

Министерство общего и профессионального образования Свердловской области
государственное автономное профессиональное образовательное учреждение
Свердловской области
«Ирбитский мотоциклетный техникум» (ГАПОУ СО «ИМТ»)

**ПРОГРАММА ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ СРЕДНЕГО ЗВЕНА
ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
15.02.08 Технология машиностроения**

**Методические указания
по проведению практических работ
ОП. 04 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ ОП. 04
Материаловедение для специальности среднего профессионального образования
15.02.08 Технология машиностроения

Разработчики: _____ (Загорский В.А.), преподаватель ГАПОУ СО «ИМТ»
(подпись) (ФИО)

Методические указания по проведению Лабораторных работ разработаны на основе федерального государственного образовательного стандарта по специальности 15.02.08 Технология машиностроения, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 18 апреля 2014 г. N 350

В методических указаниях представлены тематика лабораторных работ, задания по лабораторным работам, рекомендуемые учебные пособия.

Содержание

Содержание	3
ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА	4
Перечень лабораторных работ	6
<i>Лабораторная работа № 1.</i> Микроскопический анализ.	7
<i>Лабораторная работа № 2.</i> Испытания на твердость.	
<i>Лабораторная работа № 3.</i> Испытания на ударную вязкость.	
<i>Лабораторная работа № 4.</i> Микроанализ сталей и белых чугунов.	
<i>Лабораторная работа № 5.</i> Термообработка (закалка и различные виды отпуска) углеродистой стали.	

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная дисциплина ОП.04 Материаловедение предназначена для реализации Федерального государственного образовательного стандарта (далее ФГОС) по специальности среднего профессионального образования (далее – СПО) 15.02.08 Технология машиностроения

Методические указания предназначены для организации проведения практических работ, состав и содержание которых направлены на расширение уровня подготовки специалистов среднего звена (далее - ППССЗ) по специальности 15.02.08 Технология машиностроения.

Дисциплина ОП.04 Материаловедение общепрофессиональной дисциплиной, устанавливающей базовые знания для освоения профессиональных модулей и принадлежит к циклу общепрофессиональных дисциплин в составе профессионального учебного цикла.

Изучение дисциплины ОП.04 Материаловедение направлено на формирование компетенций:

Общих компетенции (далее - ОК), т.е. техник по специальности 15.02.08 Технология машиностроения должен обладать общими компетенциями, включающие в себя способность:

ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 2. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 6. Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

ОК 7. Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), за результат выполнения заданий.

ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК 9. Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

Профессиональных (ПК), т.е. техник по специальности 15.02.08 Технология машиностроения должен обладать общими компетенциями, соответствующими основным видам деятельности (далее - ВД)

ВД 1 Разработка технологических процессов изготовления деталей машин

ПК 1.1. Использовать конструкторскую документацию при разработке технологических процессов изготовления деталей.

ПК 1.2. Выбирать метод получения заготовок и схемы их базирования.

ПК 1.3. Составлять маршруты изготовления деталей и проектировать технологические операции.

ПК 1.4. Разрабатывать и внедрять управляющие программы обработки деталей.

ПК 1.5. Использовать системы автоматизированного проектирования технологических процессов обработки деталей.

ВП 2 Участие в организации производственной деятельности структурного подразделения

ПК 2.1. Участвовать в планировании и организации работы структурного подразделения.

ПК 2.2. Участвовать в руководстве работой структурного подразделения.

ВП 3 Участие во внедрении технологических процессов изготовления деталей машин и осуществление технического контроля

ПК 3.1. Участвовать в реализации технологического процесса по изготовлению деталей.

ПК 3.2. Проводить контроль соответствия качества деталей требованиям технической документации.

Основными целями и задачами практических работ являются:

В соответствии с требованиями ФГОС СПО специальности 15.02.08 Технология машиностроения в результате освоения учебной дисциплины ОП. 04 Металловедение

- *обучающийся должен уметь:*
- - распознавать и классифицировать конструкционные и сырьевые материалы по внешнему виду, происхождению, свойствам;
- - определять виды конструкционных материалов;
- - выбирать материалы для конструкций по их назначению и условиям эксплуатации;
- - проводить исследования и испытания материалов;
- *обучающийся должен знать:*
- - закономерности процессов кристаллизации и структурообразования металлов и сплавов, основы их термообработки, способы защиты металлов от коррозии;
- - классификацию и способы получения композиционных материалов;
- - принципы выбора конструкционных материалов для применения в производстве;
- - строение и свойства металлов, методы их исследования;
- - классификацию материалов, металлов и сплавов, их области применения;
- *обучающийся должен знать:*
- - сущность, назначение, основные виды термической и химико-термической обработки;
- - маркировку основных конструкционных и инструментальных материалов по ГОСТу

Основой для изучения учебной дисциплины ОП.04 Материаловедение является дисциплины Химия, Физика, Математика.

При выполнении лабораторных работ студенты овладевают профессиональными первоначальными умениями и навыками в сфере изучения строения материалов

В методических указаниях содержатся описания 5 лабораторных занятий, что соответствует перечню лабораторных работ в рабочей программе по 1 разделу **Металловедение и термическая обработка**

В конце выполнения работы студент должен представить отчет в письменной форме оформленный в соответствии с ЕСКД и ответить устно на вопросы.

Работы проверяются в присутствии студента, выявленные недостатки проговариваются преподавателем.

ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ И ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

№ темы	№ занятия	лабораторных работ	Кол-во часов
Тема 1.1	ЛР №1	Микроскопический анализ	2
Тема 1.1.	ЛР №2	Испытания на твердость.	2
Тема 1.1.	ЛР №3	Испытания на ударную вязкость.	2
Тема 1.4.	ЛР №4	Микроанализ сталей и белых чугунов.	2
Тема 1.6	ЛР №5	Термообработка (закалка и различные виды отпуска) углеродистой стали.	2
		итого	10

Лабораторная работа № 1 Микроскопический анализ металлов

Цель работы: ознакомление с микроскопическим анализом металлов и сплавов, с устройством и возможностями металлографического микроскопа; освоение одной из стандартных методик микроскопического анализа сплавов.

Оборудование, приспособления, инструмент, материалы: металлографический микроскоп, микрошлифы, специальные травители.

Теоретические сведения

Макроструктурой называется строение металла, видимое без увеличения или при небольшом увеличении до 10...30 раз с помощью лупы.

Макроструктура исследуется непосредственно на поверхности изделия, на изломе или на специально подготовленном образце (темплете), который называется макрошлифом.

Получают макрошлиф после шлифования и последующего травления поверхности специальными реактивами.

Макроанализ применяется для выявления дендритного строения литых деталей, газовых пузырей, пустот, трещин, шлаковых включений, структурной неоднородности, качества сварных соединений, ликвации серы и фосфора, расположения волокон в поковках, штамповках и т. д.

1. Содержание работы

Основными методами изучения строения металлов и сплавов являются микро- и микроскопические анализы.

1.1. Макроанализ

Макроструктура – строение металла, видимое без увеличения или при небольшом увеличении (до 10–30 раз) с помощью лупы. При *макроанализе* можно одновременно наблюдать большую поверхность детали (например, отливок, поковок) в изломе или на макрошлифе. Это дает представление об общем строении металла.

Наиболее простым методом выявления строения металла является изучение излома. В отличие от аморфного тела металлы имеют зернистый (кристаллический) излом (рис. 1.1а). В большинстве случаев чем мельче зерно в изломе, тем выше механические свойства металла. По излому можно судить о размере зерна, особенностях литья и термической обработки, а также выявить отдельные дефекты.

