

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Казанский государственный аграрный университет»
Институт механизации и технического сервиса
Кафедра общетехнических дисциплин

**Методические указания для лабораторных работ
по
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЮ
(часть 1)**

Методические указания для студентов очного и
заочного обучения по направлениям подготовки:
35.03.06 - «Агроинженерия»,
23.03.03 - «Эксплуатация транспортно -
технологических машин и комплексов»,
44.03.04 - «Профессиональное обучение»,
23.05.01 - «Наземные транспортно-технологические средства»

УДК 631.3.1

ББК 40.72

Составители: д.т.н., профессор Мингалеев Н.З.,

к.т.н., доцент Пикмуллин Г.В.,

к.т.н., доцент Мустафин А.А.

Рецензенты:

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Тракторы, автомобили и энергетические установки» ФГБОУ ВО Казанский ГАУ Синицкий С.А.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплогазовентиляция» Казанского государственного архитектурно-строительного университета Давыдов А.П.

Методические указания для лабораторных работ по материаловедению (часть 1) утверждены и рекомендованы к печати на заседании кафедры общепрофессиональных дисциплин Казанского ГАУ 18 ноября 2019 года, протокол №5 и на заседании методической комиссии Института механизации и технического сервиса Казанского ГАУ 11 декабря 2019 года, протокол №3.

Н.З.Мингалеев. Методические указания для лабораторных работ по материаловедению (часть 1). / Н.З.Мингалеев, Г.В. Пикмуллин, А.А. Мустафин. Казань: КГАУ, 2019. - 32 с.

Методические указания предназначены для студентов, в учебный план которых включена дисциплина «Материаловедение и технология конструкционных материалов», способствуют формированию общепрофессиональных и профессиональных компетенций для направлений подготовки: 35.03.06 «Агроинженерия», 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», 44.03.04 «Профессиональное обучение» и специальности 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства».

УДК 631.3.1

ББК 40.72

© Казанский государственный аграрный университет, 2019г.

ВВЕДЕНИЕ

Материаловедение — наука, изучающая металлические и неметаллические материалы, применяемые в технике, закономерности зависимости их свойств от химического состава, структуры, способов обработки и условий эксплуатации.

Целью дисциплины «Материаловедение» является дать основные знания о строении, физических, механических и технологических свойствах материалов; сформировать у студентов представления об основных тенденциях и направлениях развития современного теоретического и прикладного материаловедения, закономерностях формирования и управления структурой и свойствами материалов при механическом, термическом, радиационном и других видах воздействия на материал, о механизмах фазовых и структурных превращений и их зависимости от условий тепловой обработки. Сделать будущего бакалавра и специалиста компетентным в выборе машиностроительных материалов, термической обработке готовых изделий для придания им определенных эксплуатационных свойств.

Задачи дисциплины:

1) изучение:

- особенностей процессов получения различных материалов;
- свойств и строения металлов и сплавов;
- общепринятых современных классификаций материалов;
- технологий производства конкретных видов материалов, технических требований к ним, обеспечения их свойств и технического применения;
- способов обеспечения свойств материалов различными методами;
- методов получения заготовок с заранее заданными свойствами;
- основных марок металлических и неметаллических материалов;
- влияния производственных и эксплуатационных факторов на свойства материалов;

2) формирование навыков самостоятельной работы.

Лабораторный практикум, семинарские занятия посвящены практическому изучению взаимосвязи состава, структуры и свойств материалов, видов термической и химико-термической обработки, методов контроля качества, техники безопасности и обеспечения экологической чистоты производства.

Самостоятельная работа студентов (домашние задания, рефераты и др.) должна обеспечить выработку навыков самостоятельного творческого подхода к решению научно-исследовательских и технических задач, дополнительную проработку основных положений дисциплины, приобретение навыков работы с научно-технической литературой.

Лабораторная работа № 1

Тема: ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКИХ АНАЛИЗОВ

Цель работы. Приобретение навыков в определении твердости металлов на твердомере типа ТШ (прибор Бринелля) и ТК (прибор Роквелла). Изучение механических свойств.

Задания.

1. Ознакомиться с устройством и работой лабораторных печей, термопар и пирометров.
2. Изучить устройство твердомеров (Бринелля и Роквелла).
3. Определить твердость предложенных образцов материалов (стали марок: 10, 45, У8, Р18).
4. По полученным результатам оформить отчет и сделать выводы.

Приборы, материалы и инструменты. Для выполнения работы по определению твердости металлов необходимы:

- твердомеры Бринелля и Роквелла;
- лупа для измерения отпечатков;
- микроскоп по Бринеллю;
- три комплекта образцов отожженной стали марок: 10, 45, У8, Р18.

Методика проведения эксперимента. Работу выполняют три бригады по 3 - 5 человек. Две бригады работают на твердомерах Роквелла (с алмазным конусом и со стальным закаленным шариком), одна бригада—на твердомере Бринелля. Затем бригады меняются местами.

Студентам выдаются образцы сталей для измерения твердости на твердомере Бринелля и Роквелла.

Теория.

В основу термического анализа положен метод построения кривых нагревания или охлаждения в координатах "температура—время". Так как фазовые превращения в металлах и сплавах сопровождаются тепловыми эффектами, на кривых охлаждения можно наблюдать либо остановки (фазовые изменения происходят при постоянной температуре), либо перегибы за счет изменения скорости охлаждения (фазовые превращения протекают в интервале температур).

Для проведения термических анализов металлов и сплавов необходимо знать устройство и принцип действия применяемого оборудования. В качестве оборудования для нагрева применяются печи, обычно электрические. По методу превращения электрической энергии в тепловую электрические печи подразделяются на печи сопротивления (нагрев по закону Джоуля), дуговые и катодные.

Лабораторные печи сопротивления в зависимости от формы рабочего пространства делятся на трубчатые, тигельные или шахтные и муфельные. Независимо от размера и материала нагревателей эти печи имеют много общего в своей конструкции.

Трубчатая электрическая печь типа Т- 40.60 предназначена для термической обработки металлов и сплавов при температуре до 1250°С. Печь состоит из кожуха, изготовленного из листовой стали, двух торцевых крышек и стоек печи. Внутри кожуха на фарфоровой трубке помещен нагревательный элемент из сплава ЭИ-626, помещенный в шамотную трубу. Пространство между кожухом и трубой заполнено шамотной крошкой. Регулирование температуры осуществляется терморегулятором, а контроль - термопарой. Электropечь укреплена на двух стойках и может устанавливаться под любым углом относительно своего горизонтального положения. Загрузку ее можно осуществлять с обеих сторон через торцевые отверстия.

Простая тигельная печь применяется для получения небольшого количества сплавов, их прокаливания и т.д. Конструктивное отличие ее от трубчатой печи состоит в том, что рабочее пространство печи образует шамотный стакан, внутри которого находится тигель.

Шахтные электрические печи предназначены в основном для работ с легкоплавкими сплавами. Они изготавливаются, как правило, с шахтой небольшой емкости. Монтаж шахтной печи прост: на шамотный стакан, служащий шахтой печи, наматывается в качестве нагревателя проволока или лента из нихрома и обмазывается специальной огнеупорной замазкой. В таком виде нагревательный стакан устанавливается в металлический кожух на асбестовом основании. Пространство между стаканом и стенками кожуха заполняется асбестовой ватой. Рабочая температура этих печей-до 650°С.

Муфельная электрическая печь МП-2У (рисунок 1.1) предназначена для термической обработки металлов в стационарных лабораториях при температурах до 1000°С. Электropечь состоит из металлического корпуса, изготовленного из листовой стали, внутри которого помещен керамический муфель с намотанным на него нагревателем, и пульта управления (терморегулятора). Пространство между муфелем и корпусом заполнено теплоизоляцией.

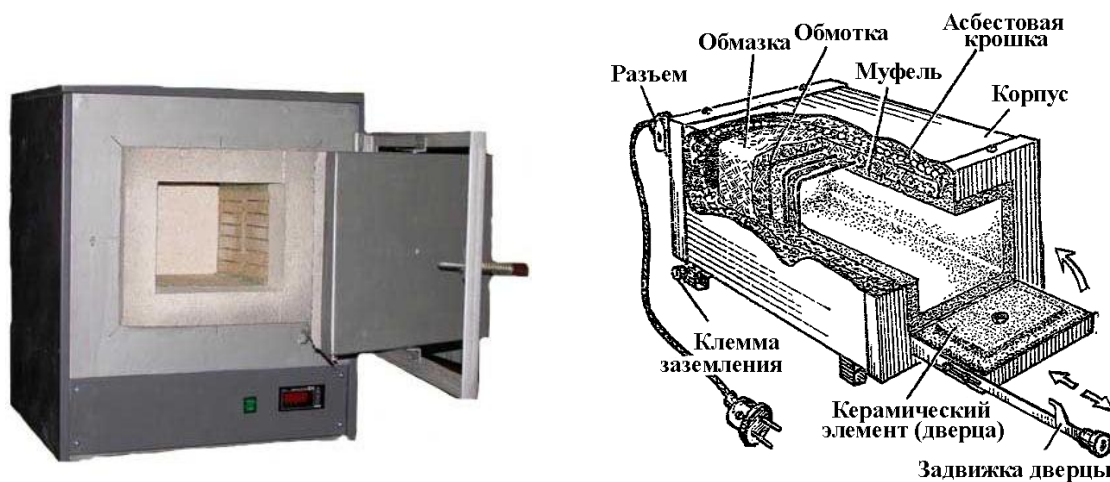


Рисунок 1.1 Муфельная электрическая печь МП-2У

Муфельная печь загружается через проем, закрываемый дверцей, установленной на шарнирных рычагах. Регулирование температуры (двухпозиционное) осуществляется терморегулятором. Автоматическую работу пульта управления показывает периодическое зажигание сигнальной лампы. В электропечи предусмотрена возможность изменения температуры в рабочем пространстве с помощью показывающего милливольтметра и термопары, вводимой в рабочую камеру через отверстие в задней стенке корпуса. Печь рассчитана на нагрев до 1000°C в течение 140 мин. Для определения температуры пользуются термометрами, термопарами, оптическими пирометрами.

Термопара представляет собой два изолированных проводника (электрода), одни концы которых образуют горячий спай, а другие — холодный спай. Термопара присоединяется к гальванометру. Лабораторные термопары изготавливаются из проволоки диаметром 0,5 мм (реже 0,1—0,2 мм).

