура серого чугуна на перлитной основе с включениями графита.

Механические свойства серых чугунов зависят от металлической основы, а также формы и размеров включений графита. Наиболее прочными являются серые чугуны на перлитной основе, а наиболее пластичными — серые чугуны на ферритной основе. Поскольку графит имеет очень малую прочность и не имеет связи с металлической основой чугуна, полости, занятые графитом, можно рассматривать как пустоты, надрезы или трещины в металлической основе чугуна, которые значительно снижают его прочность и пластичность. Наибольшее снижение прочностных свойств вызывают включения графита в виде пластинок, наименьшее — включения точечной или шарообразной формы.

Согласно ГОСТ 1412-85 для изготовления отливок предусматриваются следующие марки чугуна: СЧ-10, СЧ-15, СЧ-20, СЧ-25, СЧ-30, СЧ-35. Чугун СЧ-10 – ферритный, СЧ-15- СЧ-20 – ферритно-перлитные, с СЧ-25 – перлитные.

Серый чугун используется во многих областях промышленности. В тракторо- и автомобилестроении при изготовлении : блоков цилиндров и компрессоров (СЧ-15), тормозных барабанов, маховиков, поршневых пальцев (СЧ-25, СЧ-30). В станкостроении серый чугун является основным материалом для станин станков, столов (СЧ-30, СЧ-35). Из чугунов СЧ-10, СЧ-15 изготавливают санитарно-техническое литьё: секции отопительных радиаторов, купальные ванны, трубы, раковины.

Высокопрочными чугунами называют чугуны, в которых графит имеет шаровидную форму. Их получают модифицированием магнием, который вводят в жидкий чугун в количестве 0,02-0,08 %. Ввиду того, что модифицирование чугунов чистым магнием сопровождается сильным пироэффектом, чистый магний заменяют лигатурами (например, сплавом магния и никеля).

По структуре высокопрочный чугун может быть ферритным, ферритно-перлитным или перлитным (рисунок 9).

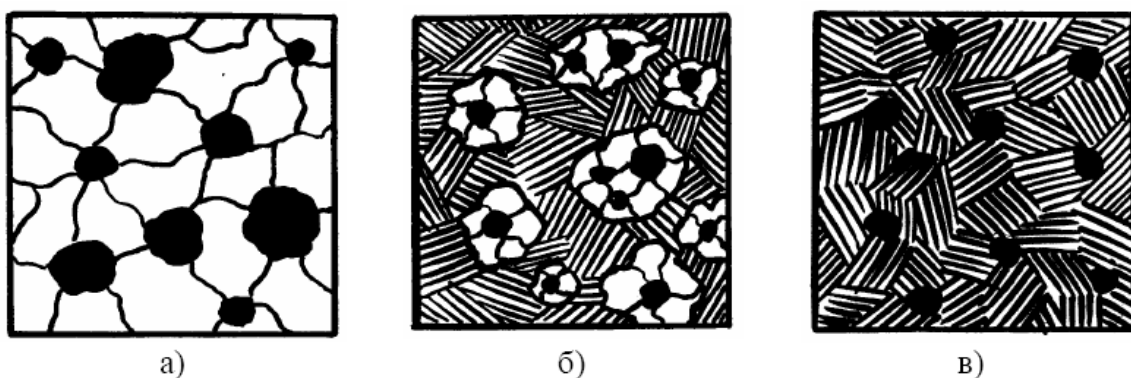


Рисунок 9 – Микроструктура высокопрочного чугуна, (x 300)

а – ферритный; б – ферритно-перлитный; в – перлитный

Шаровидный графит – менее сильный концентратор напряжений, чем пластинчатый графит, и поэтому меньше снижает механические свойства основы. Чугуны с шаровидным графитом обладают более высокой прочностью и некоторой пластичностью. Маркируют высокопрочные чугуны по пределу прочности и относительному удлинению. Согласно ГОСТ 7293-85 применяются следующие марки чугунов ВЧ38-17, ВЧ 42-12, ВЧ 50-2, ВЧ 60-2, ВЧ70-3, ВЧ80-3, ВЧ100-4, ВЧ120-4.

Высокопрочные чугуны применяют в различных отраслях техники, эффективно заменяя сталь во многих изделиях и конструкциях. Из них изготавливают оборудование прокатных станков (прокатные валки массой 12 т), кузнечно-прессовое оборудование (траверса прессы, шабот ковочного молота), в турбостроении – корпус паровой турбины, лопатки направляющего аппарата,

в дизеле-, тракторо- и автомобилестроении – коленчатые валы, поршни и многие другие ответственные детали, работающие при высоких циклических нагрузках и условиях изнашивания.

Ковкими называют чугуны, в которых графит имеет хлопьевидную форму. Их получают отжигом белых доэвтектических чугунов. По этой причине графит ковких чугунов называют углеродом отжига. Такой графит, в отличие от пластинчатого, меньше снижает механические свойства металлической основы, вследствие чего ковкий чугун по сравнению с серым обладает более высокой прочностью и пластичностью.

Отливки из белого чугуна, подвергаемые отжигу на ковкий чугун, изготавливают тонкостенными. Они не должны иметь сечение более 50 мм, иначе в сердцевине при кристаллизации выделяется пластинчатый графит, чугун становится непригодным для отжига.

По структуре металлической основы, которая определяется режимом отжига, ковкие чугуны бывают ферритными и перлитными (рис. 10).

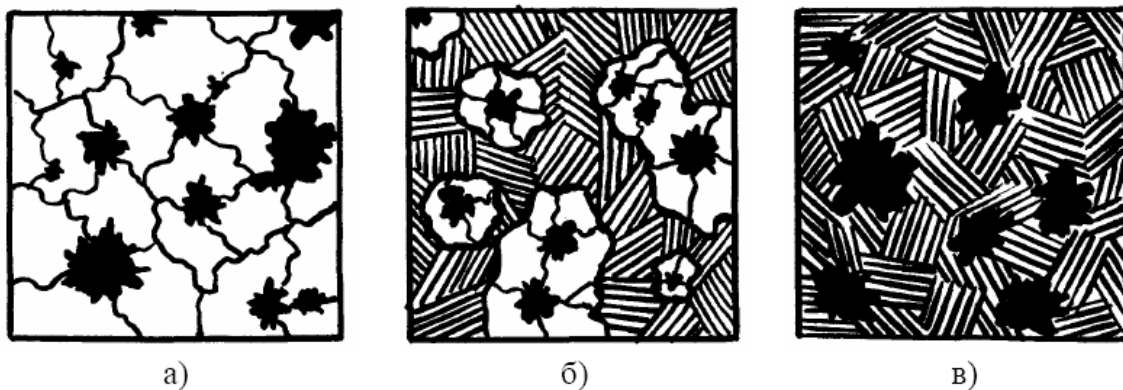


Рисунок 10 – Микроструктура ковких чугунов, (x 300)

а – ферритный; б – ферритно – перлитный; в – перлитный

Отжиг на ферритные чугуны проводят по режиму **1** (рисунок 14), обеспечивающему графитизацию всех видов цементита белого чугуна. Перлитный ковкий чугун получают отжигом, который проводят в окислительной среде по режиму **2** (рисунок 11).