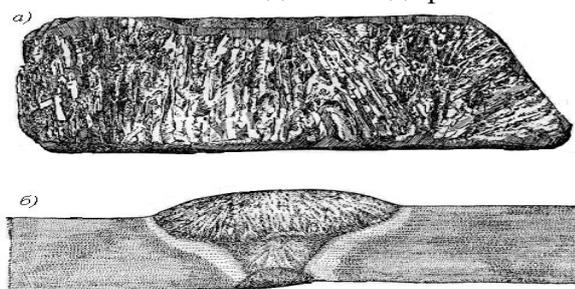


Рис. 1.1. Макроструктура: а – излом слитка сурьмы; б – макроструктура сварного соединения

Макрошлифом называют поверхность образца (детали), подготовленную для исследования макроструктуры. Образцы, называемые *темплатами*, вырезают из крупных заготовок (слитков, проката), а мелкие и средних размеров детали разрезают в определенном месте и в определенной плоскости. Поверхность образца (детали) шлифуют и подвергают травлению кислотами или специальными реактивами, что позволяет выявить, например, дефекты, нарушающие сплошность металла (пузыри, трещины, раковины и др.), неоднородность строения, созданную обработкой давлением (полосчатость), строение литого металла, сварного соединения (рис. 1.1б) и др. Методом макроанализа определяют:

- вид излома – вязкий, хрупкий, нафталинистый (в стали), камневидный (в стали) и т. д.;

- нарушения сплошности металла – усадочную рыхлость, центральную пористость, свищи, подкорковые пузыри, межкристаллитные трещины и трещины, возникшие при обработке давлением и термической обработке, флокены в стали, дефекты сварки (непровары, газовые пузыри и др.);
- дендритное строение, зону транскристаллизации в литом металле;
- химическую неоднородность литого металла (ликвацию) и присутствие в нем грубых включений;
- волокнистую структуру деформированного металла;
- структурную и химическую неоднородность металла, созданную термической, термомеханической или химико-термической обработкой.

1.2. Микроанализ

Микроскопический анализ (микроанализ) заключается в исследовании структуры металла при больших увеличениях (более 30 крат) и применяется:

- для определения количества и типа структурных составляющих металлов и сплавов;
- для оценки формы, размера и характера расположения зерен;
- для определения характера и качества предшествующей обработки (термической обработки, литья, обработки давлением, сварки);
- для приблизительного определения содержания углерода в углеродистой и низколегированной стали по структуре в равновесном состоянии;
- для установления наличия неметаллических включений и оценки их формы, размеров, характера расположения;
- для установления наличия микродефектов – микротрещин, раковин и т. п.;
- для определения глубины слоя, образовавшегося на поверхности после цементации, азотирования и других видов химико-термической обработки, глубины обезуглероживания и т.п.;
- для обнаружения неметаллических включений – сульфидов, оксидов и др.

Микроструктура – это строение (взаимное расположение, форма и размеры зерен) металлов и сплавов, видимое при помощи микроскопа. Для микроанализа из исследуемого материала вырезают образец, поверхность его подвергают шлифованию, полированию, травлению и затем рассматривают в металлографический микроскоп.

Структурная составляющая – это участок микроструктуры, имеющий свои строение и свойства и отдаленный от остальных участков поверхностью раздела (границей).

Промышленные металлы и сплавы представляют собой конгломерат кристаллов неправильной формы, т. е. имеют поликристаллическое строение. Так как кристаллы должны иметь геометрически правильную огранку, то кристаллы неправильной формы в поликристаллическом агрегате принято называть *зернами*.

Размер зерна поликристаллических материалов определяет большинство потребительских и технологических свойств материалов (см. приложение) и является важнейшим классификационным и диагностическим признаком, устанавливаемым в государственных стандартах и паспортах промышленно используемых материалов.

Так как размер зерен в поликристаллических материалах может быть от единиц микронов до нескольких миллиметров, то изучение структуры поликристаллических материалов, в том числе определение размера зерен, как правило, проводится с применением оптической или электронной микроскопии. Для промышленно используемых материалов действуют соответствующие государственные стандарты на методы определения размера их зерен.

1.3. Приготовление микрошлифа

Образец металла, специально приготовленный для исследования его структуры под микроскопом, называется *микрошлифом*. Для микроанализа из исследуемого материала вырезают образец, поверхность его подвергают шлифованию, полированию, травлению и затем рассматривают в металлографический микроскоп.

Шлифование поверхности вручную или на специальных шлифовальных станках начинают на шкурке с наиболее крупным абразивным зерном, затем постепенно переходят к шлифованию на шкурке с более мелким абразивным зерном, после чего поверхность образца полируют.

Полирование проводят на специальном полировальном станке на вращающемся круге, обтянутом сукном, смачиваемым полировальной жидкостью – водой со взвешенными в ней частицами окиси хрома или алюминия. Обрабатываемая поверхность образца получается блестяще зеркальной. Но полученная поверхность не позволяет судить о строении зерен – на светлом фоне полированной поверхности образца выявляются только неметаллические включения и микродефекты.

Для выявления микроструктуры полированную поверхность образца подвергают травлению, т. е. действию растворов кислот, щелочей, солей.

Для травления шлифов наиболее распространенными являются следующие реактивы:

- для сталей и чугунов – 4-процентный раствор азотной кислоты в этиловом спирте;
- для алюминиевых сплавов – плавиковая кислота, едкий натр;
- для меди и медных сплавов – соляно-кислый раствор хлорного железа.

Различные составляющие структуры растворяются с различной скоростью, поэтому одни вытравляются больше, а другие – меньше. При освещении микрошлифа на микроскопе лучи света по-разному отражаются от различно протравившихся структурных составляющих. Места, протравленные сильнее, больше рассеивают отраженные лучи, поэтому в объективе микроскопа они получаются более темными.

На рис. 1.2 показано, что вследствие более сильного травления границ зерен лучи, падающие на эти места, отражаются в стороны, не попадают в объектив микроскопа, поэтому границы зерен кажутся темными.

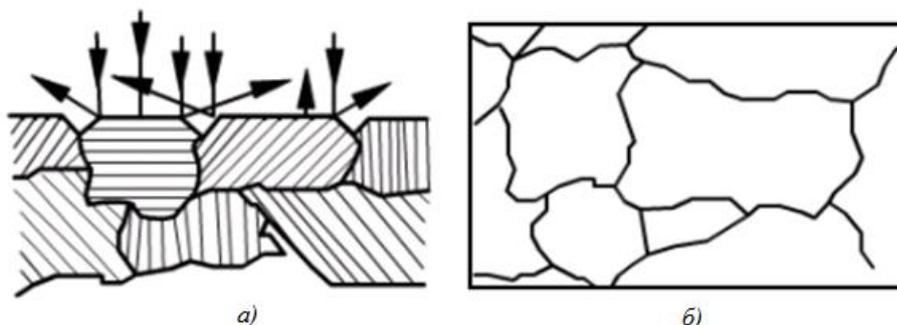


Рис. 1.2. Формирование изображения структуры однофазного сплава:
а) отражение лучей от травленого шлифа; б) вид в микроскопе

При работе с микрошлифом следует помнить, что:

- нельзя прикасаться пальцами к поверхности микроскопа;
- нельзя протирать полированную поверхность;
- при хранении микрошлиф ставят полированной поверхностью вверх;
- на столик микроскопа шлиф ставят полированной поверхностью вниз, но при этом нельзя двигать его по столику, чтобы не нанести царапин.

1.4. Микроскопы металлографические

Для исследования микроструктуры металлов используются *металлографические микроскопы*. Металлографический микроскоп позволяет рассматривать непрозрачные тела в отраженном свете. В этом основное его отличие от биологического микроскопа. По расположению оптических систем и устройств различают вертикальные и горизонтальные микроскопы. Вертикальные микроскопы МИМ–6 и МИМ–7 при визуальном наблюдении дают увеличение 60–1440 раз, что позволяет изучать детали структуры с минимальным размером 0,2 мкм. Горизонтальные микроскопы МИМ–8 обеспечивают увеличение до 1350 раз при визуальном наблюдении и до 2000 раз – при фотографировании.