Применяемые для термопар материалы должны: 1) иметь разные электродные потенциалы; 2) быть жаропрочными и не окисляться при высоких температурах; 3) обладать постоянством термоэлектрических свойств и давать высокую термоэлектродвижущую силу; 4) иметь высокую электропроводность и быть дешевыми.

В зависимости от материала термопары можно разделить на три основные группы:

1. Термопары из благородных металлов:
 - а) платина - платинородий (рабочий диапазон температур до 1600°C);
 - б) платина - платинородий (до 1200°C);
 - в) золото-платина-палладий в паре с платинородием (до 1250°C).
2. Термопары из неблагородных металлов:
 - а) медь-константан (до $350\text{—}400^{\circ}\text{C}$);
 - б) хромель-алюмель (до $1000\text{—}1100^{\circ}\text{C}$);
 - в) железо-константан (до 600°C) и т.д.
3. Термопары из металлических термоэлектродов в паре с неметаллами и химическими соединениями.

В некоторых случаях применение термопар и термометров сопротивления невозможно по значению измеряемой температуры или затруднительно, так как эти приборы требуют теплового контакта со средой, температура которой измеряется. Поэтому температуру измеряют на расстоянии оптическими и радиационными пирометрами.

Определение температуры оптическим пирометром основано на измерении напряженности излучения лучей определенной длины волны.

Определение твердости по Бринеллю.

Под твердостью понимается сопротивление испытываемого тела внедрению в него другого более твердого тела.

Методика определения твердости по Бринеллю состоит в том, что с помощью специального пресса (Бринелля) в испытываемый металл под определенной нагрузкой P в течение определенного времени вдавливаются

стальной закаленный шарик диаметром D . В результате на поверхности образца получается отпечаток (лунка). Отношение нагрузки P (кгс) к площади поверхности полученного отпечатка F (мм^2) дает число твердости HB :

$$HB = \frac{P}{F}$$

Однако такие вычисления каждый раз не производят, а определяют твердость по таблице в приложении.

Рычажной пресс Бринелля (рисунок 1.2) является прибором с механическим приводом.

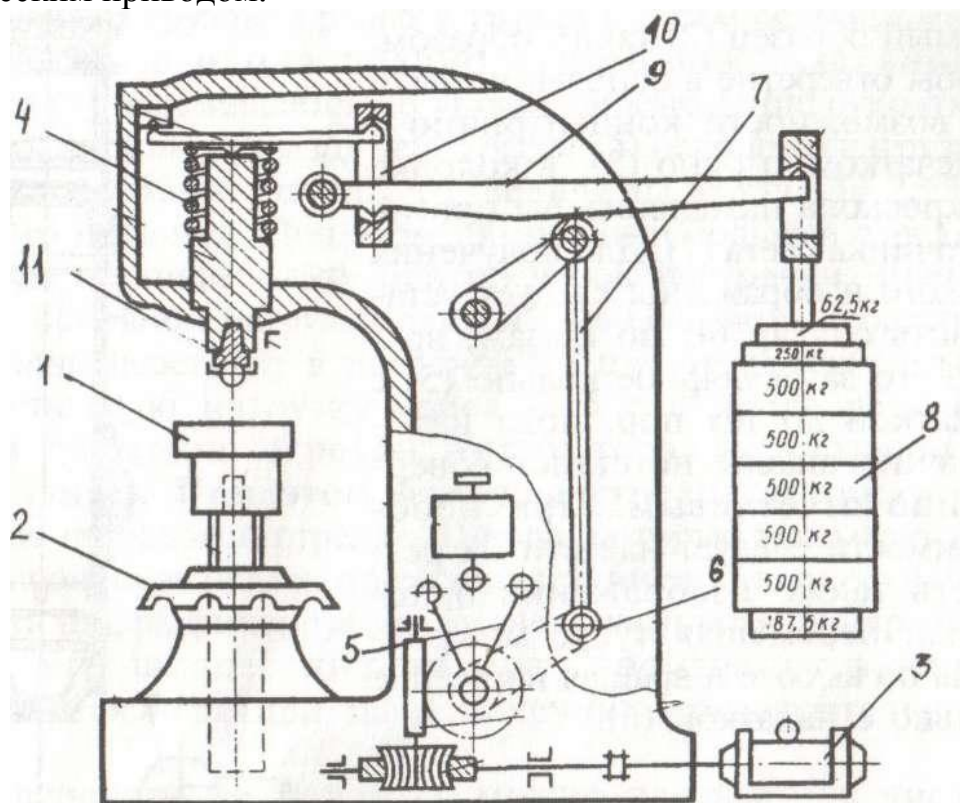


Рисунок 1.2 Пресс Бринелля

1 - столик; 2 - рукоятка; 3 - электродвигатель; 4 - пружина; 5 - коробка скоростей; 6 - эксцентрик; 7 - шатун; 8 - грузы; 9,10 - система рычагов; 11 - оправка.

Работа на приборе осуществляется в следующем порядке.

Испытуемый образец помещают на столик (1) и при помощи винта, приводимого в движение вращением маховичка или рукоятки (2), поднимают его к шарiku, укрепленному в оправке (11), до тех пор, пока пружина (4), прижимающая шарик к образцу, не сожмется до отказа. При этом создается предварительная нагрузка 100 кгс. Затем нажатием кнопки включают электродвигатель (3), который через коробку скоростей (5) приводит во вращательное движение эксцентрик (6). Эксцентрик опускает шатун (7) вниз, в результате чего грузы (8) через систему рычагов (9) и (10) создают основную нагрузку на шарик в 3000 кгс. При дальнейшем вращении эксцентрика шатун поднимается, снимает нагрузку с шарика, возвращает

рычаги (9) и (10) и грузы (8) в исходное положение. Возвращение грузов в исходное положение сигнализируется звонком и сопровождается выключением электродвигателя. Вращением против часовой стрелки маховика или рукоятки опускают стол (1), испытуемый образец отводят от шарика, после чего измеряют диаметр отпечатка с помощью микроскопа Бринелля (рисунок 1.3).

Микроскоп берут за колонку (1) и ставят основанием на испытуемый образец (2) таким образом, чтобы отверстие в основании было по возможности концентрично с отпечатком, а окно (3) в колонке микроскопа находилось бы против источника света (7). Для получения резкого изображения следует установить окуляр (4) по глазам, вращая его за окулярное кольцо (5) с накаткой до тех пор, пока изображение шкалы не станет совершенно отчетливым. При необходимости следует привести в резкость также изображение отпечатка, перемещая тубус микроскопа по высоте и вращая наружное кольцо с накаткой (6).

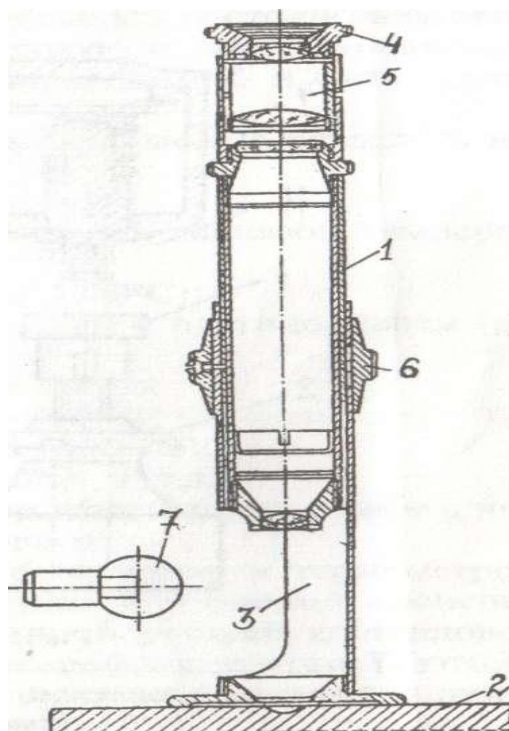


Рисунок 1.3 Микроскоп к прессу Бринелля

1 — колонка; 2—образец; 3 —окуляр; 4 — окулярное кольцо; 5 —кольцо с накаткой;
6 —источник света.

Определение твердости по Роквеллу

Сущность метода определения твердости по Роквеллу состоит в том, что в качестве вдавливаемого тела применяется алмазный конус с углом при вершине 120° или стальной закаленный шарик диаметром $1/16$ дм (1,58 мм). Шарик и алмаз вдавливаются в испытуемый образец под действием двух последовательно применяемых нагрузок - предварительной P_0 и основной P_1 . Предварительная нагрузка во всех случаях равна 10 кгс.

Основная и общая нагрузки при вдавливании стального шарика (шкала В) составляют $P = 100$ кгс, а алмазного конуса (шкала С) — $P = 150$ кгс.

Испытание на приборе Роквелла (рисунок 1.4) проводится следующим образом. Подвесив грузы (1, 2, 3) и вставив в оправку шарик (9) или алмаз, испытуемый образец кладут на столик (10). При помощи маховичка (11) образец подводят к алмазному конусу (шарику) и слегка вдавливают его до достижения предварительной нагрузки 10 кгс. При этом на циферблате индикатора (7) маленькая стрелка устанавливается против черной точки. Затем ободок индикатора поворачивают так, чтобы ноль черной шкалы совпал с большой стрелкой. Легким нажатием руки на клавишу автоматически включают грузовой рычаг с грузами. Затем освобождают рукой рукоятку 6 и она плавно с помощью масляного амортизатора (4) перемещается до упора. Перемещение рукоятки сообщает испытуемому образцу через рычаг (5) основную нагрузку P , величина которой зависит от величины груза (1, 2, 3), привешенного к рычагу. При этом нагружении большая стрелка перемещается по циферблату против часовой стрелки.