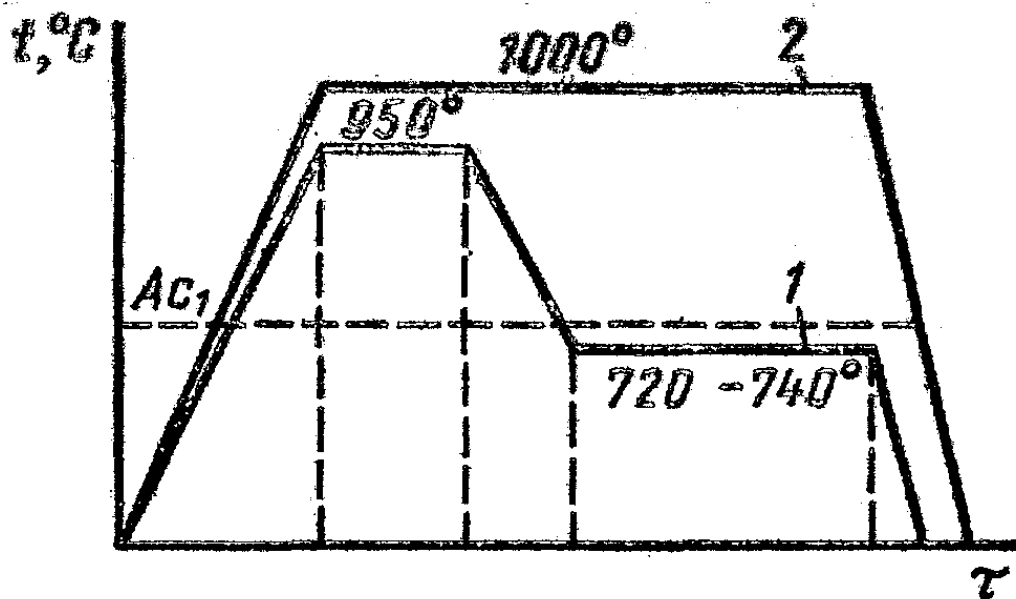


Рисунок 11 – Схема отжига белого чугуна на ковкий

1 – на ферритный; 2 – на перлитный

Ковкий чугун широко применяют в автомобильном, сельскохозяйственном и текстильном машиностроении. Из него изготавливают детали высокой прочности, способные воспринимать повторно-переменные и ударные нагрузки и работающие в условиях повышенного износа, такие как картер заднего моста, тормозные колодки, ступицы, пальцы режущих аппаратов сельскохозяйственных машин, шестерни, крючковые цепи и др. Широкое распространение ковкого чугуна, занимающего по механическим свойствам промежуточное положение между серым чугуном и сталью, обусловлено лучшими по сравнению со сталью литейными свойствами белого чугуна, что позволяет получать отливки сложной формы. Ковкий чугун характеризуется достаточно высокими антикоррозионными свойствами и хорошо работает в среде влажного воздуха, топочных газов и воды.

Согласно ГОСТ 26358-84 отливки изготавливаются из ковкого чугуна следующих марок: КЧ 30-6, КЧ 33-8, КЧ 35-10, КЧ 37-12 ферритного класса, характеризующегося ферритной или ферритно-перлитной микроструктурной металлической основы. КЧ 45-7, КЧ 55-4, КЧ 65-3, КЧ 70-2 перлитного класса, характеризующиеся в основном перлитной микроструктурой металлической основы.

Порядок проведения работы

1. Изучить заданные образцы шлифов. Зарисовать и объяснить их микроструктуру. Описать свойства, области применения.
2. Определить в исследуемых образцах примерное содержание углерода.
3. Начертить диаграмму железо-углерод, провести вертикальные линии для заданных сплавов, указав на ней положение критических точек (температур) и структурных составляющих.

4. Зарисовать форму включений графита исследуемых чугунов. Дать характеристику графита и металлической основы.
5. В соответствии с механическими свойствами определить марку чугуна.
6. Заполнить протокол.
7. Вывод.

Таблица 6 Протокол записи выполненной работы

№	Марка чугуна	Предел прочности при растяжении, МПа	Твёрдость, НВ	Микроструктура	Характеристика графитовых включений

Контрольные вопросы

1. Что такое чугун?
2. На какие группы подразделяется белый чугун в зависимости от содержания углерода?
3. Какую микроструктуру имеют белые чугуны?
4. Что такое эвтектический чугун?
5. Какую микроструктуру имеют серые чугуны?
6. Какое влияние оказывают микроструктура и форма включений графита на механические свойства чугуна?
7. Какую микроструктуру имеют высокопрочные чугуны?
8. Как выполняется маркировка серого чугуна? Приведите примеры марок.
9. Укажите применение серого чугуна.
10. Укажите применение ковкого чугуна.

4 Лабораторная работа №4. Исследование свойств и структуры углеродистых сталей

Цель работы: изучение строения и свойств углеродистых сталей.

Оборудование и материалы: Металломикроскоп, набор шлифов, эталоны микроструктур.

Общие сведения

Стаями называются железоуглеродистые сплавы, содержащие углерода до 2,14%.

По химическому составу стали подразделяются на углеродистые и легированные. Равновесные структуры сталей и превращения в них описываются диаграммой состояния железо-цементит (рисунок 9).

Техническое железо, как видно из диаграммы состояния, может быть однофазным (Ф) или двухфазным (Ф+ЦIII). Цементит третичный располагается в виде тонкой сетки вокруг зёрен феррита. Доля ЦIII в структуре стали мала, и поэтому он не всегда наблюдается, как самостоятельная фаза. По мере увеличения содержания углерода в стали возрастает массовая доля цементита и соответственно уменьшается доля феррита. Это приводит к повышению твёрдости и прочности стали, к снижению её пластичности. Стали, содержащие менее 0,8% С, называются *доэвтектоидными* и имеют структуру феррита (светлые зёрна) и перлита (тёмные зёрна). Доля перлита возрастает пропорционально увеличению содержания углерода. По структуре стали в равновесном состоянии можно определить содержание в ней углерода, т.е. марку стали. Например, в структуре стали 50% площади шлифа занято перлитом, остальные 50 – ферритом. Зная, что в перлите содержится 0,8% углерода, из пропорции $100\% \text{П} - 0,8\% \text{С}$, $50\% \text{П} - X\% \text{С}$ определяется содержание углерода в стали $X = 0,8 \times 50 / 100 = 0,4\% \text{С}$. Затем определяется марка углеродистой стали. По ГОСТ 1050-88 это конструкционная сталь 40.

Сталь, структура которой состоит только из перлита, содержит 0,8% углерода и называется *эвтектоидной*.

Перлит – структурная составляющая железоуглеродистых сплавов, может быть не только пластинчатым, но и зернистым различной степени дисперсности. Перлит зернистый получается, например, путём выдержки стали при температуре близкой к А1 во время маятникового отжига. Феррит и цементит перлита обладают различной твёрдостью, полируемостью и травимостью в реактивах.

При полировании и травлении шлифа на его поверхности создаётся рельеф. Твёрдые, мало травящиеся пластины цементита выступают над ферритными и остаются светлыми и блестящими. Утопающий между ними мягкий феррит оказывается затенённым и, кроме того, из-за повышенной травимости тусклым и тёмным. Поскольку в перлите содержится мало (около 9%) цементита, перлит пластинчатый в сталях и в чугунах при микроскопическом исследовании с малыми увеличениями выглядит тёмным. При зарисовке микроструктуры зерна перлита пластинчатого штрихуются.

Перлит зернистый более светлый. Имеет меньшую твёрдость (160-220 НВ), чем пластинчатый (200-250НВ), лучше обрабатывается резанием.

Стали, содержащие более 0,8% углерода, со структурой П+ЦП называются *заэвтектоидными*. Тёмные перлитные поля окружены светлой сеткой вторичного цементита, толщина которой увеличивается с повышением количества углерода в стали. При определении содержания углерода в заэвтектоидной стали следует с помощью микроскопа установить площади поверхностей шлифа, занятых перлитом и цементитом вторичным. Затем из соответствующих пропорций определить содержание углерода в этих структурах. Сумма полученных величин представляет собой содержание углерода в заэвтектоидной стали. Марка устанавливается по ГОСТ 1435-84.

Наряду с железом и углеродом сталь содержит другие элементы: марганец (0,1-1,1%), кремний (до 0,5%), хром (не более 0,25%) и др; а также вредные примеси: серу, фосфор, кислород, водород, азот.

Чем меньше содержится в углеродистой стали серы и фосфора, тем выше её качество. Различают стали обыкновенного качества, качественные, высококачественные и особо высококачественные. Углеродистые стали также подразделяются на стали общего назначения, конструкционные, инструментальные и специального назначения.

Углеродистые конструкционные стали

Углеродистые стали подразделяют на три основные группы: стали углеродистые обыкновенного качества, качественные углеродистые стали и углеродистые стали специального назначения (автоматную, котельную и др.).

Стали углеродистые обыкновенного качества. Эти наиболее широко распространенные стали поставляют в виде проката в нормализованном состоянии и применяют в машиностроении, строительстве и в других отраслях.