Изображение предмета увеличивается в микроскопе дважды: в объективе и окуляре. Поэтому *общее увеличение* микроскопа N_n равно произведению увеличения объектива $n_{об}$ на увеличение окуляра $n_{ок}$:

$$N_n = n_{об} \cdot n_{ок} \quad (1.1)$$

Главное увеличение, или максимально полезное увеличение, микроскопа обеспечивается объективом. Оно определяется разрешающей способностью объектива. *Разрешающая способность объектива* – минимальное расстояние, на котором две близлежащие точки ещё видны отдельно.

Окуляры предназначены для увеличения изображения, полученного объективом, а также для исправления оптических недостатков объективов.

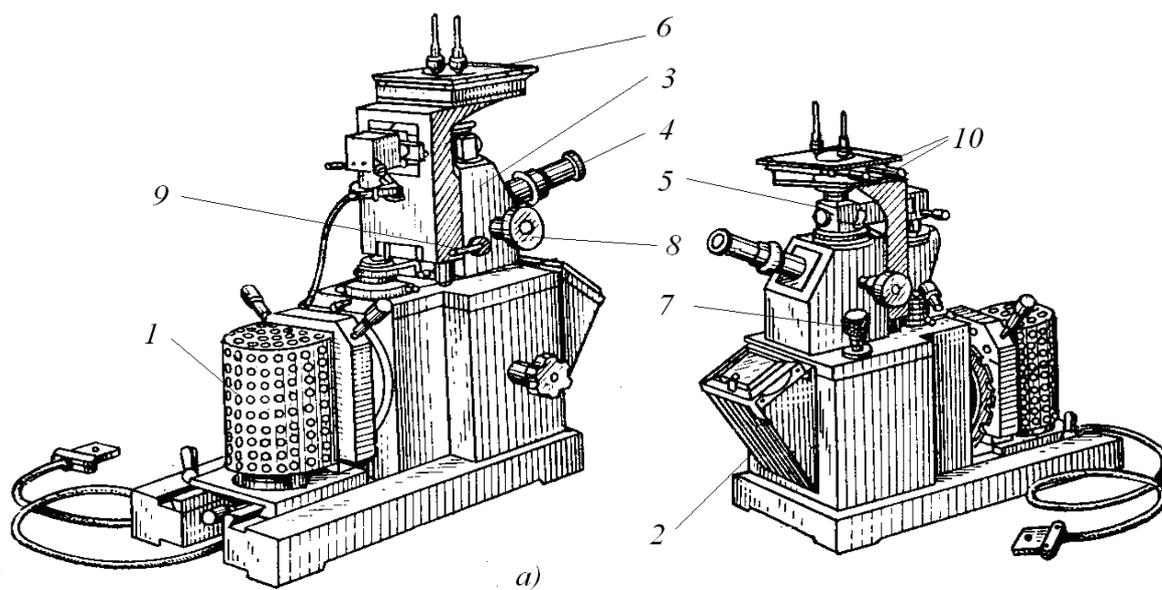


Рис. 1.3. Микроскоп МИМ–7:

1 – фонарь осветителя, 2 – нижний корпус микроскопа с фотокамерой, 3 – верхний корпус микроскопа, 4 – визуальный тубус, 5 – осветительный тубус, 6 – предметный столик, 7 – микрометрический винт, 8 – макрометрический винт для вертикального перемещения предметного столика, 9 – стопорное устройство для макровинта, 10 – винты для перемещения предметного столика в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Микроскоп МИМ–7 (рис. 1.3) состоит из осветителя 1, нижнего корпуса с фотокамерой 2, верхнего корпуса 3, визуального тубуса 4, осветительного тубуса 5, предметного столика 6.

Осветительная лампа 1 питается через трансформатор, понижающий напряжение в пределах 6–18,5 В. Секционный переключатель служит для изменения напряжения на зажимах лампы. Контроль за режимом работы лампы ведётся по вольтметру.

Справа в корпусе выведен винт микроскопической фокусировки микроскопа на объект 8. На верхнем корпусе укреплен визуальный тубус 4, который при визуальном наблюдении вдвигается в корпус до упора, при фотографировании выдвигается до отказа и осветительный тубус 5, в верхнем срезе которого в посадочное отверстие вставляется объектив.

Предметный квадратный столик перемещается в горизонтальной плоскости в двух взаимно перпендикулярных направлениях вращением винтов 10.

Рабочая высота предметного столика устанавливается совмещением рисок на кронштейне и на корпусе вращением рукоятки механизма грубой наводки на резкость 8. Для фиксации выбранного положения предметного столика служит рукоятка 9.

Оптическая схема металлографического микроскопа показана на рис. 1.4. Лучи от осветителя 1, преломляясь призмой 2, проходят через объектив 3, отражаются от

микрошлифа 4, вновь проходят через объектив 3, преломляются призмой 5 и через окуляр 6 попадают в глаз наблюдателя.

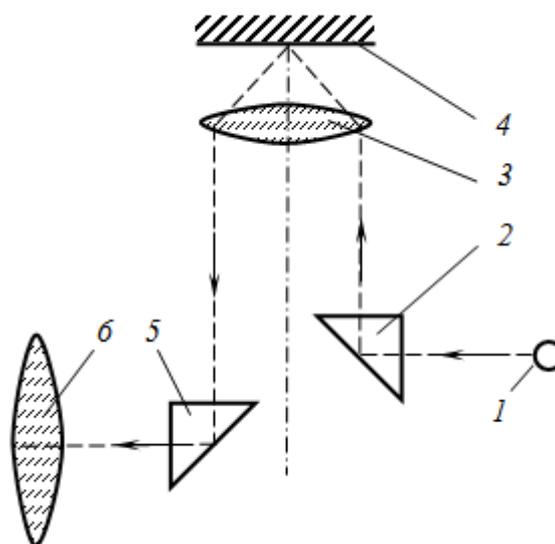


Рис. 1.4. Оптическая схема металлографического микроскопа МИМ-7:

1 – Осветитель, 2, 5 – преломляющие призмы, 3 – объектив, 4 – микрошлиф, 6 – окуляр
 Конструкция оптических микроскопов включает в себя устройства, позволяющие выполнять измерения размеров объекта: *объект-микрометр* и *окуляр-микрометр*.

Объект-микрометр – пластина, на которую нанесена шкала длиной 1 мм, разделенная на 100 равных частей.

Окуляр-микрометр – окуляр, в который вставлена пластинка с линейкой, при помощи которой можно определить величину зерна, глубину слоя (азотирования, цементации), размер микродефектов.

Цена деления окуляра-микрометра зависит от увеличения объектива. Для определения цены деления окуляра-микрометра на предметный столик микроскопа устанавливается объект-микрометр. После наведения на фокус в поле зрения микроскопа видны шкалы объекта-микрометра и окуляра-микрометра. Совместив обе шкалы, можно определить, сколько делений шкалы объекта-микрометра совмещается с делениями шкалы окуляра-микрометра. На рис. 1.5 показана схема определения цены деления окуляра микроскопа. При данном объективе 40 делений окуляра-микрометра, видимых в поле зрения микроскопа, совмещаются с 16 делениями объекта-микрометра.

Цену деления окуляра-микрометра рассчитывают по формуле

$$Ц_{ок} = \frac{M \cdot Ц_{об}}{H} \quad (1.2)$$

где $Ц_{об}$ – цена деления шкалы объекта-микрометра ($Ц_{об} = 1/100 = 0,01$ мм), мм; M – число делений объекта-микрометра; H – число делений окуляра-микрометра.