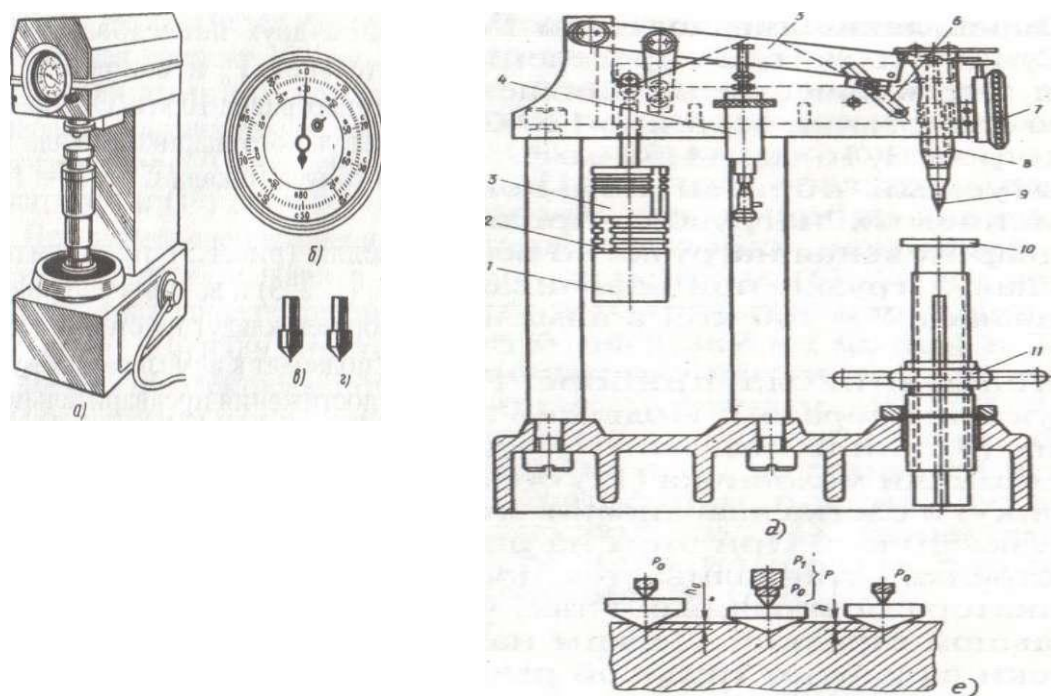


Рисунок 1.4 Твердомер Роквелла

а — внешний вид прибора; б — шкала прибора; в — наконечник с алмазным конусом; г — наконечник со стальным шариком; д — схема работы прибора: 1,2,3 — набор грузов; 4 — амортизатор; 5 — рычаг; 6 — рычажок с рукояткой; 7 — индикатор; 8 — пружина; 9 — наконечник; 10 — подставка для образца; 11 — маховик; е — положения индентора при определении твердости с предварительным погружением

Время приложения основной нагрузки длится 3—6 сек. Затем рукоятку прибора плавно переводят в исходное положение и тем самым снимают основную нагрузку через 1—3 сек после резкого замедления движения стрелки индикатора, но оставляют предварительную. При этом большая

стрелка индикатора перемещается по часовой стрелке. Цифра, которую указывает на шкале большая стрелка, и представляет число твердости по Роквеллу. Эта цифра фиксируется. Отсчет результатов измерения твердости по шкале индикатора производится при продолжающемся действии на наконечник предварительной нагрузки P_0 .

Число твердости по Роквеллу можно перевести в число твердости по Бринеллю, пользуясь таблицей, составленной на основании экспериментальных данных. Число твердости по Роквеллу — это отвлеченное число, которое выражается в условных единицах.

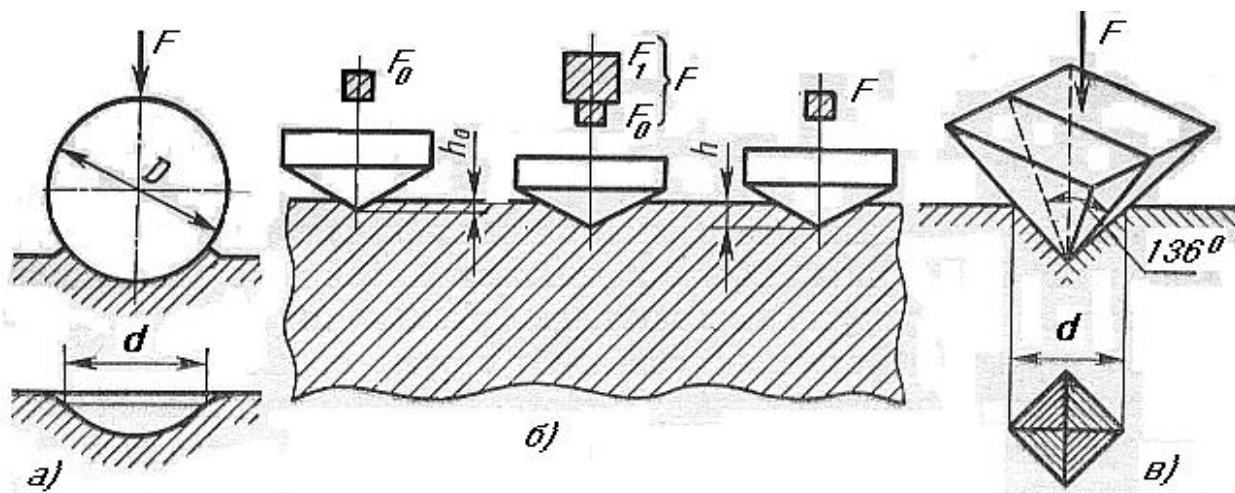


Рисунок 1.5 Схема определения твердости:
а) по Бринеллю; б) по Роквеллу; в) по Виккерсу

Экспериментальная часть.

Результаты эксперимента заносят в приведенную ниже таблицу.

Твердость сталей, измеренная на твердомерах Роквелла и Бринелля (HRC, HRB, HB)

Таблица 1.1 Результаты эксперимента

NN	Марка стали	HRB	HRC	HB	Примечание
1	10				
2	45				
3	У8				
4	P18				

Выводы по работе. Необходимо сравнить свойства конструкционных и инструментальных сталей.

Вопросы и задания для самопроверки.

1. Что такое термический анализ?
2. Какие приборы применяются для измерения температуры?
3. Из каких металлов изготавливаются термопары?
4. На какие виды делятся печи по методу превращения электрической энергии?
5. Что понимается под термином "твердость"?
6. Какие приборы служат для измерения твердости металлов?
7. Какова нагрузка на испытуемый материал при измерении твердости на приборах Роквелла и Бринелля?
8. Методика измерения твердости.
9. Как изменяется твердость углеродистых сталей с увеличением содержания в них углерода?
10. Какая сталь более твердая: Р18 или У8?
11. Дать характеристики статической прочности металлов и их определения.
12. Чем обуславливается реальная прочность металлов?
13. Для каких металлов существует связь между пределом прочности и изучением твердости металлов?
14. Механизм образования трещин при хрупком разрушении.
15. Пути повышения сопротивления металла хрупкому разрушению.
16. При каких условиях и на каких металлах проявляется ползучесть?
17. Что такое статическая, ударная и циклическая прочность металлов?

Вопросы СРС.

1. Механические свойства металлов.
2. Разрушение металлов.

Литература.

1. Гуляев А.П. Металловедение. / А.П. Гуляев. - М.: Металлургия, 1977,— 647с.
2. Геллер Ю.Л. Материаловедение. / Ю.Л.Геллер, А.Г. Рахштадт - М.: Металлургия, 1989.—384с.
3. Солнцев Ю.П. Металловедение и технология металлов. / Ю.П. Солнцев. - М.: Металлургия, 1988,—512с.
4. Арзамасов Б.Н. Материаловедение. / Б.Н. Арзамасов - М.: Металлургия, 1986.— 540с.
5. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. / Ю.М. Лахтин - М.: Металлургия, 1983.—407с.
6. Лахтин Ю.М. Материаловедение. / Ю.М. Лахтин, Е.П. Леонтьева - М.: Машиностроение, 1990,—528с.

Лабораторная работа № 2

Тема: МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Цель работы: Изучение устройства микроскопа и овладение методикой работы с ним.

Задания:

1. Изучить процесс приготовления микрошлифов.
2. Изучить устройство металлографического микроскопа и освоить приемы работы на нем.
3. Определить цену деления окуляр - микрометра при заданном увеличении объектива.
4. Измерить величину зерна в сплаве свинец-сурьма, сделать заключение о зернистости сплава и его механических свойствах.
5. Выводы по работе.

Приборы, материалы, инструменты. Для проведения работы необходимо иметь металлографические микроскопы, образцы сплава свинец-сурьма, шлифовальные круги, реактивы для выявления структур.

Методика проведения эксперимента.

Студентам выдаются образцы сплава свинец-сурьма для определения структуры на металлографическом микроскопе и объект-микрометр для определения цены деления окуляр - микрометра.

Теория.

Микроскопическим структурным анализом (микроанализом) называется метод исследования структуры металлов и сплавов с помощью оптического или электронного микроскопов.

Внутреннее строение, или структура металлов, изучаемая при помощи микроскопа, называется микроструктурой. Между микроструктурой и свойствами металлов и сплавов существует прямая качественная и количественная зависимость. Поэтому в практике металловедения микроанализ является широко распространенным методом изучения строения металлов и сплавов.

Микроанализ структуры (строения) металла или сплава осуществляют с помощью микроскопа на специально приготовленных образцах—микрошлифах. Приготовление микрошлифа заключается в правильном вырезании образца из исследуемого металла, получении на нем плоской и блестящей поверхности и выявлении структуры металла.

Микрошлифы, как правило, изготавливают небольших размеров, например, в виде куба с ребром 10 мм или цилиндрических шайб диаметром 10-15 мм и высотой 10 мм. Если образцы небольших размеров (проволока, тонкие листы и т.д.), то для приготовления шлифа их заливают легкоплавкими материалами (сплав Вуда, сера, полистирол и т.д.).

Из мягких материалов образцы вырезают пилой, фрезой, резцом и т.п., при значительной твердости металла – карборундовыми или вулканитовыми кругами. В процессе вырезания металл необходимо охлаждать, чтобы

избежать нагревания образца, следовательно, и изменения в его структуре. Если материал хрупкий, образец сначала отбивают молотком, затем готовят шлиф.

Для правильного определения структуры исследуемого материала большое значение имеет выбор места, из которого отбирают образец, и той поверхности, по которой проводят шлифование. Микроструктуру литых металлов (в фасонных отливках) проверяют в различных сечениях (от максимальных до минимальных), поскольку скорость охлаждения в процессе кристаллизации для них будет неодинаковой, а структура большинства сплавов определяется именно скоростью охлаждения. Плоскость шлифования, как правило, выбирают перпендикулярно поверхности отвода тепла.