Углеродистые стали обыкновенного качества обозначают буквами Ст и цифрами от 0 до 6. Цифры— это условный номер марки. Чем больше число, тем больше содержание углерода, выше прочность и ниже пластичность.

В зависимости от назначения и гарантируемых свойств углеродистые стали обыкновенного качества поставляют трех групп: А, Б, В. Индексы, стоящие справа от номера марки, означают: кп— кипящая, пс— полуспокойная, сп — спокойная сталь. Между индексом и номером марки может стоять буква Г, что означает повышенное содержание марганца. В обозначениях марок слева от букв Ст указаны группы (Б и В) стали.

Химический состав *сталей группы А* не регламентируют, а гарантируют их механические свойства. Стали этой группы применяют обычно для деталей, не подвергаемых в процессе изготовления горячей обработке (сварке, ковке и др.).

Сталь группы Б поставляют по химическому составу и применяют для деталей, которые проходят в процессе изготовления термообработку и горячую обработку давлением (штамповку, ковку). Механические свойства стали группы Б не гарантируют.

Сталь группы В поставляют по механическим свойствам, соответствующим нормам для стали группы А, и по химическому составу, соответ-

ствующему нормам для стали группы Б. Сталь группы В используют в основном для сварных конструкций.

Например, марку стали ВСт4пс следует расшифровывать так: ВСт4пс-это углеродистая конструкционная сталь, обыкновенного качества, группы В (поставляется с гарантией по механическим свойствам и химическому составу), с условным номером марки 4, полуспокойная)

Таблица 7 – Углеродистые стали обыкновенного качества

Группы	Гарантируемые свойства в состоянии поставки	Марки
А	Механические свойства	Ст0, Ст1кп, Ст1пс, Ст1сп, Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп, Ст5сп, Ст5Гпс, Ст6пс
Б	Химический состав	БСт0, БСт1кп, БСт1сп, БСт2кп, БСт2пс, БСт3кп, БСт3пс, БСт3сп, БСт3Гпс, БСт4кп, БСт4пс, БСт6пс, БСт6сп
В	Механические свойства и химический состав	ВСт1кп, ВСт1пс, ВСт1сп, ВСт2кп, ВСт2пс, ВСт2сп, ВСт3кп, ВСт3пс, ВСт3сп, ВСт3Гпс, ВСт4кп, ВСт4пс, ВСт4сп, ВСт5пс, ВСт5сп

Таблица 8 – Примерное назначение и механические свойства углеродистой стали обыкновенного качества

Марка	Предел прочности и σ_v , МПа	Относительное удлинение δ , %	Назначение
1	2	3	4
Ст0	310	20	Неответственные строительные конструкции, шайбы, прокладки, кожухи.
Ст1	310-400	32	Малонагруженные детали металлоконструкций – заклёпки, шайбы, кожухи.
Ст2	330-420	20	Детали металлоконструкций – рамы, оси, ключи, валики, цементируемые детали.
Ст3	370-470	24	Рамы тележки, цементируемые и цианируемые детали, от которых требуется высокая твёрдость поверхности и невысокая прочность сердцевины, крюки кранов, кольца, цилиндры, шатуны, крышки
Ст4	410-520	22	Валы, оси, тяги, пальцы, крюки, болты, гайки, детали при невысоких требованиях к прочности

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4
Ст5	500-640	17	Валы, оси, звёздочки, крепёжные детали, зубчатые колёса, шатуны, детали при повышенных требованиях к прочности
Ст6	600	12	Валы, оси, бойки молотов, шпиндели, муфты кулачковые и фрикционные, цепи, детали с высокой прочностью

Стали углеродистые качественные конструкционные. От сталей обыкновенного качества они отличаются меньшим содержанием серы, фосфора и других вредных примесей, более узкими пределами содержания углерода в каждой марке и большинстве случаев более высоким содержанием кремния (Si) и марганца (Mn).

Сталь маркируют двузначными числами, которые обозначают содержание углерода в сотых долях процента, и поставляют с гарантированными показателями химического состава и механических свойств. По степени раскисления сталь подразделяют на кипящую (кп), полуспокойную (пс), спокойную (без указания индекса). Буква Г в марках сталей указывает на повышенное содержание марганца (до 1%).

Углеродистые качественные конструкционные стали обозначают полным словом «сталь» с последующими цифрами, указывающими на среднее содержание углерода. Например, Сталь45 – это углеродистая качественная конструкционная сталь, с содержанием углерода 0,45%.

При перечислении марок слово «сталь» может быть пропущено. Например: сталь10, 20, 30, 45 и т.д.

Сталь углеродистую качественную поставляют катаной, кованой, калиброванной, круглой с особой отделкой поверхности (серебрянка).

Таблица 9 – Примерное назначение и механические свойства углеродистой качественной конструкционной стали

Марка	Предел прочности при растяжении σ_B , МПа	Относительное удлинение δ , %	Твёрдость, НВ	Назначение
1	2	3	4	5
08	330	33	131	Малонагруженные детали: звёздочки, ролики, оси, подвергающиеся цементации
10	340	31	143	
15	380	27	149	
20	420	25	163	

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5
25	460	23	170	Средненагруженные детали: шестерни, валы, оси
30	500	21	179	
35	540	20	207	
40	580	19	217	Средненагруженные детали: шатуны, валы, шестерни, пальцы
45	610	16	229	
50	640	14	241	Высоконагруженные детали: шестерни, муфты, пружинные кольца, пружины
55	660	13	255	
60	690	12	255	Пружины, рессоры, эксцентрики и другие детали, работающие в условиях трения
65	710	10	255	
70	730	9	269	
75	1100	7	285	
80	1100	6	285	
85	1150	6	302	
60Г	710	11	269	
70Г	800	8	285	

Стали углеродистые специального назначения. К этой группе относят стали с хорошей и повышенной обрабатываемостью резанием (автоматные стали). Они предназначены в основном для изготовления деталей массового производства. При обработке таких сталей на станках-автоматах образуется короткая и мелкая стружка, снижается расход режущего инструмента и уменьшается шероховатость обработанных поверхностей.

Автоматные стали с повышенным содержанием серы и фосфора имеют хорошую обрабатываемость. Обрабатываемость резанием улучшают также введением в стали технологических добавок селена, свинца, теллура.

Автоматные стали маркируют буквой А и цифрами, показывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента. Применяют следующие марки автоматной стали: А12, А20, А30, А40Г.

Из стали А12 изготавливают неответственные детали, из стали других марок - более ответственные детали, работающие при значительных напряжениях и повышенных давлениях. Сортамент автоматной стали предусматривает изготовление сортового проката в виде прутков круглого, квадратного и шестигранного сечений. Эти стали не применяют для изготовления сварных конструкций.

Стали листовые для котлов и сосудов, работающих под давлением, применяют для изготовления паровых котлов, судовых топок, камер горения газовых турбин и других деталей. Они должны работать при переменных давлениях и температуре до 450⁰С. Кроме того, котельная сталь должна хорошо свариваться. Для получения таких свойств в углеродистую сталь вводят технологическую добавку (титан) и дополнительно раскисляют ее алюминием.

Выпускают следующие марки углеродистой котельной стали 12К, 15К, 16К, 18К, 20К, 22К. Эти стали поставляют в виде листов с толщиной до 200 мм и поковок в состоянии после нормализации и отпуска.

Таблица 10 – Примерное назначение конструкционной стали повышенной и высокой обрабатываемости резанием

Марка	$\sigma_{в}$, МПа	δ , %	Ψ , %	НВ	Области применения
A12	410	22	34	160	Оси, валики, втулки, шестерни, винты, болты и другие малонагруженные детали с высокими требованиями к качеству поверхности и точности размеров
A20	450	20	30	168	Мелкие детали машин и приборов с высокими требованиями к качеству поверхности и точности размеров
A30	510	15	25	185	Оси, валики, винты, болты, гайки, кольца, шестерни и другие детали, работающие при высоких нагрузках
A40Г	590	14	20	207	Детали сложной формы с повышенными требованиями к качеству поверхности и точности размеров, работающие на высоких режимах

Порядок выполнения работы.

1. Изучить, зарисовать микроструктуру исследуемых сталей; указать стрелками структурные составляющие; дать подробную характеристику структурных составляющих.