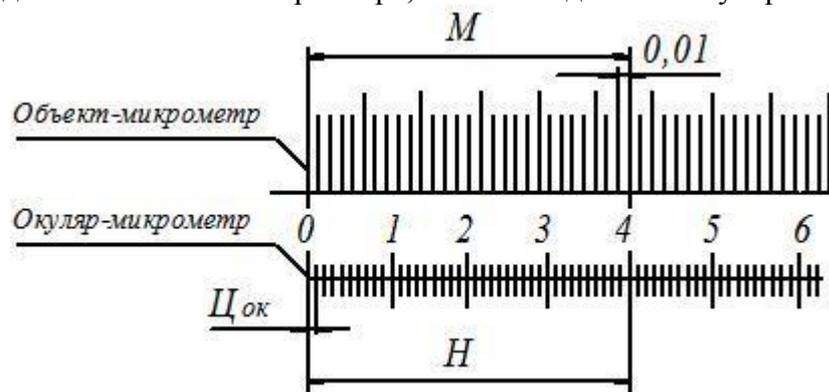


Рис. 1.5. Схема определения цены деления окуляра-микрометра
 1.5. Проведение испытаний

Для определения средней величины зерна существует несколько методов, среди которых наиболее распространенным является *метод площадей*. Измерение этим методом величины зерна производится на предложенном для опыта микрошлифе с помощью металлографического микроскопа подсчетом количества зерен по вертикали и горизонтали. Диаметры зерна по вертикали и горизонтали рассчитываются по формуле:

$$D_{\text{гор(верт)}} = \frac{K \cdot \Pi_{\text{ок}}}{N} \quad (1.3)$$

где K – количество делений шкалы окуляра-микрометра в данном опыте;

N – число зерен, пересекаемых центральной линией шкалы.

Далее определяется средний диаметр зерна:

$$D_{\text{ср}} = \frac{D_{\text{гор}} + D_{\text{верт}}}{2}$$

Затем площадь среднего диаметра зерна

$$\Phi = \frac{\pi \cdot D_{\text{ср}}^2}{4} \quad (1.5)$$

Для удобства классификации зерну в зависимости от его размера присваивается номер в соответствии с ГОСТ 5639–82 (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Характеристики (параметры) структуры стали с разной величиной баллов

Номер зерна (баллы)	Средняя площадь зерна, мм ²	Среднее число зерен на площади 1 мм ² шлифа	Среднее число зерен в 1 мм ³	Средний диаметр зерна, мм	
				по расчету	условный
0	0,128	8	21	0,352	0,313
1	0,064	16	64	0,250	0,222
2	0,032	32	179	0,177	0,167
3	0,016	64	512	0,125	0,111
4	0,008	128	1446	0,088	0,0788
5	0,004	256	4096	0,060	0,0553
6	0,002	512	11417	0,041	0,0391
7	0,001	1024	32768	0,031	0,0267
8	0,0005	2048	92160	0,022	0,0196
9	0,00025	4096	262122	0,015	0,0138
10	0,000125	8192	737280	0,012	0,0099
11	0,000062	16384	2097152	0,0079	0,0069
12	0,000031	32768	5930808	0,0056	0,0049
13	0,000016	65536	16777216	0,0039	0,0032
14	0,000008	131072	47448064	0,0027	0,0023

Удобно определять размер зерна с использованием номограммы (рис. 1.5а), по которой можно установить зависимость между средним размером зерна (мкм), числом зёрен на 1 мм² площади шлифа и номером (баллом) зерна.

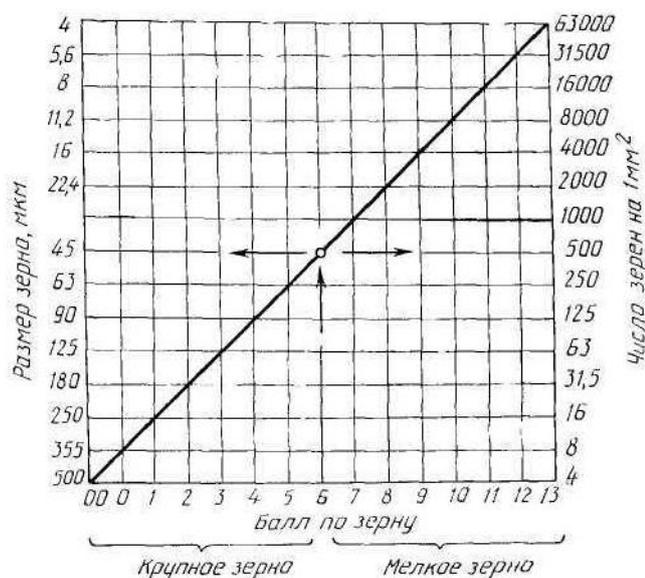


Рис. 1.5а Номограмма для определения размера зерна

Например, при среднем диаметре зерна 45 мкм на площади 1 мм² находится 500 зерен, соответствующих баллу 6.

1.6. Влияние размера зерна поликристаллических материалов на их механические свойства

Механические свойства металлических сплавов в большой степени зависят от величины зерна. Так, зависимость предела текучести σ_m от размера (диаметра) зерна d описывается отношением

$$\sigma_m = \sigma_0 + k \cdot d^{-1/2}$$

где σ_0 и k – постоянные величины для данного металла.

Влияние размера зерна d на условный предел текучести σ_{02} и предел выносливости σ_1 низкоуглеродистой стали показано на рис. 1.6а. Практическое значение этой закономерности определяется тем, что чем мельче зерно, тем труднее развивается хрупкая трещина. В то же время мелкое зерно понижает ударную вязкость (KCU) и порог хладноломкости (рис. 1.6б).

Зависимость твердости образцов из низкоуглеродистой стали с карбидными частицами различной степени дисперсности представлена на рис. 1.7. Характер зависимости показывает, что с увеличением размера частиц твердость значительно уменьшается.

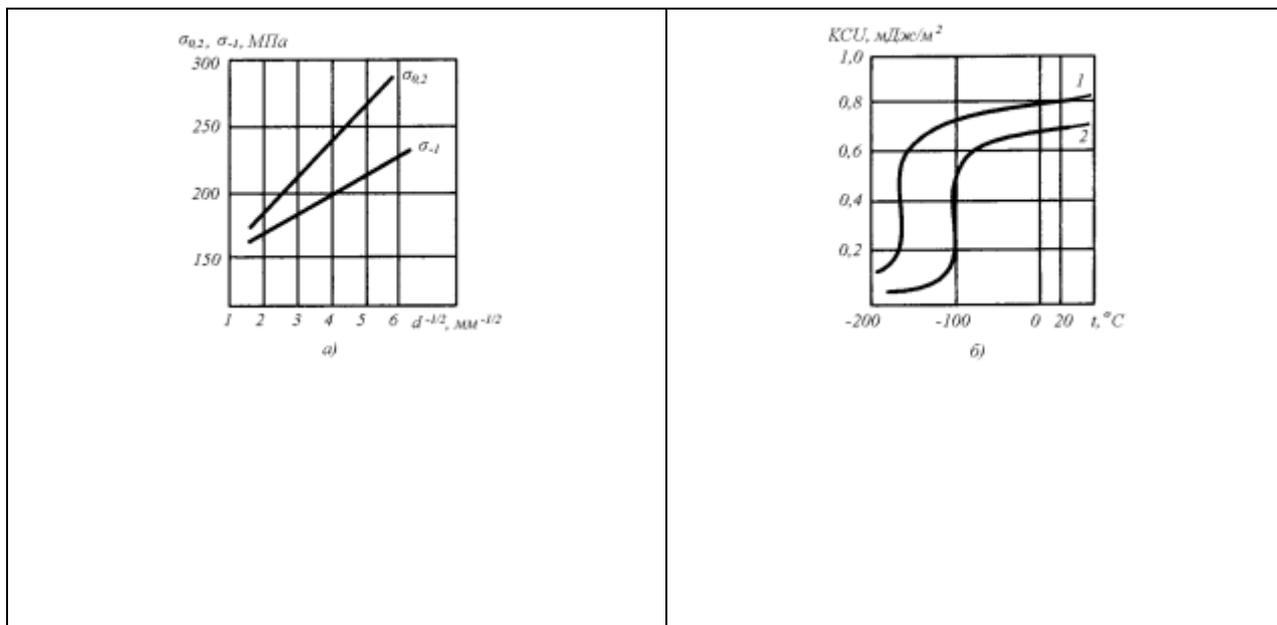


Рис. 1.6. Влияние величины зерна d на условный предел текучести σ_{02} , предел выносливости σ_{-1} (а) и ударную вязкость КСУ (б) низкоуглеродистой стали:
 1 – Мелкое зерно (0,04 мм); 2 – крупное зерно (0,09 мм)