При исследовании пластически деформированных изделий (послековки или штамповки) образец отбирают в местах максимальной деформации (сложной гибки или большой вытяжки), а также в недеформированных участках. В этих случаях структура исследуется в направлении течения металла.

Структуру термически обработанных сплавов проверяют как в поверхностных, так и в более глубоких слоях детали, в соответствии, с чем и готовят образцы.

Приготовление шлифа.

Поверхность образца, по которой проводится металлографическое исследование, подвергают специальной обработке, состоящей из следующих операций: предварительное получение плоской поверхности, шлифование этой поверхности, полирование, травление.

Плоскую поверхность образца получают опиловкой напильником (для мягких материалов) или заточкой на абразивном круге (для более твердых материалов). Затем образец подвергают шлифованию наждачной бумагой, помещенной на плоском основании (обычно на стекле), с постепенным переходом от бумаги с крупным зерном абразива к бумаге с более мелким зерном. Причем шлифование бумагой одного номера проводится только в одном направлении, при переходе к бумаге следующего номера для уничтожения предыдущих рисок направление шлифования меняется на 90°. Не следует делать резкого перехода с грубой шлифовки на мягкую, так как при этом отшлифованный металл и абразив заполняют впадины на поверхности образца, и создается ложное впечатление о хорошем качестве шлифа.

Шлифовка может проводиться также на специальных станках с закрепленной на вращающихся дисках или лентах шлифовальной бумагой.

При шлифовке мягких металлов наждачную бумагу рекомендуется смачивать керосином, а при обработке цветных металлов — покрывать ее тонким слоем парафина, чтобы избежать внедрения более твердых частиц абразива в металл.

После шлифовки образец тщательно очищают от абразива (промывкой водой или обдувкой воздухом) и подвергают полировке. Применяют

механический, химико-механический и электрохимический способы полировки.

Механическое полирование проводят на вращающемся круге с натянутым мягким материалом (фетром, бархатом, сукном), который смачивают взвесью высокодисперсных частиц абразивных веществ (окись алюминия, окись хрома, окись железа и т.д.) в воде. Полирование заканчивают, когда поверхность приобретает зеркальный блеск.

При химико-механическом полировании в состав полирующей смеси вводят химически активные вещества, ускоряющие процесс полирования. Электрохимическое полирование проводят в электролитической ванне, присоединяя образец к положительному полюсу — аноду. Состав электролита, материал пластины катода и плотность тока на аноде (образце) будут зависеть от полируемого материала. При пропускании тока все неровности, оставшиеся после шлифовки, растворяются. Затем поверхность рассматривают под микроскопом для оценки чистоты металла (проверки наличия неметаллических включений) и качества полировки.

С целью выявления полной микроструктуры образец подвергают травлению. Сначала поверхность шлифа обезжиривают спиртом, а затем погружают в травитель. Травление заключается во взаимодействии поверхности металла с химически активными растворами. Вследствие неодинакового значения электрохимического потенциала, взаимодействие отдельных зерен или фаз с реактивом различно. Это и позволяет определить структуру.

Для травления шлифов применяют разнообразные реактивы. Так, железоуглеродистые сплавы травят 4—5%-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте, высоколегированные стали — царской водкой (3 части соляной кислоты + 1 часть азотной кислоты) и т.д. Если после травления поверхность сохранила блестящий вид (поверхность неотравлена), то проводят дополнительное травление, если поверхность оказывается темной (поверхность перетравлена), шлиф вновь подвергают полировке, а затем травлению.

Устройство микроскопа.

Для микроскопического исследования структуры металлов используют металлографические микроскопы, которые позволяют рассматривать предметы в отраженном свете. Промышленностью выпускаются металломикроскопические микроскопы вертикальные (МИМ-6, МИМ-7) и горизонтальные (МИМ-8) с увеличением до 2000 раз.

Микроскопы состоят из оптической системы, осветительного устройства и механической системы (рисунок 2.1).

В оптическую систему входят: объектив, окуляр, зеркало, призма. Объектив представляет собой систему линз в металлической оправе, обращенных к рассматриваемому объекту. Он дает обратное увеличенное действительное изображение объекта. Окуляр — это система линз, размещенных в одной оправе и обращенных к глазу наблюдателя. Окуляры

исправляют оптические дефекты и дают мнимое увеличенное изображение, полученное объективом. Общее увеличение, которое дают микроскопу совместно объектив и окуляр при визуальном наблюдении, равно произведению величин увеличения объектива и окуляра. Увеличение окуляров и объективов указывают на их металлических оправках и в таблицах, проводимых в описаниях микроскопа.

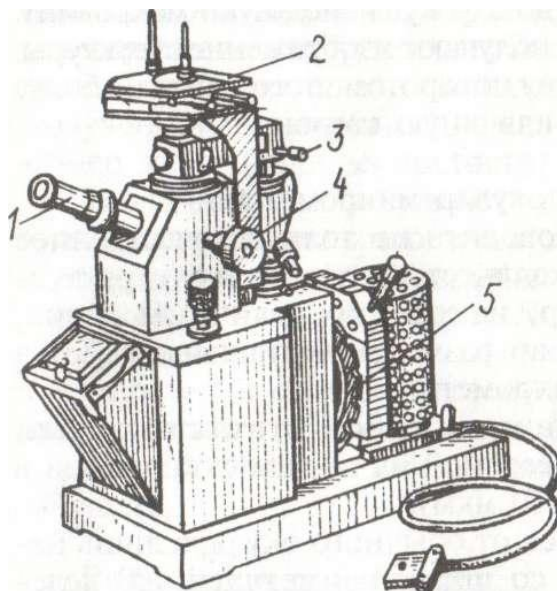


Рисунок 2.1 Микроскоп МИМ-7

1-окуляр; 2—предметный столик; 3-микровинт; 4-макроевинт; 5-источник света

Освещение микрошлифа проводится через объектив осветительным устройством, состоящим из источника света, серии линз, светофильтров и диафрагм. В качестве источника света используют низковольтные электрические лампы накаливания, а при фотографировании - лампы с напряжением 110—120В переменного или постоянного тока. При визуальном наблюдении рекомендуется применять желто-зеленые фильтры, наиболее чувствительные для глаза человека.

В металлографическом микроскопе можно создать вертикальное освещение (наблюдение в светлом поле) или косое освещение микрошлифа (наблюдение в темном поле), можно исследовать структуру также в поляризованном свете, и при волновых колебаниях света в одной определенной плоскости.

Получение четкого изображения микроструктуры обеспечивается механической системой микроскопа, которая состоит из корпуса, предметного столика, макро- и микровинтов и тубуса. На предметный столик помещают шлиф исследуемой поверхностью вниз. Столик может перемещаться по взаимно перпендикулярным направлениям, позволяя рассмотреть структуру различных участков шлифа без изменения выбранного фокусного расстояния. Для грубой настройки на фокус используют макровинт. При его вращении в поле зрения получают

изображение структуры. Точная фокусировка производится поворотом этого винта не более чем на один, пол-оборота в ту или иную сторону.

Экспериментальная часть.

Определение цены деления окуляр-микрометра.

Микроанализ позволяет проводить не только качественное исследование структуры, но и количественную оценку структурных составляющих, например, измерения величины зерна, глубины слоя и т.д. Для определения размеров частиц используются объект-микрометр и окуляр-микрометр.

Объект-микрометр представляет собой стеклянную или металлическую пластинку с нанесенной на нее шкалой длиной в 1 мм с ценой деления 0,01 мм (10 мкм).

Окуляр-микрометр отличается от обычного окуляра лишь наличием стеклянной пластинки со шкалой, имеющей 100 делений. Цена деления окуляр-микрометра изменяется в зависимости от применяемого объектива. Для определения цены деления окуляр - микрометра на предметный столик вместо шлифа устанавливают объект-микрометр и шкалы обоих микрометров совмещают (рисунок 2.2).

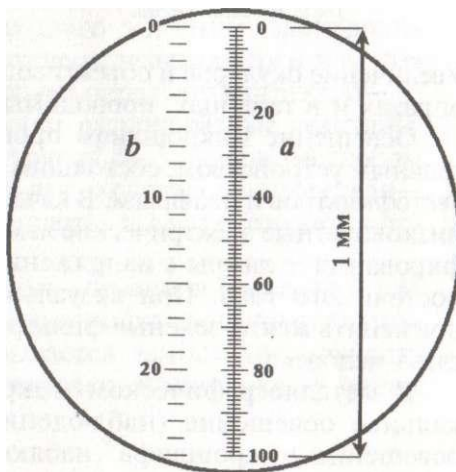


Рисунок 2.2 Совмещение в поле зрения микроскопа шкал объектив - микрометра (шкала а) и окуляр - микрометра (шкала b)

После совмещения некоторых участков шкал проводят вычисление цены деления окуляра по формуле:

$$Ц = \frac{a \cdot c}{b},$$

где a — цена деления объект - микрометра (0,01 мм); b — число делений окуляр - микрометра, совпавших с числом деления объект - микрометра, c — число делений объект - микрометра.

Определение величины зерна в сплаве.

Зная цену деления окуляр - микрометра, можно аналогичным образом измерить интересующий нас микрообъект, например, зерно. Для этого на предметный столик вместо объект - микрометра необходимо поместить

исследуемый микрошлиф, просмотреть всю его поверхность, выбрать наиболее характерные для данного шлифа зерна (крупные, средние, мелкие) и провести измерение площади не менее трех зерен. Затем вычислить среднюю площадь зерна. Далее по шкале стандартных размеров путем сравнения полученной величины площади зерна с табличкой определить номер зерна (балл зернистости).

Табличная шкала включает восемь номеров зерна. Структура металла или сплава с площадью зерна № 1,2,3,4 считается крупнокристаллической, с площадью зерна № 7,8 — мелкокристаллической, с площадью зерна № 5,6 — среднекристаллической.

Выводы по работе.

Определив балл зернистости сплава свинец-сурьма, необходимо составить отчет о проделанной работе и указать, какую структуру имеет сплав и какими механическими свойствами будет обладать.

Вопросы для самопроверки.

1. Методы исследования металлов и сплавов.
2. Назначение и сущность микроанализа.
3. Приготовление микрошлифа.
4. С какой целью, и каким образом проводят травление?
5. Устройство микроскопа.
6. Окуляр-микрометр, объект-микрометр.
7. Определение цены деления окуляр - микрометра.
8. Определение величины зерна в сплаве.
9. Влияние размера зерна на механические свойства металлов и сплавов.