2. Определить в исследуемых сталях примерное содержание углерода.

3. Начертить часть диаграммы железо-углерод, которая относится к области сталей; указать на диаграмме исследуемые стали, проведя вертикальные линии.

4. По содержанию углерода определить марку и механические свойства исследуемой стали, пользуясь графиком зависимости свойств стали от содержания углерода или справочными данными. Указать область использования.

5. Сделать выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое сталь?
2. Какую микроструктуру могут иметь углеродистые стали?
3. Что такое перлит?
4. Что такое эвтектоидная сталь?
5. Как выполняется маркировка углеродистых конструкционных сталей обыкновенного качества?
6. Укажите применение углеродистых конструкционных качественных сталей.
7. Как выполняется маркировка котельных сталей? Приведите примеры марок.

5 Лабораторная работа №5. Исследование сплавов на основе цветных металлов

Цель работы: Изучить строение и свойства сплавов на основе цветных металлов.

Оборудование: металлографический микроскоп, комплект микрошлифов сплавов на основе цветных металлов, фотографии микроструктур изучаемых сплавов.

Общие сведения

Все металлы могут быть разделены на две большие группы:

Черные металлы, которые имеют темно-серый цвет, большую плотность, высокую температуру плавления, относительно высокую твердость и во многих случаях обладают полиморфизмом. Наиболее типичным металлом этой группы является железо. К этой же группе относят кобальт, никель, марганец, а также тугоплавкие металлы, урановые металлы, редкоземельные и щелочноземельные металлы.

Цветные металлы чаще всего имеют характерную окраску: красную, желтую, белую. Они обладают большой пластичностью, малой твердостью, относительно низкой температурой плавления.

Цветные металлы подразделяются на следующие группы:

1. Легкие металлы – бериллий, магний, алюминий, обладающие малой плотностью.
2. Легкоплавкие металлы – цинк, олово, свинец, кадмий, висмут и др.
3. Благородные металлы – серебро, золото, металлы платиновой группы. Обладают высокой устойчивостью против коррозии.

В данной лабораторной работе рассматриваются важнейшие технические материалы на базе цветных металлов. Такими материалами являются алюминиевые и медные сплавы.

Медь и ее сплавы

Медь – это металл с плотностью 8940 кг/м³. Кристаллическая решетка ГЦК. Температура плавления 1083 °С. Характерными свойствами меди является ее высокая теплопроводность и электропроводность ($\rho = 0,0178 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$), поэтому медь находит широкое применение в электротехнике. Технически чистая медь маркируется М00 (99,99 % Cu), М0 (99,95 % Cu), М1 (99,90 % Cu) и т. д.

Механические свойства меди относительно низки. Так, в литом состоянии $\sigma_b = 150 - 200 \text{ МПа}$, $\delta = 15 - 25 \%$. Литейные свойства и обрабатываемость резанием плохие. Поэтому применять медь в качестве конструкционного материала нецелесообразно. Повышение механических свойств достигается созданием разных сплавов на медной основе.

Различают две группы медных сплавов: латуни и бронзы.

Латуни (ГОСТ 15527-2004)

Латунями называют двойные или многокомпонентные сплавы на основе меди, в которых основным легирующим элементом является цинк.

Практическое применение имеют медные сплавы с содержанием цинка до 45 %. Диаграмма состояния Cu-Zn приведена на рисунке 12.

Медь с цинком образует α -твердый раствор цинка в меди с максимальной растворимостью цинка 39 %, а также высокотвердые и хрупкие фазы β , γ , ε , которые являются твердыми растворами на базе электронных соединений: β - CuZn, γ - Cu₅Zn; ε - CuZn₃.

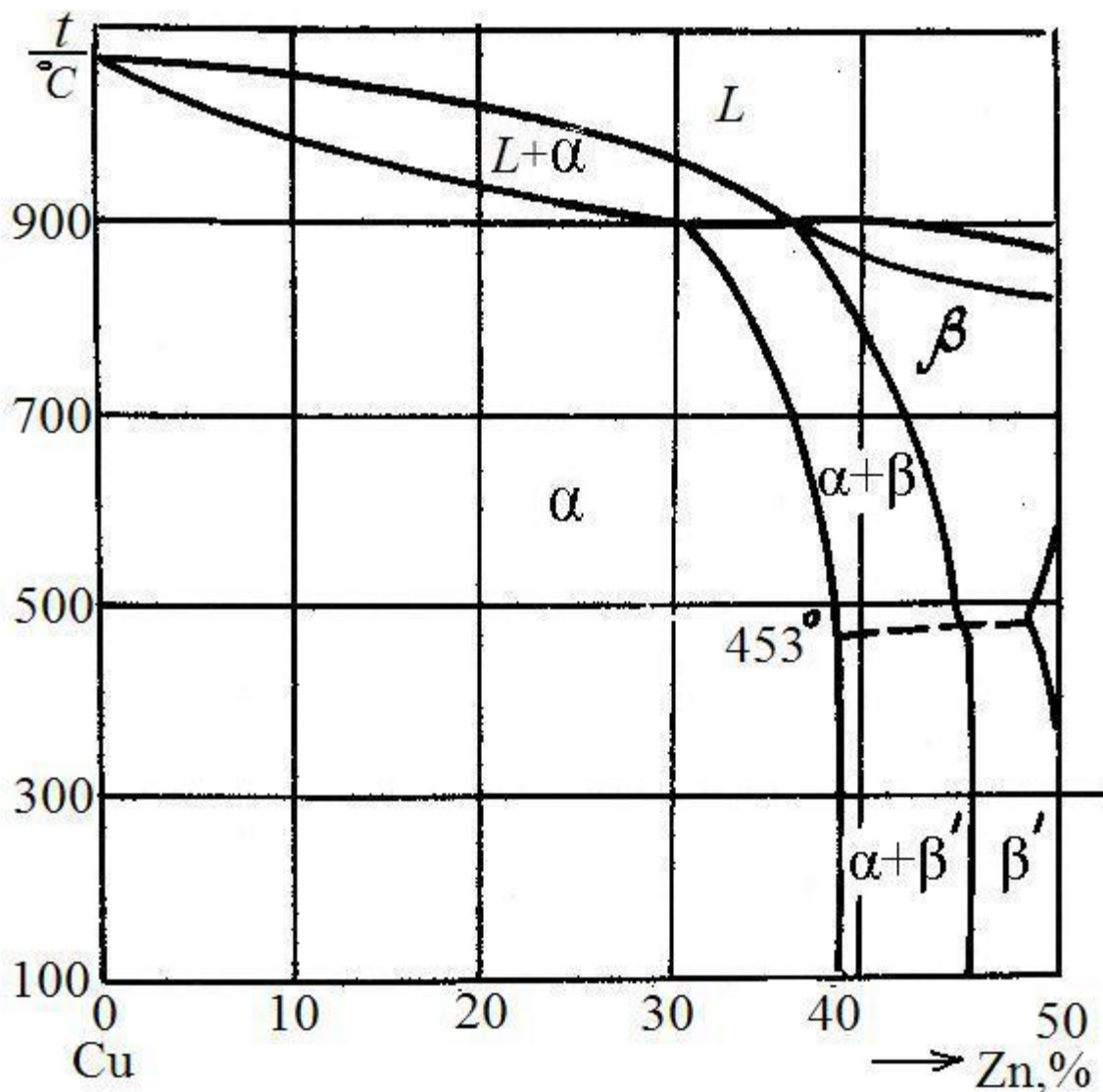


Рисунок 12 - Диаграмма состояния Cu – Zn

Однофазные латуни (до 39 % Zn) находят применение для изготовления деталей деформированием в холодном состоянии, так как они имеют хорошую пластичность. Из них изготавливаются ленты, радиаторные трубки, проволока, гильзы патронов.

Двухфазные $\alpha + \beta'$ -латуни, содержащие цинк от 39 до 45 %, используются для изготовления деталей из отливок обработкой резанием или деформированием при температуре выше 500 °С, так как эти латуни имеют низкую пластичность в холодном состоянии. Нагрев приводит к превращению β' - фазы в β - фазу с неупорядоченным расположением атомов и более высокой пластичностью.