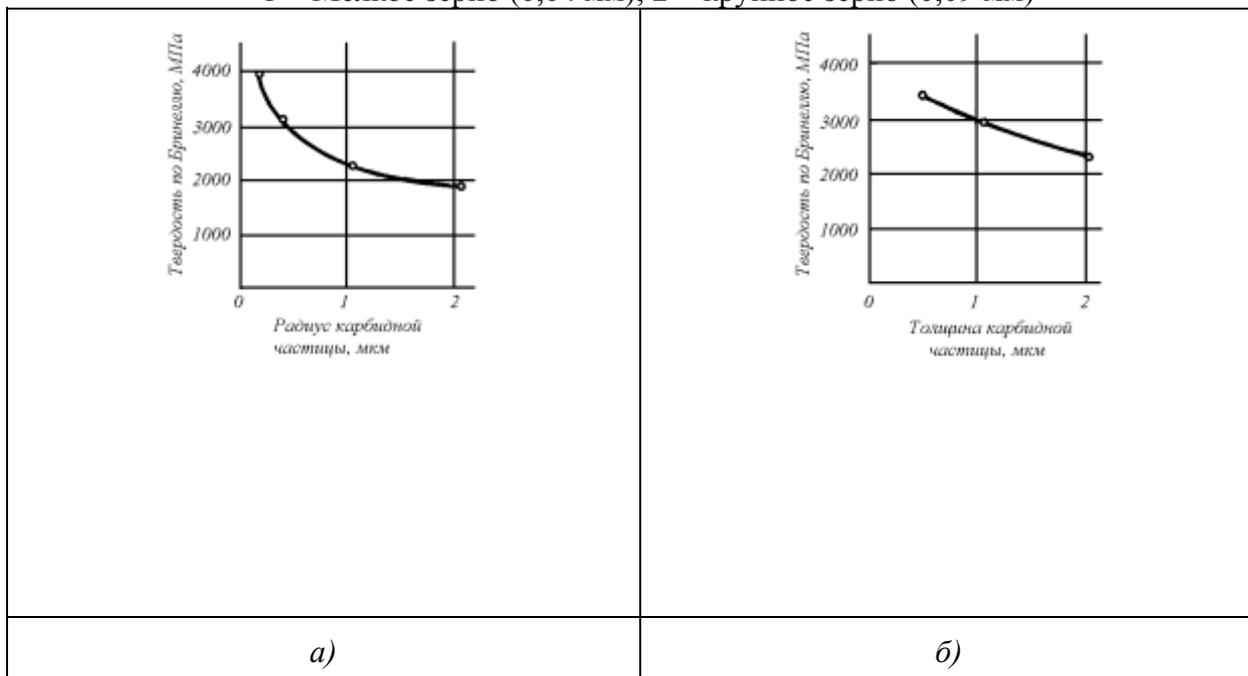


Рис. 1.7. Зависимость твердости от величины зерна: а – глобулярный карбид в ферритной матрице (сталь 0,8% С), б – пластинчатая фаза структур перлитного типа (сталь 0,8% С)

2. Порядок выполнения работы

2.1. Подготовка микроскопа к визуальному наблюдению

- Установить объектив и окуляр соответственно выбранному увеличению.
- Винтами установить отверстие съёмной шайбы над объективом.
- Над отверстием съёмной шайбы установить микрошлиф полированной поверхностью вниз.
- Поворотом стопорного винта освободить макрометрический винт.
- Вертикальным перемещением предметного столика, вращая макрометрический винт, найти изображение микрошлифа и застопорить механизм грубой подачи.
- С помощью микрометрического винта произвести фокусировку микроскопа на объект.

2.2. Определение цены деления

Для определения цены деления окуляра-микрометра необходимо:

- подготовить микроскоп к наблюдению;
- установить объект-микрометр на столик микроскопа таким образом, чтобы стекло со шкалой было направлено в сторону объектива, а пучок света проходил через центр стекла;
- изображение шкалы объекта-микрометра отыскать в поле зрения окуляра, для чего, удерживая рукоятки грубой подачи, освободить стопор этого механизма; непрерывно наблюдая в окуляр, плавно и медленно вращая рукоятку, добиться появления шкалы в поле зрения окуляра.

Добившись изображения шкалы объекта-микрометра в поле зрения окуляра, необходимо:

- установить шкалы объекта-микрометра и окуляра-микрометра параллельно друг другу (поворотом окуляра вокруг оси);
- винтами предметного столика добиться частичного наложения шкал и совмещения в одну линию начальных или любых других штрихов обеих шкал;
- не меняя положения столика, отыскать другую пару штрихов, принадлежащих разным шкалам, совмещающихся в одну линию;
- подсчитать число делений шкалы объекта-микрометра M и окуляра-микрометра N , находящихся между двумя парами совмещенных в линию штрихов;
- определить цену деления окуляра-микрометра по формуле (1.2).

2.3. Определение величины зерна стали

Для определения величины (балла) зерна стали необходимо (рис. 1.8):

- микрошлиф поместить на столик микроскопа;
- добиться чёткого изображения структуры;
- просмотреть несколько участков шлифа; выбрать участок с наиболее крупными зёрнами;
- установить шкалу окуляра-микрометра горизонтально;
- совместить нулевую риску шкалы с границей любого зерна (двигая столик микровинтами);
- не меняя положения столика, отыскать границу любого зерна, совмещенного с риской шкалы окуляра-микрометра;
- между рисками, совмещёнными с границами зёрен, подсчитать количество делений шкалы окуляра-микрометра K и количество зёрен, пересекаемых центральной линией шкалы N ;
- определить диаметр зерна по горизонтали по формуле (1.3);
- установить шкалу окуляра-микрометра вертикально (поворотом окуляра) и определить диаметр зерна по вертикали по формуле (1.3);
- усреднить по формуле (1.4) горизонтальный и вертикальный размеры зерна;
- определить площадь зерна по формуле (1.5);
- по табл. 1.1 определить балл зерна стали (если экспериментальное и табличное значения расходятся, то нужно брать меньший балл зерна).