Вопросы СРС.

Структурные методы исследования металлов.

Литература.

1. Арзамасов Б.Н. Материаловедение. / Б.Н. Арзамасов - М.: Металлургия, 1986. - 540с.
2. Гуляев А.П. Материаловедение. / А.П. Гуляев - М.: Металлургия, 1978, - 647с.
3. Лахтин Ю.М. Материаловедение и термическая обработка металлов. / Ю.М. Лахтин - М.: Металлургия, 1983. - 407с.
4. Геллер Ю.А. Материаловедение. / Ю.А. Геллер, А.Г. Рахштадт - М.: Металлургия, 1984. - 384с.
5. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. - М.: Металлургия 1986 - 525с.
6. Лахтин Ю.М. Материаловедение. / Ю.М. Лахтин, Е.П. Леонтьева. - М.: Машиностроение, 1990.—528с.

Лабораторная работа № 3

Тема: МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ

Цель работы. Ознакомление с методикой микроскопического анализа железоуглеродистых сплавов и изучение микроструктуры углеродистых сталей и чугунов. Данная тема важна для понимания природы железо - углеродистых сплавов (железа, стали, чугуна). Студенты должны ясно представлять процесс кристаллизации этих сплавов, природу аллотропических превращений в связанном с этим изменении свойств сплавов.

Изучать диаграмму железо-углерод следует по частям. Сначала нужно взять верхний железный угол, где образуется дельта - раствор и гамма-раствор (аустенит), и тщательно обработать процесс образования этих растворов при различном содержании углерода в разных температурах. Затем следует подробно разобрать первичную кристаллизацию сплавов с содержанием углерода выше двух процентов (сплавы-чугуны) и перейти к изучению процесса вторичной кристаллизации сплавов. Здесь нужно уяснить процесс перекристаллизации аустенита для сплавов с различным содержанием углерода при понижении температуры. Необходимо хорошо знать структурные составляющие сталей и чугунов (феррит, перлит, аустенит, цементит, ледебурит и др.) и уметь показать, где они находятся на диаграмме состояния железо-углерод. Кроме того, следует хорошо разбираться в классификации сталей и чугунов по назначению и химическому составу, в маркировке сплавов по ГОСТу в зависимости от содержания углерода, легирующих элементов и строения сплавов.

Задания.

1. Изучить микроструктуру доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной сталей в отожженном состоянии.
2. Изучить микроструктуру белого, серого, ковкого и высокопрочного чугунов.
3. Освоить метод приближенного определения содержания углерода в стали.
4. Начертить диаграмму состояния железо-цементит.
5. Сделать выводы по работе.

Приборы, материалы, инструменты. Для выполнения работы необходимо:

- металлографические микроскопы МИМ-7;
- комплекты наборов микрошлифов;
- альбомы фотографий микроструктур.

Методика проведения эксперимента.

Лабораторную работу выполняют после изучения диаграммы состояния железо-углерод (железо-цементит), изучив структурные составляющие железоуглеродистых сплавов. Работу выполняют три бригады по 4—5

человек. Каждое рабочее место оборудовано одним металлографическим микроскопом и набором шлифов железоуглеродистых сплавов.

Теория.

Под равновесным состоянием сплава понимается состояние, когда все фазовые превращения в сплаве полностью закончились в соответствии с диаграммой состояния. Такое состояние выступает только при очень медленном охлаждении. Следовательно, основой для определения структурных составляющих железоуглеродистых сплавов в равновесном состоянии является диаграмма состояния Fe—Fe₃C (рисунок 3.1), основы которой были выведены Д.К.Черновым, когда он открыл существование у стали критических точек.

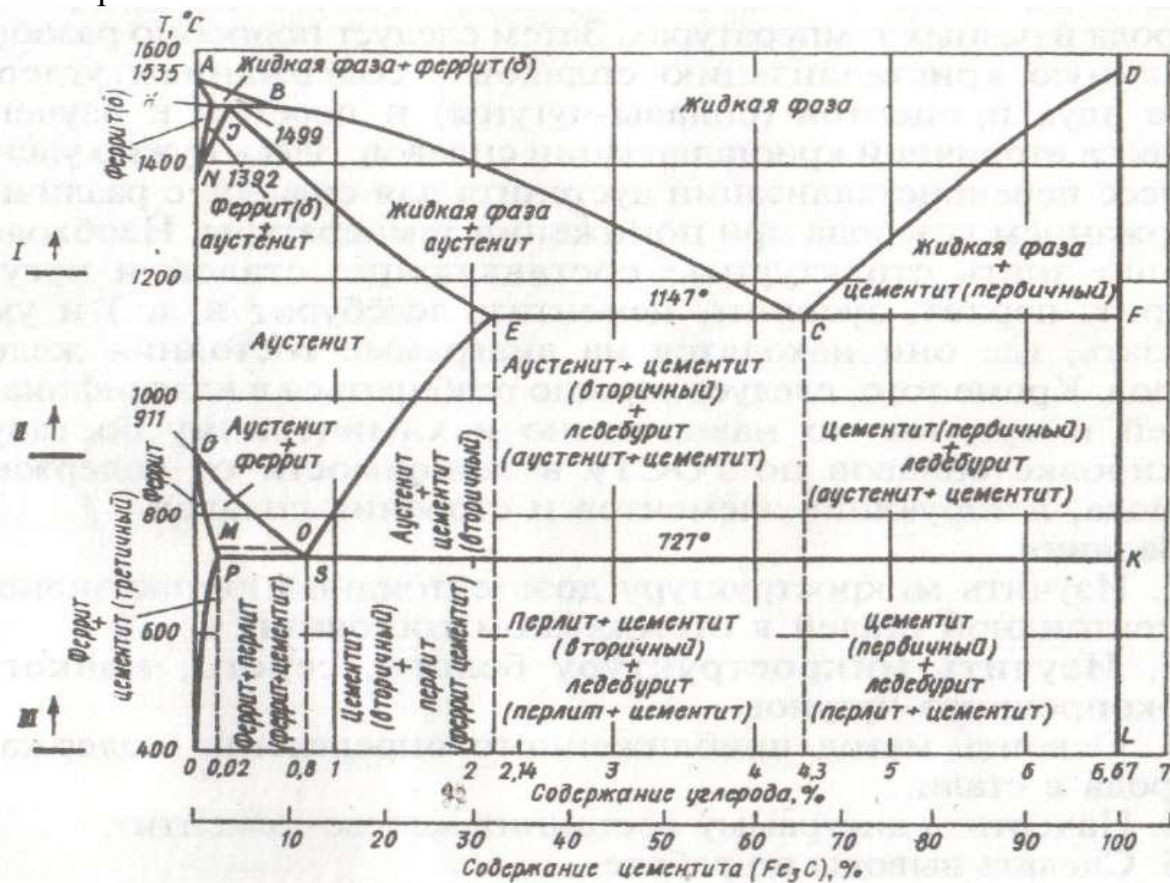


Рисунок 3.1. Диаграмма состояния «железо-цементит»

Компонентами, образующими эту систему, являются чистое железо Fe и карбид железа Fe₃C. Наличие химического соединения Fe₃C в диаграмме железо-углерод позволяет рассматривать диаграмму Fe—Fe₃C.

Сплавы, содержащие не свыше 2% С, называются сталями.

Структура стали в равновесном состоянии зависит от содержания углерода в железоуглеродистых сплавах.

Структура сплава с содержанием углерода до 0,025% будет состоять из феррита и третичного цементита, располагающегося по границам зерен феррита и тем самым понижающего пластичность и вязкость стали.

Ферритом называется Fe_α или твердый раствор (внедрения) углерода в нем Fe_α (с). Кристаллическая решетка феррита — пространственно

центрированный куб. Максимальная растворимость углерода в Fe_α при температуре $T=720^\circ\text{C}$ равна 0,025%, а при 0°C - 0,006%.

Феррит — почти чистое железо (имеет зернистое строение), обладает магнитными свойствами и является самой пластичной и мягкой составляющей железоуглеродистых сплавов (рисунок 3.2). Феррит является однородной структурой и на диаграмме состояния занимает область GPQ.

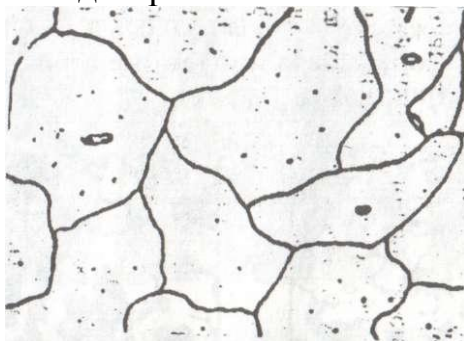


Рисунок 3.2 Структура феррита

С увеличением содержания углерода более 0,025% в структуре сплава появляется перлит.

Перлит представляет собой механическую смесь, состоящую из мягких пластинок (рисунок 3.3а) или зерен (рисунок 3.3б) цементита и феррита.

Перлит содержит 0,83% углерода и образуется при температуре 723° из аустенита:



а)

б)

Рисунок 3.3 Микроструктура эвтектоидных сталей:

а - $C=0,8\%$ структура-пластинчатый перлит; б — $C=0,8\%$ структура - зернистый перлит

т.е. аустенит превращается в смесь феррита и цементита (двухфазная структура).

Пластичный перлит обладает твердостью HB 200—250, а зернистый перлит - HB 160—220.

Все стали, содержащие углерод от 0,025% до 0,8%, состоят из феррита (светлый фон) и перлита (темные зерна) и называются доэвтектоидными (рисунок 3.4).