Из двухфазных $\alpha + \beta'$ - латуней изготавливают листы, прутки и другие заготовки, из которых последующей механической обработкой получают детали.

При содержании цинка более 45 % в латуни присутствует только β' - твердый раствор. β' - латуни обладают максимальной прочностью ($\sigma_b = 420$ МПа), но практического применения не находят ввиду очень низкой пластичности ($\delta = 7$ %).

Увеличение содержания цинка повышает прочность (до 45 % Zn) и пластичность (до 37 % Zn), удешевляет латуни, улучшает их обрабатываемость резанием, способность прирабатываться и противостоять износу. Вместе с тем, уменьшается теплопроводность и электропроводность, которые составляют 20 - 50 % от характеристики меди.

Латуни маркируются буквой Л и последующим числом, показывающим содержание меди в процентах, например, в сплаве Л62 имеется 62 % Cu и 38 % Zn. При наличии других элементов после буквы Л ставятся буквы, являющиеся начальной буквой элементов (О – олово, А – алюминий, К – кремний, С – свинец, Н – никель, Мц – марганец, Ж – железо). Количество этих элементов обозначается цифрами.

Присутствующие в латуни элементы повышают твердость и снижают пластичность латуней, особенно однофазных. Двухфазные латуни нередко легируют Al, Fe, Ni, Si, Mn, Pb и другими элементами. Такие латуни называют специальными или многокомпонентными.

Так, свинец облегчает обрабатываемость резанием и улучшает антифрикционные свойства (ЛС 59-1). Алюминий повышает прочность, твердость и коррозионную стойкость латуни (ЛА 77-2). Кремний улучшает жидкотекучесть, свариваемость и способность к деформациям (ЛК 80-3).

Никель повышает растворимость цинка в меди и улучшает механические свойства (ЛН 65-5). Олово повышает сопротивление коррозии в морской воде (ЛО 70-1 – морская латунь).

Все латуни по технологическому признаку подразделяются на деформируемые, из которых изготавливают листы, ленту, трубы, проволоку (ЛАЖ 60-1-1, ЛЖМц 59-1-1, ЛС 59-1) и литейные для фасонного литья (ЛК 80-3Л, ЛАЖМц 66-6-3-2, ЛКС 80-3-3), из которых изготавливают детали в судостроении и общем машиностроении.

На рис. 16 приведена микроструктура латуни ЛС 59-1. Эта латунь содержит 59 % Cu, 1 % Pb и 40 % Zn. В соответствии с содержанием цинка латунь ЛС 59-1 относится к двухфазным. Она содержит в структуре α -твердый раствор и β' -твердый раствор и называется автоматной латунью, так как хорошо обрабатывается резанием, чему способствует присутствующий свинец. Механические свойства латуни ЛС 59-1: в мягком состоянии (после отжига) – $\sigma_b = 400$ МПа; $\delta = 45$ %; в твердом состоянии (после наклепа) – $\sigma_b = 650$ МПа, $\delta = 5$ %.

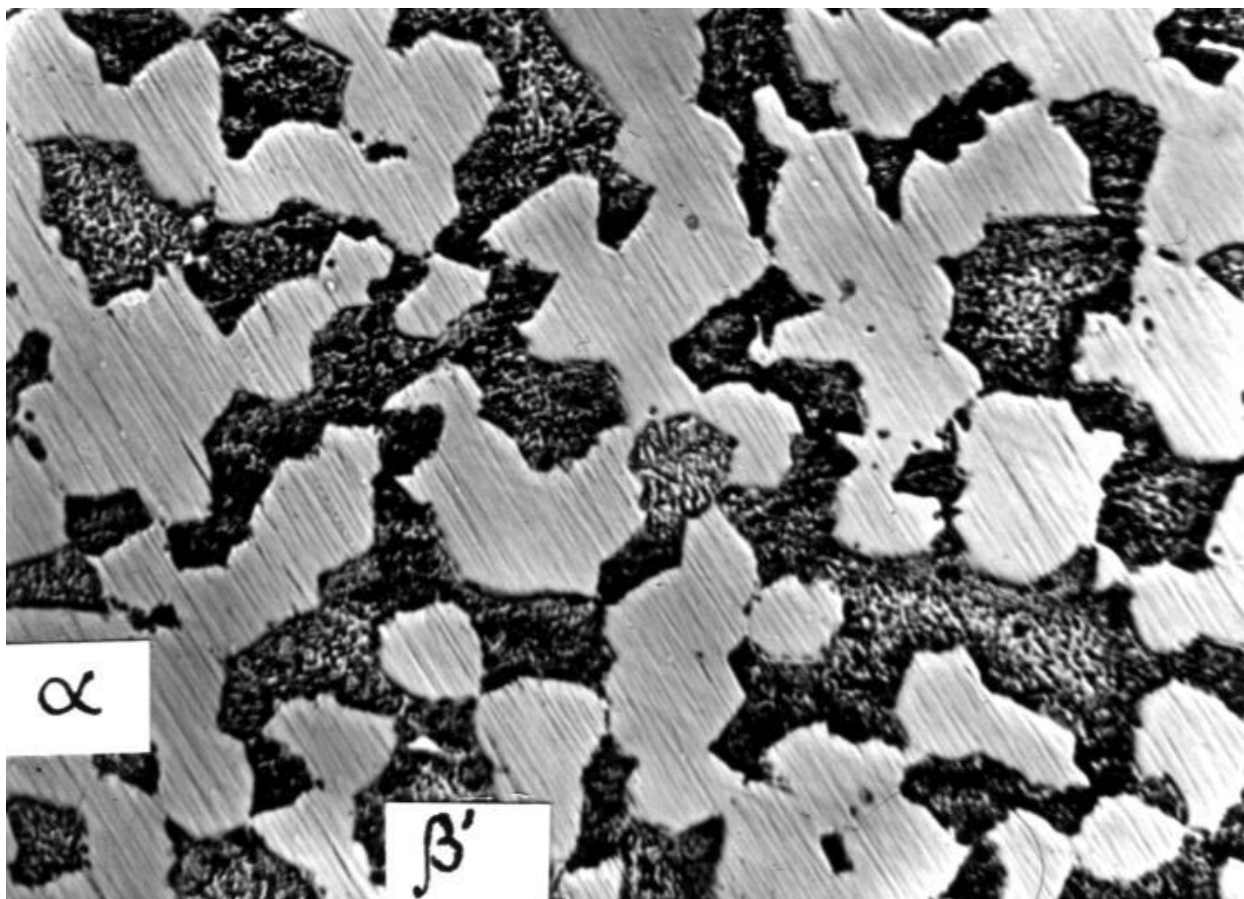


Рисунок 13 – Микроструктура латуни ЛС 59-1

Бронзы

Бронзами называют сплавы меди с различными элементами, в числе которых, но только наряду с другими, может быть и цинк. Название бронзам дают по основным элементам. Так, их подразделяют на оловянные, свинцовые, алюминиевые, кремнистые, бериллиевые и др.

Бронзы маркируются буквами Бр (бронза), за которыми следуют буквы, а затем цифры, обозначающие название и содержание в процентах легирующих элементов. Например, Бр.О4Ц2С2,5 содержит 4 % Sn, 2 % Zn, 2,5 % Pb. Сплавы меди с никелем имеют названия: мельхиоры; куниали; нейзильберы.

Оловянистые бронзы (ГОСТ 5017-2006 и ГОСТ 613-79)

При сплавлении меди с оловом образуются твердые растворы и электронные соединения аналогично тому, как это имело место в сплавах Cu-Zn. На рис. 13. приведена левая часть диаграммы состояния Cu-Sn. В твердом состоянии в бронзах имеются фазы: α-твердый раствор олова в меди; β-твердый раствор на базе электронного соединения CuSn, δ-электронное соединение Cu₃₁Sn₈, γ-твердый раствор на базе химического соединения Cu₃Sn (ε-соединение).