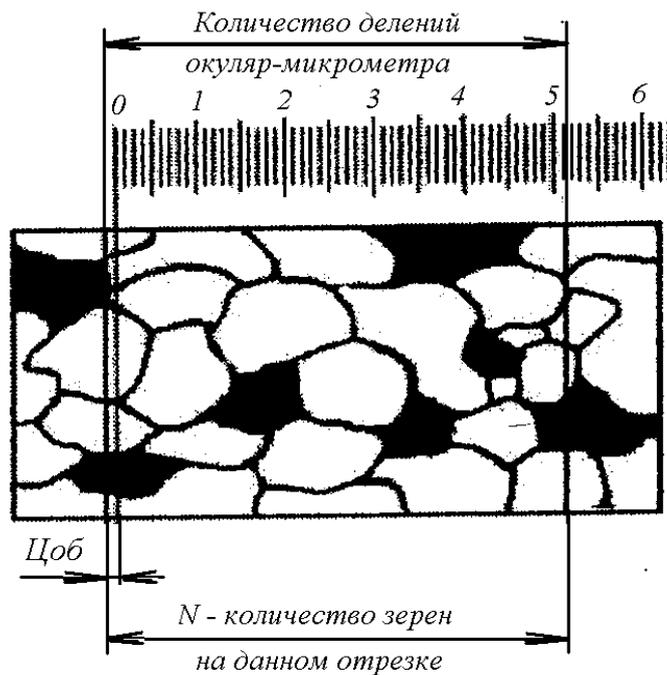


Рис. 1.8. Схема определения размера зерна при помощи окуляра-микрометра
3. Отчет по лабораторной работе № 1 Микроскопический анализ металлов

1. Изучение микроструктуры образца.

Увеличение

Материал

2. Определение цены деления окуляра микрометра $\zeta_{ок}$:

$\zeta_{ок} =$, мм,

где ...

3. Определение величины зерна при помощи окуляра-микрометра:

а) определение размера зерна в горизонтальном направлении:

$D_{гор} =$, мм,

где ...

б) определение размера зерна в вертикальном направлении:

$D_{верт} =$, мм,

где ...

в) определение среднего размера зерна:

$D_{ср} =$, мм,

где ...

г) определение площади зерна:

$\Phi =$, мм²,

где ...

д) определение стандартного номера (балла) зерна по таблице:

зерно соответствует баллу

Содержание отчета

1. Описание методики выявления структуры макрошлифа.
2. Зарисовка и характеристика макроструктуры.
3. Зарисовка характерных (доэвтектоидных, эвтектоидных, заэвтектоидных, эвтектических) микроструктур сталей, чугунов, алюминиевых и медных сплавов.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что называется макроструктурой?
2. Что представляет собой макрошлиф?
3. Что можно выявить на отполированном, но не протравленном макрошлифе?

4. С какой целью макрошлиф подвергают травлению?
5. Может ли макрошлиф помочь определить причину брака, допущенного при изготовлении детали?
6. Что дает изучение макрошлифа?
7. Можно ли по виду макроструктуры определить, какой обработке подвергся исследуемый образец?
8. Можно ли исследовать макроструктуру массивной детали без ее разрушения?
9. Какие основные этапы подготовки макрошлифа Вам известны?
10. Что можно определить по виду излома?
11. Что называется микроструктурой?
12. Что представляет собой микрошлиф?
13. Что можно выявить на нетравленном отполированном шлифе?
14. С какой целью микрошлиф подвергают травлению?
15. Как подобрать травитель для микрошлифа?
16. Каковы признаки перетравливания шлифа?
17. Каковы признаки недотравливания шлифа?
18. Какие искажения структуры возможны при изготовлении микрошлифов?
19. В чем причина несоответствия между наблюдаемой картиной микроструктуры и истинной микроструктурой?

Лабораторная работа № 2 испытание на твёрдость

Цель работы: ознакомление с методикой определения твердости по методу Роквелла и микротвердости на приборе ПМТ-3. Определение механических свойств стали по ее твердости и микротвердости.

Необходимое оборудование, приспособления, инструмент, материалы: твердомер типа ТК-2, микротвердомер ПМТ-3, образцы сплавов металлов в отожженном и закаленном состояниях.

Краткие теоретические сведения

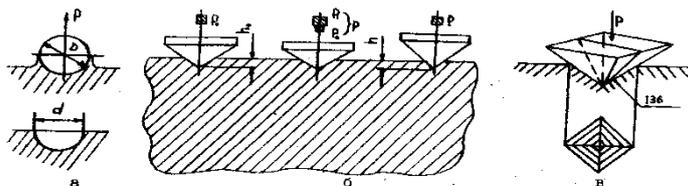


Рис. 3. Схема определения твердости по Бринеллю (а), Роквеллу (б), Виккерсу (в)

Твердостью называется свойство материала оказывать сопротивление местной пластической деформации при контактом воздействии в поверхностном слое. Измерение твердости вследствие быстроты и простоты осуществления, а также

возможности без разрушения изделия суждения о его свойствах, получило широкое применение для контроля качества металлических изделий.

Существует несколько методов определения твердости.

а б в

P

ис. 3. Схема определения твердости а - по Бринеллю ; б- Роквеллу; в -Виккерсу
Определение твердости по Бринеллю (НВ). Метод основан на том, что в плоскую поверхность металла вдавливаются под постоянной нагрузкой Р закаленный стальной шарик (рис.3,а).

После снятия нагрузки в испытуемом материале образуется отпечаток (лунка). Твердость по Бринеллю, в МПа, определяется по формуле

$$HB = \frac{2P}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} \cdot 10^{-6}$$

где P- нагрузка, Н;

D- диаметр шарика, мм;

d- диаметр отпечатка, мм.

Диаметр шарика и нагрузка Р выбираются в зависимости от вида испытуемого материала:

для стали и чугуна D= 10 мм, P= 30000 Н (P = 300D²);

для меди и сплавов D= 10 мм, P= 10000 Н (P = 100D²);

для очень мягких сплавов (алюминий, баббиты и др.) D = 10 мм, P = 2500 Н (P = 25D²)

При расчете твердости НВ измеряют диаметр лунки dи по нему находят твердость по прилагаемым к прибору таблицам. Метод Бринелля не рекомендуется применять для металлов с твердостью более 450, так как шарик может деформироваться, что исказит результаты измерений.

Определение твердости по Роквеллу (HR). При этом методе твердость определяют по глубине отпечатка. Наконечником служит алмазный конус с углом при вершине 120° или стальной закаленный шарик (D = 1,588 мм). Алмазный конус применяют для твердых, а шарик-для мягких металлов. Конус и шарик вдавливают двумя последовательными нагрузками (рис.3,б): предварительной P₀= 100 Н и общей P = P₀+ P₁(где P₁— основная

нагрузку). Основная нагрузка для шарика 900 Н (шкала В), для алмазного конуса 1400 Н (шкала С) и 500 Н при испытании очень твердых и тонких металлов (шкала А).

Твердость по Роквеллу измеряют в условных единицах. За единицу твердости принято значение осевого перемещения наконечника на 0,002 мм. Твердость по Роквеллу HR определяют по формулам $HR = 100 - l$ (при измерении по шкалам А и С), $HR = 130 - l$ (при измерении по шкале В). Значение l , мм:

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

, где h – глубина внедрения наконечника в испытуемый материал под действием общей нагрузки P , измеренная после снятия основной нагрузки P_1 с оставлением предварительной нагрузки P_0 , мм;

h_0 – глубина внедрения наконечника в испытуемый материал под действием нагрузки P_0 , мм.

Твердость по Роквеллу обозначается HRA при нагрузке 600 Н (испытание алмазным конусом). HRC при нагрузке 1500 Н и HRB при нагрузке 1000 Н (испытание стальным шариком). Значения твердости сразу считывают по шкале прибора.

Для определения твердости по Роквеллу широко применяется прибор ТК-2, так как он позволяет испытывать различные материалы, а также тонкие слои. Значения твердости по Роквеллу могут быть приближенно переведены в значения твердости по Бринеллю.

При испытании нагрузку и наконечник выбирают в зависимости от твердости испытываемого материала по табл. 1.