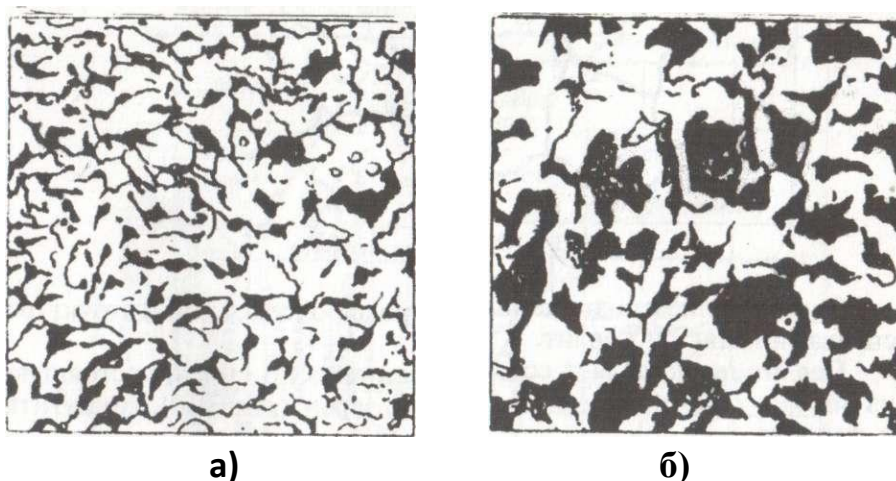


Рисунок 3.4 Микроструктура доэвтектоидных сталей:
а - $C=0,15\%$ структура феррит и перлит; б - $C=0,35\%$ структура феррит и перлит

С увеличением углерода в доэвтектоидных сталях количество перлита увеличивается, а количество феррита уменьшается пропорционально увеличению углерода.

При соотношении площадей, занимаемых в исследованной структуре перлитом и ферритом, можно определить содержание углерода в стали. Зная, что в перлите содержится 0,8% углерода, можно подсчитать содержание углерода в доэвтектоидной стали. Для этого необходимо определить, какую часть площади занимает перлит, и умножить ее на 0,8.

Например, если на просматриваемом поле шлифа перлит занимает примерно $\frac{1}{4}$ часть общей площади микроструктуры, то содержание углерода в этой стали равно $0,8 \times \frac{1}{4} = 0,2\% \text{ C}$.

Стали с содержанием углерода от 0,8 до 2% называются заэвтектоидными, и структура их состоит из перлита и вторичного цементита (рисунок 3.5).

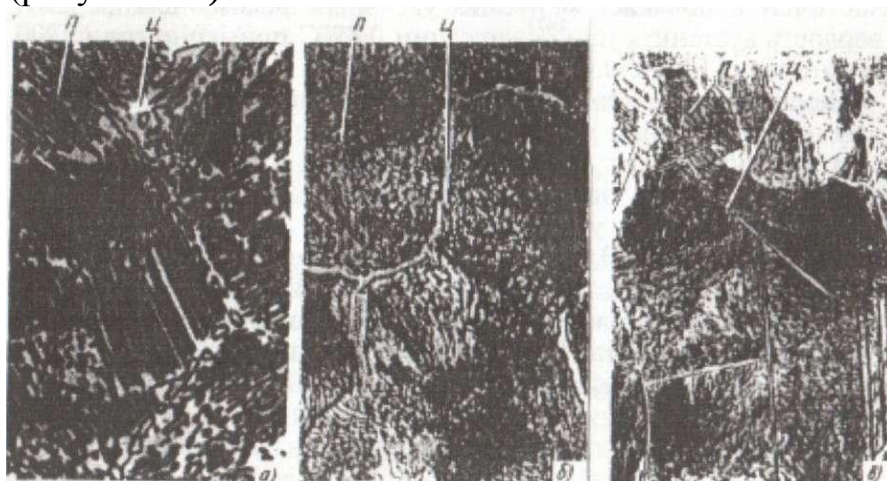


Рисунок 3.5 Заэвтектоидная сталь (травление 4%-ным спиртовым раствором азотной кислоты):
а – выделение избыточного цементита в виде зерен ($\times 600$); б – выделение избыточного цементита в виде сетки ($\times 200$); в – выделение избыточного цементита в виде игл ($\times 600$)

Цементит — это химическое соединение железа с углеродом Fe_3C — карбид железа (однофазная составляющая). Он содержит 6,67% углерода, является самой хрупкой и твердой (НВ до 800) структурой железоуглеродистых сплавов.

Вторичный цементит в заэвтектоидной стали обычно расположен в виде светлой сетки или светлых зерен, (цепочки) по границам перлитных зерен, или в виде игл (рисунок 3.5б).

В сталях, содержащих меньше 0,8% углерода, феррит также может выделиться в виде сетки по границам зерен перлита, и при травлении 4%-ным спиртовым раствором азотной кислоты, эта сетка также получается светлой, чтобы выяснить является эта сетка ферритной или цементитной, микрошлиф подвергают травлению нитратом натрия. Если сетка после травления осталась светлая, то это феррит и, следовательно, сталь является доэвтектоидной; если же сетка потемнела, то это цементит, и сталь является заэвтектоидной.

Аустенитом называется твердый раствор (внедрения) углерода в Fe_γ с кристаллической решеткой гранецентрированного куба.

Максимальная растворимость углерода в гамма-железе при температуре 1147° равна 2,14%.

Аустенит в углеродистой стали устойчив лишь при температуре выше кристаллической точки A_c . Аустенит парамагнитен, вязок, пластичен и обладает меньшим удельным весом, чем феррит. Твердость аустенита при содержании 0,8%С примерно равна 200 единицам по Бринеллю.

На диаграмме состояния аустенит занимает область NIESQ и является однофазной структурной составляющей.

В зависимости от содержания углерода, стали подразделяют на доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные.

Микроструктура углеродистых сталей. Технически чистое железо содержит от 0,01 до 0,15% углерода (рисунок 3.2) и является двухфазным сплавом, так как при содержании до 0,02% углерода структура технически чистого железа состоит из феррита и третичного цементита. При содержании от 0,02% до 0,15% С структура состоит из феррита и небольшого количества перлита.

Эвтектоидная сталь

При содержании 0,8% С, сталь называется эвтектоидной и состоит из одного эвтектоида-перлита.

Перлит, состоящий из пластинок феррита и цементита, чередующихся между собой, называется пластинчатым (рисунок 3.3а). Зернистый перлит получают путем длительной выдержки последнего при температурах около 723°С (рисунок 3.3б). Эвтектоидное строение — равномерность распределения обеих фаз утрачивается и в зернистом перлите. При травлении 4%-ным раствором азотной кислоты в спирте феррит и цементит окрашиваются в белый цвет. В перлите при изготовлении шлифа цементит, как тело очень твердое, мало сошлифовывается и выступает над ферритом,

отбрасывая на него тени, и перлит нам представляется в виде чередующихся темных и светлых полосок.

Дозэвтектоидные стали

Дозэвтектоидные стали содержат от 0,15 до 0,8% углерода. Структура дозэвтектоидных сталей состоит из феррита и перлита. С увеличением содержания углерода количество феррита уменьшается, а перлита увеличивается.

Количество феррита и перлита можно определить по диаграмме пользуясь правилом отрезков, так как отрезки, соответствующие отдельным структурным составляющим, пропорциональны площадям этих составляющих на микрошлифе. Если сталь имеет в составе 0,8% углерода, то структура — один перлит, так как 100% площади занято перлитом. Если часть площади занята ферритом (например, 40%), то можно составить пропорцию для определения процента содержания углерода:

$$100\% \text{ пл.} - 0,8\% \text{C} \quad X = \frac{40 \cdot 0,8}{100} = 0,32\% \text{C}$$

$$40\% \text{ пл.} - X\% \text{C}$$

Согласно количеству углерода определяется марка стали. Структуры дозэвтектоидных сталей показаны на рисунок 3.4.

Заэвтектоидные стали

Стали, содержащие от 0,8 до 2% углерода, называются заэвтектоидными. Структура заэвтектоидной стали при комнатной температуре состоит из перлита и вторичного цементита, который может располагаться в виде светлых зерен или светлой сетки, расположенной по границам зерен или в виде игл (рисунок 3.5).

Количество вторичного цементита в структуре заэвтектоидной стали невелико. Оно повышается с увеличением концентрации в ней углерода и составляет от 3,4% (при C=1%) до 20,4% (при C=2%) от всей массы сплава. Даже небольшое его содержание в структуре заэвтектоидной стали приводит к значительному повышению ее твердости, снижению пластичности по сравнению с эвтектоидной сталью.

Вторичный цементит в заэвтектоидной стали занимает незначительную по величине площадь, и определить ее на глаз затруднительно, поэтому методом, которым определяют содержание углерода в дозэвтектоидных сталях, не пользуются. Однако приблизительно содержание углерода в заэвтектоидных сталях определить можно. Например, пусть поля шлифа содержит 90% перлита и 10% вторичного цементита. Зная, что углерод находится как в перлите, так и цементите, составим уравнение для перлита:

$$100\% \text{ п} - 0,8\% \text{C} \quad X_1 = \frac{90 \cdot 0,8}{100} = 0,72\% \text{C},$$

$$90\% \text{ п} - X_1$$

для цементита:

$$100\% \text{Ц} - 6,67\% \text{C} \qquad X_2 = \frac{10 \cdot 6,67}{100} = 0,67\% \text{C},$$

10%Ц -

$$X_{\text{общ}} = X_1 + X_2 = 0,72 + 0,67 = 1,39\% \text{C}$$

Железоуглеродистые сплавы, содержащие более 2% углерода, называются чугунами. Начиная с этой концентрации углерода, в структуре сплавов появляется эвтектика. Эвтектике свойственны повышенная хрупкость и сравнительно низкая температура кристаллизации. Поэтому чугуны, в отличие от сталей, не подвергаются прокатке, ковке, штамповке, хорошо заполняют в жидком состоянии формы.

В зависимости от скорости охлаждения, содержания примесей последующей обработки, получают чугуны белые, серые и ковкие.

Белые чугуны

В белом чугуне весь углерод находится в виде цементита, поэтому этот чугун тверд и хрупок.

Согласно диаграмме состояния железо-углерод, белые чугуны подразделяются на доэвтектические ($C < 4,3\%$), эвтектические ($C = 4,3\%$) и заэвтектические ($C > 4,3\%$). Структура доэвтектического чугуна при комнатной температуре состоит из перлита, вторичного цементита и ледебурита. На рисунке 3.6 показана структура доэвтектического белого чугуна. Темные большие участки шлифа — перлит. Участки с точечными темными включениями — эвтектика — ледебурит. Вторичный цементит, выделившийся из аустенита, находится в виде светлых включений и игл, а местами сливается с цементитом ледебурита.