Система Cu-Sn имеет ряд перетектических превращений и два эвтектоидных превращения. При 350 °С δ-фаза (Cu₃₁Sn₈) должна распадаться на α-твердый раствор и ε-фазу (Cu₃Sn). В реальных условиях охлаждения бронза состоит из фаз α и δ. В практике применяют только сплавы с

содержанием до 10-12 %Sn . Сплавы, более богатые оловом, очень хрупки (рис.14). Бронзы, содержащие до 4-5 %Sn, и после деформаций и отжига имеют в структуре в основном α -твердый раствор олова в меди. А после литья даже такие низколегированные бронзы в результате ликвации могут иметь включения эвтектоида $\alpha + \text{Cu}_3\text{Sn}$).

При большем содержаний олова в структуре бронз в равновесном состоянии наряду с α -твердым раствором присутствует эвтектид $\alpha + \text{Cu}_3\text{Sn}$. При этом с увеличением количества олова предел прочности возрастает, но значительное количество хрупкой δ -фазы приводит к снижению прочности при большом содержания олова.

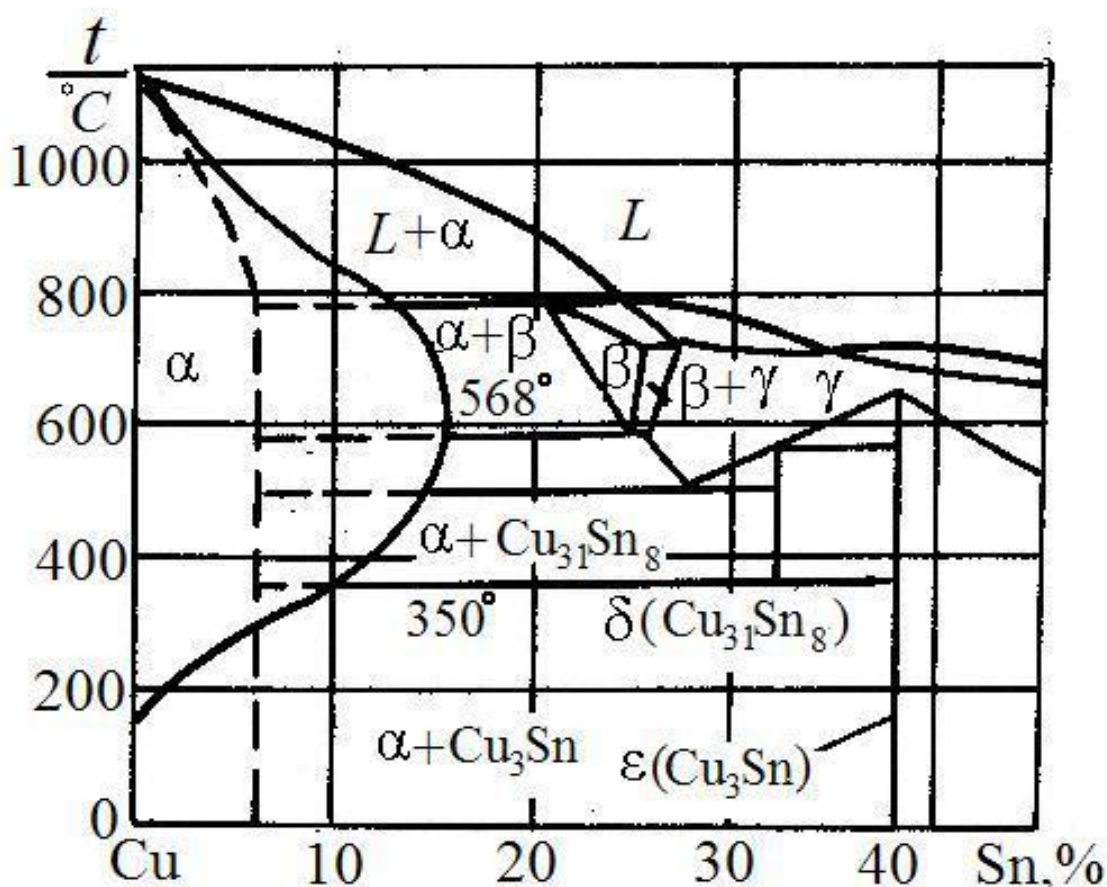


Рисунок 14 – Диаграмма состояния Cu – Sn

Оловянистые бронзы обычно легируют Zn, Fe, P, Pb, Ni и другими элементами. Цинк улучшает технологические свойства и удешевляет бронзу. Фосфор улучшает литейные качества, повышает твердость, прочность, упругие и антифрикционные свойства. Никель повышает механические свойства, коррозионную стойкость и плотность отливок. Железо измельчает зерно, но ухудшает технологические свойства. Свинец снижает механические свойства, но повышает плотность отливок, улучшает обрабатываемость резанием и антифрикционные свойства.

Различают деформируемые и литейные бронзы. Из деформируемых бронз, содержащих менее 5% Sn, изготавливают прутки, трубки, ленту, проволоку. Литейные бронзы применяют, главным образом, для изготовления

пароводяной аппаратуры, благодаря их высокой химической стойкости, и для отливок антифрикционных деталей типа втулок, венцов, червячных колес, вкладышей подшипников скольжения.

На рисунке 15 приведена микроструктура оловянистой бронзы Бр О10.



Рисунок 15 – Микроструктура бронзы Бр О10

Эта бронза содержит α -твердый раствор и включение твердого эвтектоида ($\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$), обеспечивающего высокую стойкость против истирания. Поэтому такая бронза с 10 % Sn является лучшим антифрикционным материалом и применяется как подшипниковые сплавы. Эта бронза имеет следующие механические свойства: $\sigma_b = 250$ МПа; $\delta = 5$ %.

Высокие литейные свойства бронзы связаны с малой усадкой при кристаллизации (менее 1% у оловянистой бронзы, у сталей более 2%), что позволяет получать точные отливки, в том числе художественное литье (статуи, барельефы, медали).

Свинцовые бронзы (ГОСТ 493-79)

Свинец не растворяется в меди, поэтому сплавы после кристаллизации состоят из кристаллов меди и включений свинца, располагающиеся по границам зерен меди (рис.16) или в междендритном пространстве. Такая структура бронзы обеспечивает высокие антифрикционные свойства, так как свинец играет роль твердой смазки. Это предопределяет широкое применение свинцовистых бронз для изготовления вкладышей подшипников скольжения, работающих с большими скоростями и при повышенных давлениях. По сравнению с оловянистыми бронзами теплопроводность бронзы Бр С30 в 4 раза больше, поэтому она хорошо отводит теплоту, возникающую при трении.

Из-за невысоких механических свойств ($\sigma_b = 60$ МПа, $\delta = 4$ %) бронзу Бр С30 наплавляют тонким слоем на стальные ленты (трубы). Вследствие

большой разницы в удельной плотности меди (8,94 Мг/м³) и свинца (11,34 Мг/м³) и широкого интервала кристаллизации бронза Бр С30 склонна к ликвации (неоднородности химического состава) по плотности. Уменьшить ликвацию можно высокой скоростью охлаждения отливок. Нередко свинцовые бронзы легируют никелем и оловом, которые растворяясь в меди, повышают механические свойства ($\sigma_{\text{в}} = 150\text{-}200$ МПа, $\delta = 3\text{-}8$ %). Например, Бр О10С10, Бр О10С2НЗ.