Таблица 1

Шкала	Вид наконечника	Нагрузка, Н	Обозначение твердости	Пределы измерения твердости в единицах HR
А	Алмазный конус	600	HRA	70-85
В	Стальной шарик	1000	HRB	25-100
С	Алмазный конус	1500	HRC	20-67

При испытании ответственных деталей твердостью

HRC20...50 допускается применение наконечника из твердого сплава.

Образец для испытаний должен иметь плоские и параллельные друг другу поверхности, без дефектов и окалины, поэтому сначала проводится зачистка поверхностей напильником, шлифовальным кругом или шлифовальной бумагой. Правильность показаний прибора периодически проверяют по эталонным образцам с известной твердостью.

Подготовленный образец помещают на столе прибора 1 (рис. 4), вращением маховика 2 по часовой стрелке устанавливают маленькую стрелку против красной точки, а вращением барабана 3 – нуль шкалы “С” против конца большой стрелки индикатора. Плавным нажатием на клавишу 4 включают привод механизма нагружения. После окончания цикла

нагрузки производят отсчет по шкале индикатора. Вращением маховика 2 опускают стол, и повторяют испытание не менее трех раз.

Определение твердости при вдавливании алмазной пирамиды по Виккерсу (HV). Метод используют для определения твердости деталей малой толщины и тонких поверхностных слоев, имеющих высокую твердость. Твердость определяют, вдавливая в испытываемую поверхность (шлифованную или полированную) четырехгранную алмазную пирамиду (рис. 3,в), с углом при вершине 136°. Твердость по Виккерсу рассчитывают по формуле:

$$HV = 1,854 \frac{P}{d^2}$$

где P – нагрузка на пирамиду 50, 100, 200, 300, 500, 1000 или 1200 Н

(обозначения: HV₅, HV₁₀, HV₂₀ и т. д.);

d – среднее арифметическое двух диагоналей отпечатка, измеряемых после снятия нагрузки, мм.

Чем тоньше материал, тем меньше должна быть нагрузка. Твердость по Виккерсу определяется с помощью специальных таблиц по измеряемым значениям d в мм.

Правила техники безопасности

1. Все студенты, приступая к лабораторным работам, должны ознакомиться с правилами работы в лаборатории кафедры и расписаться в журнале по технике безопасности.
2. Работы проводятся только с разрешения преподавателя.
3. Все электроприборы должны быть заземлены.
4. Студенты обязаны осторожно обращаться с приборами и оборудованием.
5. По окончании работы приборы должны быть отключены от сети.

Порядок выполнения работы

1. Изучить работу твердомера ТК-2М. Произвести замеры твердости образцов. Использовать таблицу 2.
2. Произвести расчеты и заполнить табл. 3. Определить класс (марку) стали или чугуна.
4. Определить свойства образцов, используя формулу

$$\sigma_s = KHV, (1)$$

где K – коэффициент, зависящий от материала. Для стали с твердостью 120 ... 450 HB K ≈ 0,34; для меди, латуни, бронзы отожженных K ≈ 0,55, наклепанных K ≈ 0,40; для алюминия и алюминиевых сплавов с твердостью 20 ... 45 HB K ≈ 0,35

Таблица 2

Ориентировочный перевод значений твердости, определяемых различными методами

HV, МПа	HB, МПа	HR по шкале			HV, МПа	HB, МПа	HR по шкале		
		C	A	B			C	A	B
12340	7800	72	84	--	2280	2290	20	61	100
11160	7450	70	83	--	2220	2230	19	60	99
10220	7120	68	82	--	2170	2170	17	60	98
9410	6820	66	81	--	2130	2120	15	59	97
8680	6730	64	80	--	2080	2070	14	59	95

8040	6270	62	79	--	2010	2010	13	58	94
7460	6010	60	78	--	1970	1970	12	58	93
6940	5780	58	78	--	1920	1920	11	57	92
6500	5550	56	77	--	1860	1870	9	57	92
6060	5340	54	76	--	1830	1830	8	56	90
5870	5140	52	75	--	1780	1790	7	56	90
5510	4950	50	74	--	1740	1740	6	55	89
5340	4770	49	74	--	1710	1700	4	55	88
5020	4610	48	73	--	1660	1670	3	54	87
4740	4440	46	73	--	1620	1630	2	53	86
4600	4290	45	72	--	1590	1590	1	53	85
4350	4150	43	72	--	1550	1560	-	-	84
4230	4010	42	71	--	1520	1520	-	-	83
4010	3880	41	71	--	1490	1490	-	-	82
3900	3750	40	70	--	1480	1460	-	-	81
3860	3630	39	70	--	1430	1430	-	-	80
3610	3520	38	69	--	1400	1400	-	-	79
3440	3410	36	68	--	1380	1370	-	-	78
3340	3310	35	67	--	1340	1340	-	-	77
3200	3210	33	67	--	1310	1310	-	-	76
3110	3110	32	66	--	1290	1280	-	-	75
3030	3020	31	66	--	1270	1260	-	-	74
2920	2930	30	65	--	1230	1230	-	-	73
2850	2850	29	65	--	1210	1210	-	-	72
2780	2770	28	64	--	1180	1180	-	-	71
2700	2690	27	64	--	1160	1160	-	-	70
2610	2620	26	63	--	1150	1140	-	-	68
2550	2550	25	63	--	1130	1110	-	-	67
2490	2480	24	62	--	1100	1100	-	-	66

2400	2410	23	62	102	1090	1090	-	-	65
2350	2350	21	61	101	1080	1070	-	-	64

Таблица 3

Результаты испытаний

Образец	Материал	Состояние	HRC ср	НВ, МПа	σ_s , МПа
1					
2					
3					
4					
5					

Содержание отчета

1. Краткое описание методики определения твердости металлов и сплавов.
2. Результаты испытаний в виде таблицы 3.
3. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие методы определения твердости Вам известны?
2. Каковы единицы измерения твердости, определяемой различными способами?
3. По каким формулам определяются числа твердости по различным методам?
4. Как проводится подготовка образца для измерения твердости?
5. Как проводятся испытания твердости на приборе ТК-2?
6. В каких случаях используют при измерении шарик, алмазный конус, твердосплавный конус?
7. Почему измерения твердости по Бринеллю нельзя применять для тонких образцов?
8. Почему широко применяется метод измерения твердости по методу Роквелла?
9. Каковы зависимости между твердостью и пределом прочности?

Лабораторная работа № 3 испытания на ударную вязкость

Цель работы: изучение оборудования и методики испытаний на ударную вязкость; определение ударной вязкости стальных образцов.

Необходимое оборудование, приспособления, инструмент, материалы: маятниковый копер МК-30, штангенциркуль, призматические стальные образцы, лупа.

Краткие теоретические сведения

Ударная вязкость – работа удара, отнесенная к начальной площади поперечного сечения образца в месте концентратора (надреза). Ударную вязкость обозначают буквами **КС** (символ ударной вязкости), третья буква – вид концентратора: КСУ, КСV, КСТ. Допускается обозначать ударную вязкость двумя индексами (a_i); первый (a) – символ ударной вязкости; второй (i) – символ типа образца.

Работа удара – работа, затрачиваемая на разрушение образца, обозначается двумя буквами (КУ, КV, или КТ) и цифрами. Первая буква (К) – символ работы удара, вторая буква (U, V или T) – вида концентратора. Допускается обозначать работу удара двумя буквами A_i : первый (A) – символ работы удара, второй (i) – символ типа образца.

Хладноломкость – свойство металлического материала терять вязкость, хрупко разрушаться при понижении температуры.

Испытания металлов и сплавов, из которых изготовлены механизмы и оборудование, проводимые под действием статических нагрузок, не дают объективных данных для оценки надежности устройств в целом. Важное значение имеет определение механических характеристик в условиях, близких к реальным, когда под действием определенных факторов (действие концентраторов напряжений, увеличение скорости деформации, понижение температуры и др.) металлы переходят в хрупкое состояние и могут катастрофически (очень быстро) разрушаться. В связи с этим во многих технических условиях на изготовление различных изделий предусмотрены динамические испытания материалов – испытания на ударный изгиб (определение ударной вязкости).