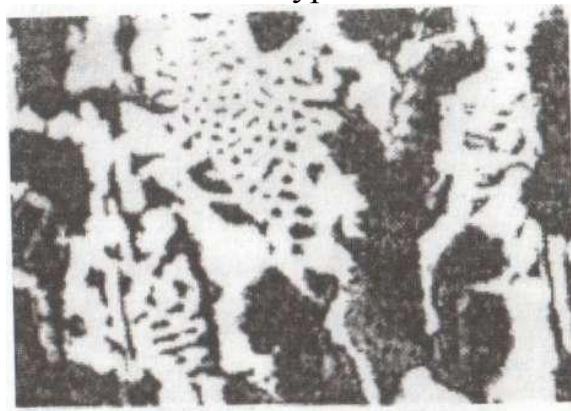


Рисунок 3.6 Структура доэвтектического чугуна с 3,2% С. Травление 4%-ным спиртовым раствором азотной кислоты ($\times 450$)

На рисунке 3.7 показана структура эвтектического белого чугуна. Он содержит 100% ледебурита и представляет собой смесь перлита и цементита. Перлит в ледебурите темный, цементит — светлый.

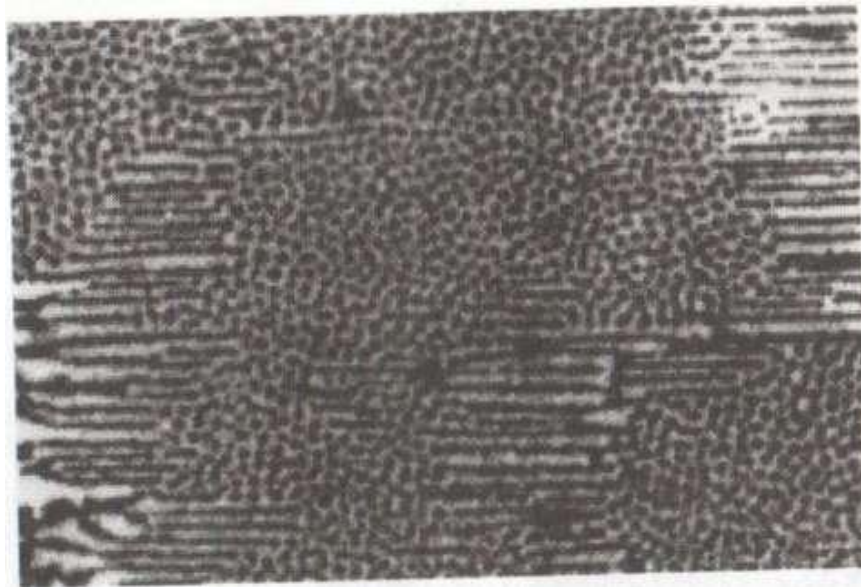


Рисунок 3.7 Структура эвтектического чугуна. Травление 4%-ным спиртовым раствором азотной кислоты ($\times 450$)

Структура заэвтектического белого чугуна (рисунок 3.8) при комнатной температуре состоит из первичного цементита, выпавшего из жидкости и ледебурита.

Крупные светлые иглы на шлифе — первичный цементит. Участки с точечными темными вкраплениями — ледебурит.

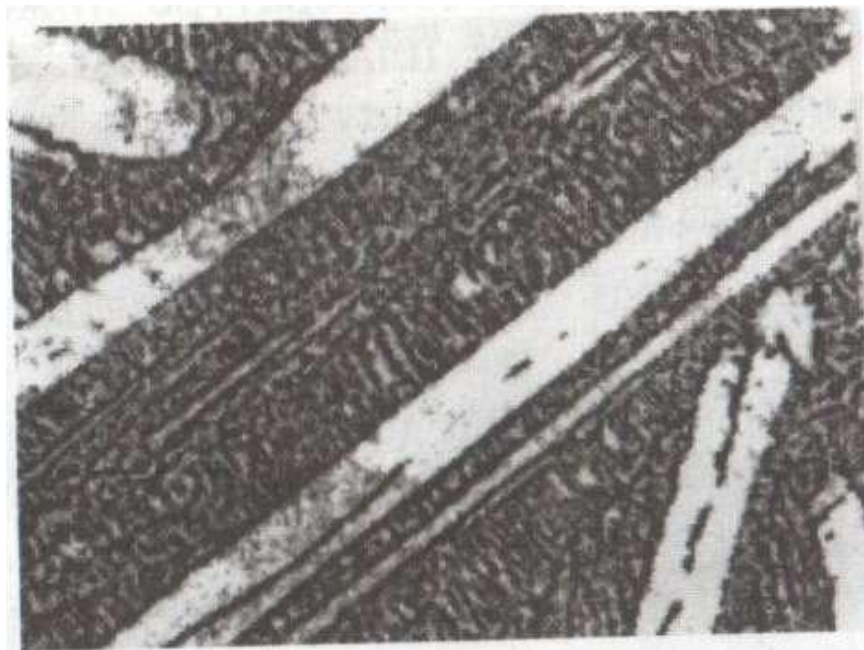
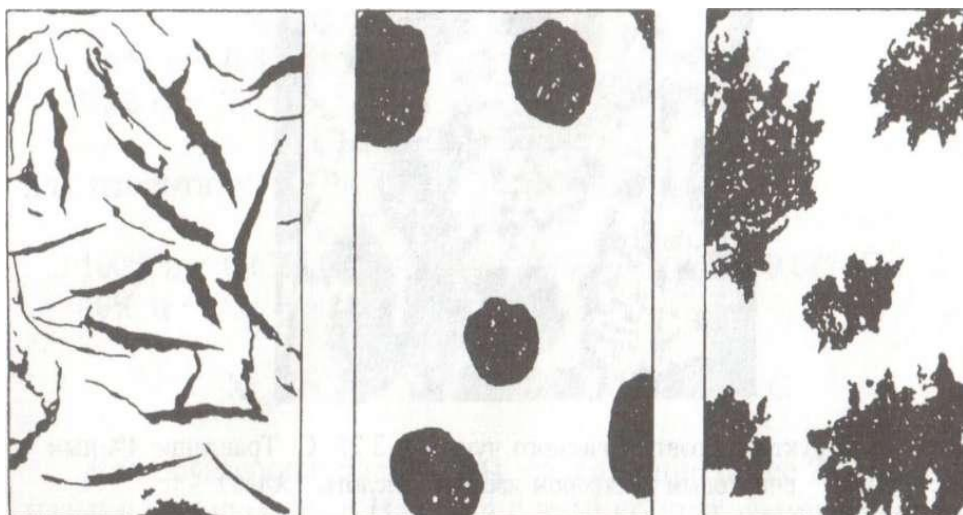


Рисунок 3.8 Структура заэвтектического чугуна. Травление 4%-ным спиртовым раствором азотной кислоты ($\times 300$)

Графит, находящийся в чугунах, может иметь форму пластин (серые чугуны), шаровидную форму (высокопрочные чугуны) и хлопьевидную форму (ковкие чугуны) — рисунок 3.9.



а)

б)

в)

Рисунок 3.9. Микроструктуры графита:

а — пластинчатый графит (серые чугуны); б — шаровидный графит (высокопрочные чугуны); в — хлопьевидный графит (ковкие чугуны)

Серые чугуны

Серые чугуны, как и белые, получают непосредственно при отливке. Однако охлаждение серого чугуна ведется медленно и цементит, выделяющийся из жидкого или твердого раствора, будучи неустойчивым химическим соединением, в особенности при высоких температурах, распадается с образованием графита: $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow \text{Fe}_\gamma(\text{C}) + \text{C}(\text{графит})$ при температуре выше 723° и $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow \text{Fe}_\alpha(\text{C}) + \text{C}(\text{графит})$ при температуре ниже линии PSK.

Графит выделяется в виде пластин. Чем меньше скорость охлаждения, тем в большей степени успевает произойти процесс графитизации. По степени графитизации различают несколько видов серых чугунов: перлитный, перлитоферритный и ферритный чугун. На рисунке 3.10 показана структура перлитного чугуна. Темные крупные пластинки — графит. Основное поле — пластинчатый перлит. Цементит вторичный и цементит ледебурита распался. Перлитный чугун применяется, например, для изготовления поршневых колец тепловых двигателей.

На рисунке 3.11 показана структура перлитно-ферритного серого чугуна. Темные крупные завитки пластинки — графит. Серый фон — пластинчатый перлит. Светлый фон — феррит. Графит и феррит залегают вместе, так как они являются продуктом распада цементита. Цементит перлита частично распался.

На рисунке 3.12 показана структура ферритного серого чугуна. Темные крупные пластинки — графит. Основное светлое поле — феррит. Цементит перлита полностью распался.

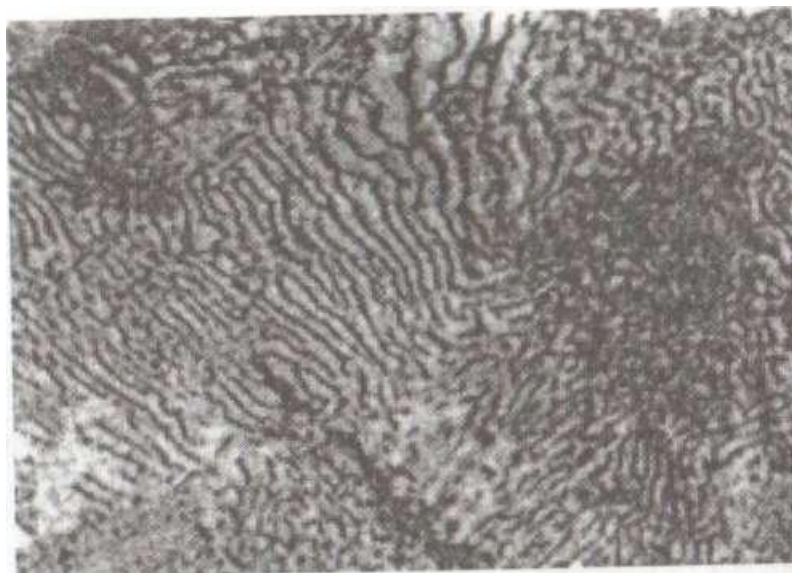


Рисунок 3.10. перлитный серый чугун. Травление 4%-ным спиртовым раствором азотной кислоты ($\times 250$)

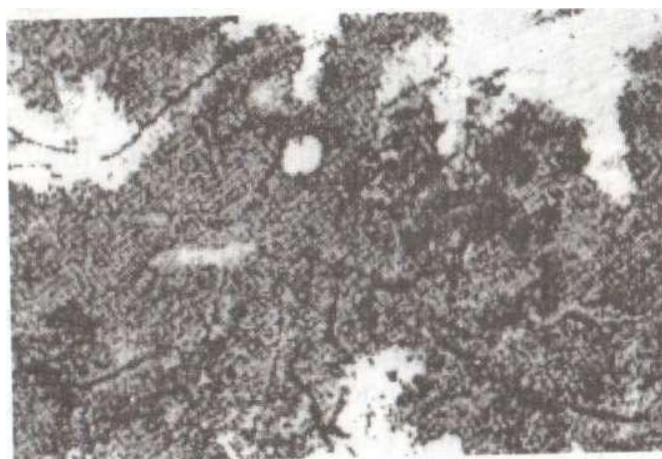


Рисунок 3.11. Ферритно – перлитный серый чугун. Травление 4%-ным спиртовым раствором азотной кислоты ($\times 250$)



Рисунок 3.12. Ферритный серый чугун.