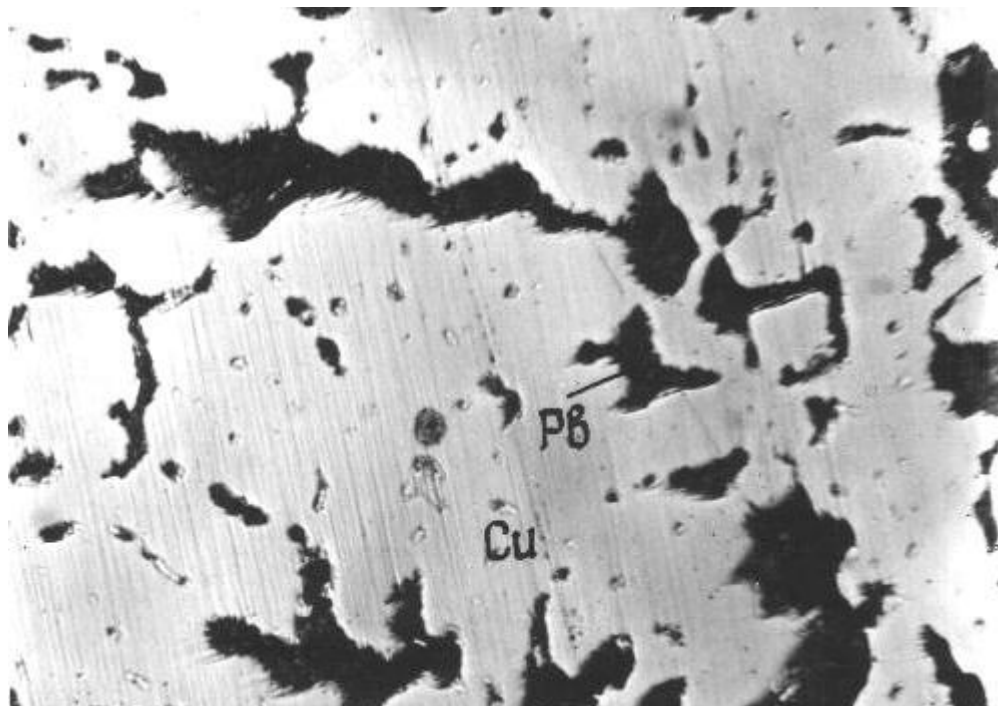


Рисунок 16 – Микроструктура свинцовой бронзы Бр С30

Алюминий и его сплавы

Алюминий – легкий металл с плотностью 2700 кг/м³. Кристаллическая решетка ГЦК. Температура плавления 660 °С. Алюминий хорошо проводит тепло и электричество. Химически активен, но образующаяся плотная пленка Al₂O₃ предохраняет его от коррозии. Технический алюминий не применяется как конструкционный материал из-за низкой прочности. Однако высокая пластичность, коррозионная стойкость и электропроводность позволяют использовать его для получения деталей глубокой штамповкой, в качестве проводникового материала, а также в быту для транспортировки и хранения продуктов питания.

Чистый алюминий имеет низкие механические свойства, плохую обрабатываемость резанием, неудовлетворительные литейные качества (большую усадку затвердевания при кристаллизации – до 6 %). В связи с этим большое применение находят сплавы на основе алюминия, в которых добавление различных элементов позволяет при сохранении достоинств алюминия получить другие более высокие свойства.

Технические алюминиевые сплавы подразделяют на две группы: применяемые в деформированном виде (прессованном, катаном, ковном) и в литом.

Деформируемые сплавы подразделяют на упрочняемые и не упрочняемые термической обработкой. Границей между этими сплавами является предел насыщения твердого раствора при комнатной температуре.

К деформируемым, не упрочняемым термической обработкой сплавам относятся сплавы алюминия с марганцем (АМц) и магнием (АМг). Эти сплавы обладают высокой пластичностью, хорошей свариваемостью и высокой коррозионной стойкостью. Упрочнение таких сплавов достигается за счет образования твердых растворов Mn и Mg в Al или за счет наклепа при деформировании. Поставляются в виде листового проката, а также прессованного материала.

К деформируемым, упрочняемым термической обработкой, относятся сплавы нормальной прочности, высокопрочные и другие. Типичные представители сплавов – дуралюмины (маркируют буквой Д). Они характеризуются хорошим сочетанием прочности и пластичности и относятся к сплавам системы Al-Cu-Mg, в которые дополнительно вводят марганец, повышающий коррозионную стойкость и улучшающий механические свойства. Перечисленные компоненты образуют ряд растворимых соединений, вызывающих старение, таких как CuAl_2 , Mg_2Si , Al_2CuMg , $\text{Al}_{12}\text{Mn}_2\text{Cu}$ и др. Структура дуралюмина в отожженном состоянии состоит из твердого раствора и вторичных включений указанных интерметаллических соединений.

Термическая обработка этих сплавов заключается в закалке с $500\text{ }^\circ\text{C}$ в воде с последующим естественным (в течение 5 - 7 дней) или искусственным старением, которым предшествует 2 - 3 часовой инкубационный период. В течение этого времени сплав сохраняет высокую пластичность.

Так как коррозионная стойкость дуралюмина невысокая, то для защиты от коррозии его покрывают (плакируют) чистым алюминием.

Дуралюмины находят широкое применение в авиастроении, автомобилестроении, вагоностроении, строительстве. Прочность таких сплавов может достигать 500 - 600 МПа при относительном удлинении 8 - 12 %.

В настоящей работе более подробно изучаются литейные алюминиевые сплавы с большим содержанием кремния – силумины (ГОСТ 2685-75). Эти сплавы обладают высокой жидкотекучестью, сравнительно небольшой усадкой, малой склонностью к образованию горячих трещин и пористости в сочетании с хорошими механическими свойствами (особенно после модифицирования). Причем оптимальными литейными свойствами обладают сплавы с минимальной температурой плавления и минимальным температурным интервалом кристаллизации, содержащие 12-13 % Si (рисунок 17).

Обычный силумин по структуре является заэвтектическим сплавом. Структура такого сплава состоит из игольчатой грубой эвтектики ($\alpha+\text{Si}$) и первичных кристаллов кремния (рисунок 18 а). Кремний при кристаллизации эвтектики выделяется в виде грубых хрупких кристаллов игольчатой формы,

которые играют роль внутренних надразов. Такой сплав обладает низкими механическими свойствами: $\sigma_b = 120$ МПа; $\delta = 2$ %.