Ковкие чугуны

Ковкий чугун получается из белого чугуна путем вторичной тепловой обработки, т.е. отжига.

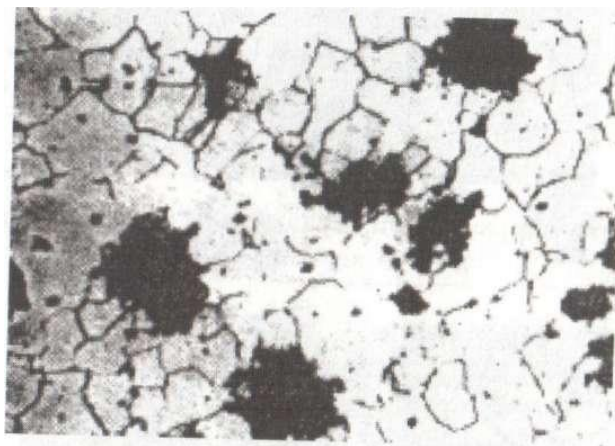


Рисунок 3.13. Ферритный ковкий чугун.

На рисунке 3.13 показана структура ферритного ковкого чугуна.

Основной светлый фон - зерна феррита. Темные включения сфероидной формы - графит отжига.

На рисунке 3.14 показана структура перлитного ковкого чугуна. Основная структура чугуна - перлитная. Темные округленные включения - графит отжига, около которого находится феррит.

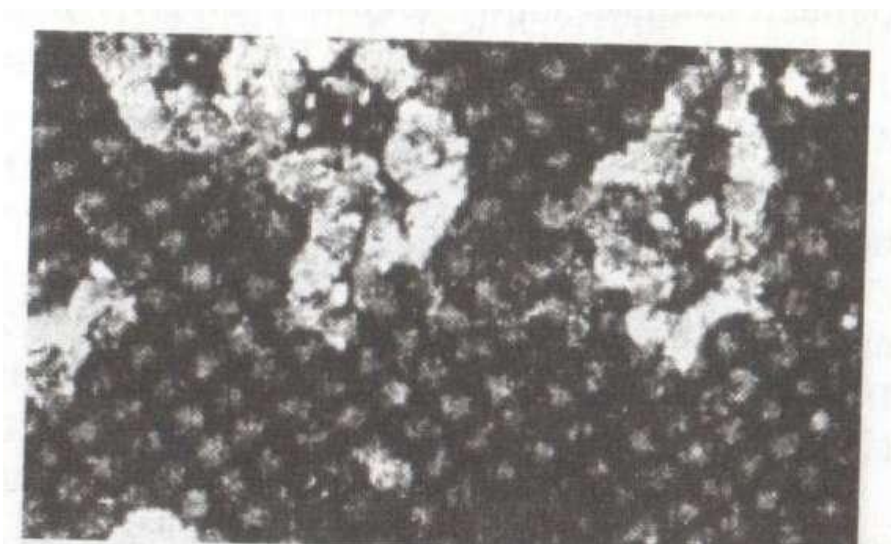


Рисунок 3.14. Обезуглероженный ковкий чугун (поверхностный слой-перлит и феррит, сердцевина-перлит; ($\times 200$))

В последнее время разработан метод получения нового высокопрочного чугуна с круглым графитом. Структура такого чугуна (рисунок 3.15) состоит из перлита и округлого (сфероидного) графита, окруженного небольшими островками феррита.

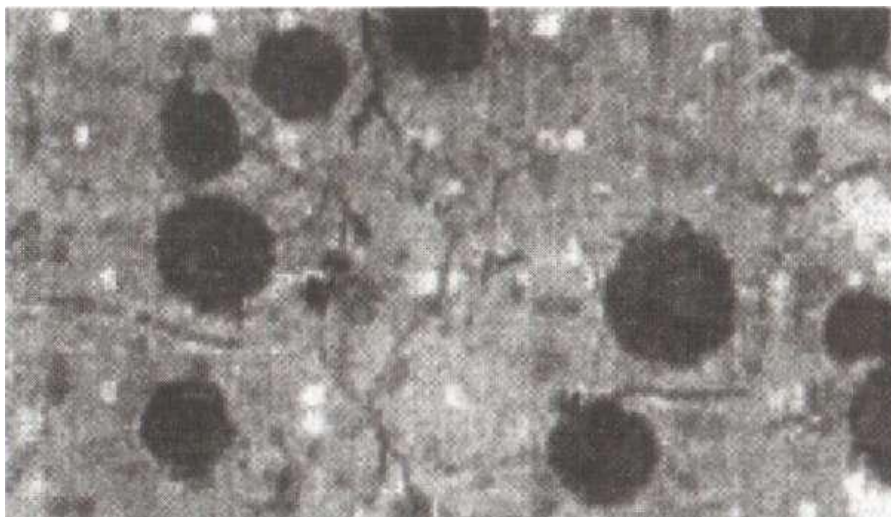


Рисунок 3.15. Высокопрочный чугун. Травление 4%-ным спиртовым раствором азотной кислоты ($\times 200$)

Экспериментальная часть.

Зарисовать микроструктуру 6 предложенных образцов стали и чугунов, указать структурные составляющие сплавов. Описать свойства зарисованного сплава.

Выводы по работе.

Необходимо указать основные отличительные свойства различных групп сталей и чугунов.

Вопросы и задания для самопроверки:

1. Указать различие в свойствах железа различной модификации?
2. Начертить наизусть диаграмму состояния сплавов железа с углеродом. Показать на диаграмме линии ликвидуса и солидуса, а также представить буквенные обозначения и температуры?
3. Пользуясь диаграммой равновесия железо-углерод, указать, какое количество углерода может раствориться в железе-гамма и железе-альфа?
4. По какой кривой изменяется состав аустенита после начала образования феррита?
5. Что такое аустенит, феррит, цементит, перлит, ледебурит? Где образуются первичный, вторичный и третичный цементит?
6. Как изменяется положение критических точек , и при введении в сталь легирующих элементов?
7. Как получают стали аустенитного и перлитного классов?
8. Принцип маркировки легированных сталей?
9. Виды и назначение чугунов?
10. Способы получения высокопрочных чугунов и их отличие от ковких?
11. Чем отличаются стали марок У7, У7А, 12ХХ, Х12?

Вопросы СРС.

Диаграмма состояния железо-цементит.

Литература.

1. Гуляев А.П. Металловедение. / А.П. Гуляев - М.: Металлургия, 1978, - 647с.
2. Геллер Ю.А. Материаловедение. / Ю.А.Геллер, А.Г. Рахштадт - М.: Металлургия, 1989.—384с.
3. Солнцев Ю.П. Металловедение и технология металлов. / Ю.П. Солнцев - М.: Металлургия, 1988.—512с.
4. Арзамасов Б.Н. Материаловедение. / Б.Н. Арзамасов - М.: Металлургия, 1986. - 540с.
5. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. / Ю.М. Лахтин - М.: Металлургия, 1983. - 407с.
6. Лахтин Ю.М. Материаловедение. / Ю.М. Лахтин, Е.П. Леонтьева. - М Машиностроение, 1990.—528с.

Приложение

Соотношение чисел твердости по БРИНЕЛЛЮ и РОКВЕЛЛУ

Твердость			Твердость				Твердость		
d _{отп} , мм	НВ кг/мм ²	HRC	d _{отп} , мм	НВ кг/мм ²	HRC	HRB	d _{отп} , мм	НВ кг/мм ²	HRB
1	2	3	1	2	3	4	1	2	3
2,20	780	72	3,40	321	33	-	4,60	170	86
2,25	745	70	3,45	311	32	-	4,65	167	85
2,30	712	68	3,50	302	31	-	4,70	163	84
2,35	682	66	3,55	293	30	-	4,75	159	83
2,40	653	64	3,60	285	29	-	4,80	156	82
2,45	627	62	3,65	277	28	-	4,85	152	81
2,50	601	60	3,70	269	27	-	4,90	149	80
2,55	578	58	3,75	262	26	-	4,95	146	78
2,60	555	56	3,80	255	25	-	5,00	143	77
2,65	534	55	3,85	248	24	-	5,05	140	76
2,70	514	52	3,90	241	23	102	5,10	137	75
2,75	495	50	3,95	235	21	101	5,15	134	73
2,80	477	49	4,00	229	20	100	5,20	131	72
2,85	461	48	4,05	223	19	99	5,25	128	71
2,90	444	46	4,10	217	17	98	5,30	126	70
2,95	429	45	4,15	212	15	97	5,35	123	69
3,00	415	43	4,20	207	14	95	5,40	121	68
3,05	401	42	4,25	201	13	94	5,45	118	67
3,10	388	41	4,30	197	12	93	5,50	116	65
3,15	375	40	4,35	192	11	92	5,55	114	64
3,20	363	39	4,40	187	9	91	5,60	111	63
3,25	352	38	4,45	183	8	90	5,65	109	61
3,30	341	36	4,50	179	7	88	5,70	107	59
3,35	331	35	4,55	174	6	87	5,75	105	58

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Лабораторная работа №1. Приборы и оборудование для термического анализа.....	4
Лабораторная работа №2. Микроскопический метод исследования металлов и сплавов.....	12
Лабораторная работа №3. Микроструктурный анализ металлов и сплавов в равновесном состоянии.....	18
Приложение.....	31