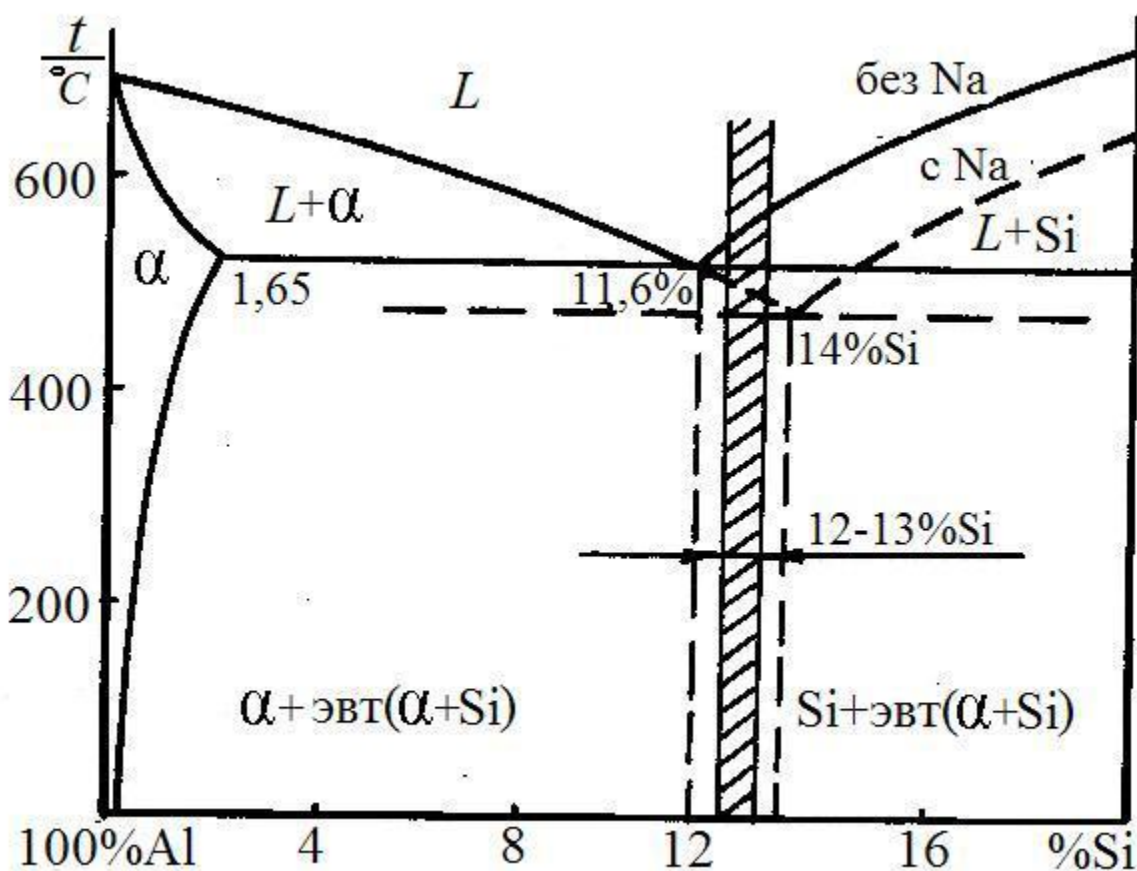


Рисунок 17 – Диаграмма состояния Al – Si

Для повышения механических свойств силумины модифицируют натрием (0,05-0,08 %) путем присадки к расплаву смеси солей 67 % NaF и 33 % NaCl. В присутствии натрия происходит смещение на диаграмме состояния (рис.14) точки эвтектики вправо и в область более низких температур, поэтому заэвтектический сплав (12 - 13 % Si) становится доэвтектическим, происходит смещение линии диаграммы состояния (рисунок 20) и заэвтектический сплав (12 - 13 % Si) становится доэвтектическим, так как эвтектика теперь образуется при 14 %Si. В этом случае в структуре сплава вместо избыточного кремния появляются кристаллы пластичного α - раствора кремния в алюминии (рисунок 18 б). Эвтектика приобретает более тонкое строение и состоит из α - твердого раствора и мелких кристаллов кремния, потому что в процессе затвердевания кристаллы кремния обволакиваются пленкой силицида натрия, которая затрудняет их рост.

Изменения в структуре приводят к повышению механических свойств: $\sigma_b = 200$ МПа; $\delta = 12$ %. Одновременно улучшаются и литейные свойства сплавов (возрастает жидкотекучесть, повышается плотность отливок и т.д.).

Литейные алюминиевые сплавы маркируются буквами АЛ: А – означает, что сплав алюминиевый, Л – литейный; цифра после буквенного обозначения – порядковый номер сплава.

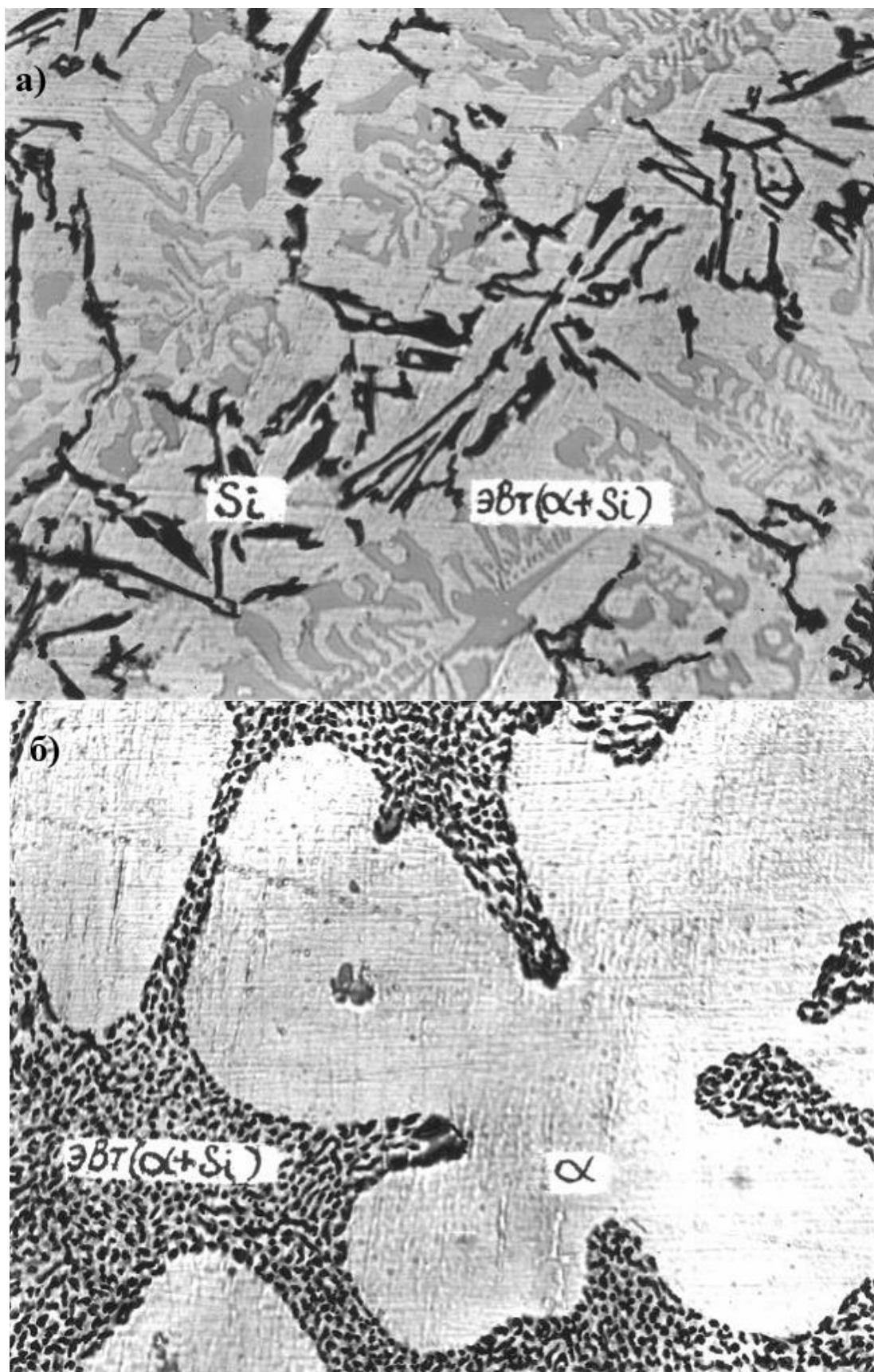


Рисунок 18 – Микроструктура силумина

а) до модифицирования (заэвтектический сплав); б) после модифицирования (доэвтектический сплав)

Модифицированные силумины широко применяются во всех областях машиностроения. Их используют для изготовления картеров и блоков двигателей, корпусов компрессоров, деталей авиационных двигателей, корпусов приборов и др.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с содержанием настоящих методических указаний, обратив особое внимание на микроструктуры и свойства изучаемых цветных сплавов.

2. Провести металлографический анализ цветных сплавов. Зарисовать в тетради для лабораторных работ схемы изучаемых структур. Обозначить отдельные составляющие.

3. Правильность зарисовки макроструктур проверить у лаборанта.

4. Пользуясь методическими указаниями к лабораторной работе, выписать в отчет основные свойства изучаемых сплавов. Проанализировать зависимость между структурой и свойствами.

ПЛАН ОТЧЕТА

Письменный отчет по работе должен включать:

1. Наименование и цель работы.
2. Схемы изучаемых микроструктур сплавов на основе алюминия, меди, титана.
3. Основные графики и схемы, приведённые в методических указаниях.
4. Основные свойства изучаемых сплавов.
5. Анализ зависимости между структурой и свойствами изучаемых сплавов

ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ

1. Какие сплавы относятся к цветным?
2. Какие цветные сплавы получали наибольшее применение в народном хозяйстве?
3. Алюминий, его свойства и применение.
4. Классификация алюминиевых сплавов.
5. Силумин: состав; структура; свойства и применение.
6. Медь: ее свойства и применение.
7. Латунь: состав; структура; маркировка; свойства и применение.
8. Бронзы: состав; структура; маркировка.
9. Влияние легирующих элементов на свойства бронз.

Список использованных источников

- 1 Адаскин А.М. , Зуев В.М. Материаловедение и технология материалов: учебное пособие. – М.: ФОРУМ, 2013, С.336.
2. Вологжанина С.А, Иголкин А.Ф. Материаловедение. – М.: Академия, 2020, С.496.
- 3 Власов В.С. Металловедение: учебное пособие. – М.: Альфа-М, НИЦ ИНФРА-М, 2012, С.336.
- 4 Пасютина О.В. Материаловедение. Минск, РИПО, 2020, С.277
- 5 Земский Ю.П. Материаловедение: учебное пособие. – Санкт-Петербург: Лань, 2019, С.188.