Метод испытания на ударный изгиб при температуре от минус 100 °С до плюс 1200 °С регламентирован ГОСТ 9454-78. Метод основан на разрушении образца с концентратором посередине одним ударом маятникового копра

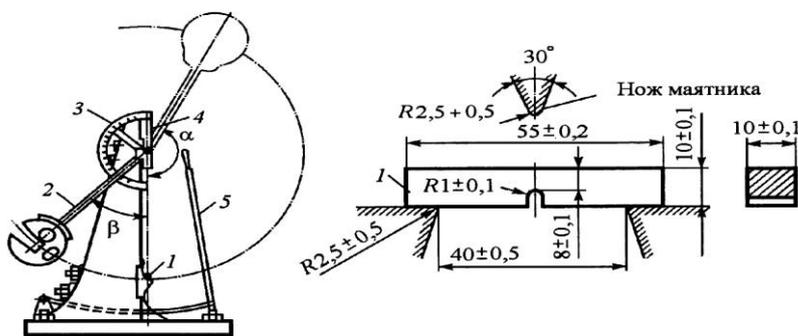


Рис. 1. Схема маятникового копра и образца для определения ударной вязкости.

Копер имеет тяжелый маятник, который свободно качается вокруг оси. При помощи защелки маятник может быть свободно

установлен на различной высоте. Если защелку освободить, то маятник упадет и по инерции взлетит на такую же высоту, на которую был поднят. Если на пути падения маятника встретится препятствие, то преодолев его, энергия падения маятника уменьшится, и он взлетит на меньшую высоту. Препятствием является образец, который устанавливают на пути падения маятника, надрезом в сторону, противоположную удару маятника. Падая, маятник ребром ломает образец.

Общий запас энергии маятника будет расходоваться на разрушение образца и на взлет маятника после разрушения. Поэтому если из общего запаса энергии маятника вычесть часть, затраченную на взлет после разрушения образца, то получится работа удара, затраченная на излом образца.

Стандартный образец устанавливают на две опоры и посередине наносят удар, приводящий к разрушению образца. По шкале маятникового копра определяют работу K , затраченную на разрушение, и рассчитывают основную характеристику, получаемую в результате этих испытаний – ударную вязкость:

$$K_C = \frac{K}{F}, \quad (1)$$

где F – площадь поперечного сечения образца в месте концентратора (надреза), см²

$$F = h \cdot b, \quad (2)$$

где h – начальная высота рабочей части образца, см, (рис. 3, а);

b – начальная ширина образца, см.

В соответствии с ГОСТ 9454-78 предусмотрены испытания образцов с концентратором напряжений трех видов: U-образным (радиус надреза $r = 1$ мм); V-образным ($r = 0,25$ мм) и Т-образным (трещина усталости, созданная в основании надреза). Соответственно ударную вязкость обозначают: KCU, KCV, KCT.

Образцы с U-образным концентратором применяют при выборе и приемо-сдаточных испытаниях металлов и сплавов конструкций общего назначения; V-образным концентратором – для конструкций повышенной степени надежности (летательные аппараты, транспортные средства, трубопроводы, сосуды давления и т. п.); Т-образным – для особо ответственных конструкций, для эксплуатации которых оценка сопротивления развитию трещины имеет первостепенное значение.

Основным критерием ударной вязкости является KCU. Она состоит из двух составляющих:

$$KCU = K_{C_3} + K_{C_p}, \quad (3)$$

где K_{C_3} – работа зарождения трещины; K_{C_p} .

KCT – работа распространения трещины. Чем острее надрез, тем меньше K_{C_3} . Критерий KCT является критерием трещиностойкости, оценивающим сопротивление материала распространению трещины.

Разрушение может быть двух видов: хрупкое и вязкое.

Трещина при хрупком разрушении острая, часто ветвящаяся, распространяется быстро, в устье трещины зона пластической деформации небольшой протяженности. При вязком разрушении пластическая зона, идущая впереди распространяющейся трещины велика, а сама трещина затупляется у своей вершины.

Оценить характер разрушения можно по виду излома. Волокнистый (матовый) излом характеризуется наличием волокон, образующихся при пластической деформации зерен в процессе разрушения. Он имеет матовую шероховатую поверхность в случае распространения разрушения в плоскости, перпендикулярной направлению действия максимальных растягивающих напряжений. Когда разрушение совпадает с направлением действия касательных напряжений, волокнистый излом приобретает более блестящий, шелковистый вид. Хрупкий (кристаллический) излом характеризуется наличием на поверхности плоских блестящих участков (фасеток). Качественную оценку характера разрушения можно сделать визуально по величине волокнистой составляющей излома:

$$B = \frac{F_{\text{вяз}}}{F} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где $F_{\text{вяз}}$ – площадь поверхности излома, где произошло вязкое разрушение;

F - общая площадь поверхности излома.

Ударная вязкость из всех характеристик механических свойств наиболее чувствительна к снижению температуры. Поэтому испытания на ударную вязкость при пониженных температурах используют для определения *порога хладноломкости* – температуры или интервала температур, в котором происходит снижение ударной вязкости и разрушение становится преимущественно хрупким. Порог хладноломкости – количественная характеристика хладноломкости.

Хладноломкость проявляется у железа, стали, металлов и сплавов, имеющих ОЦК или ГП решетку. Она отсутствует у металлов с ГЦК решеткой.

Для определения температурного порога хладноломкости проводят оценку ударной вязкости при различных температурах и строят так называемые *серийные кривые*: кривую зависимости ударной вязкости от температуры испытаний и кривую зависимости процента волокна в изломе от температуры испытаний. Порог хладноломкости обозначают температурой t_{50} , при которой в изломе образца имеется 50 % волокнистой составляющей и КСТ снижается наполовину (рис. 2.). Зная температурный порог хладноломкости можно определить *температурный запас вязкости* – интервал температур между порогом хладноломкости (t_{50}) и рабочей температурой эксплуатации материала (t_p):

$$t_{\text{вяз}} = t_{50} - t_p \quad (5)$$

При этом, чем ниже температура перехода в хрупкое состояние по отношению к рабочей температуре, тем больше температурный запас вязкости и выше гарантия от хрупкого разрушения.

Для ответственных деталей за критическую температуру хрупкости принимают температуру, при которой в изломе 90 % волокна, ее называют t_{90} – верхний порог хладноломкости.

Нижнему порогу хладноломкости t_{10} соответствует не более 10 % волокна в изломе.

По изменению геометрических размеров поперечного сечения образцов в месте надреза после испытаний можно оценить также деформационную характеристику пластичности при ударном изгибе ψ :

$$\psi = \frac{B_2 - B_1}{b} \cdot 100\% \quad (6)$$

где B_2 – ширина образца в сечении с надрезом на стороне, с которой наносился удар;
 B_1 – ширина образца на стороне, противоположной той, на которую наносился удар (рис. 3);

b – ширина образца до испытаний.

По результатам испытания на ударный изгиб можно установить такие свойства материалов, как хладноломкость, красноломкость, отпускную хрупкость и др., которые при статических испытаниях не всегда можно обнаружить. Известно, что деформируемые цветные сплавы меди, алюминия и др. нецелесообразно подвергать испытаниям на ударный изгиб, так как они при любых температурах не обнаруживают перехода в хрупкое состояние. Нет необходимости в проведении ударных испытаний некоторых литых сплавов (чугун, литые алюминиевые и магниевые сплавы), которые разрушаются хрупко при статических испытаниях на растяжение.

Рис. 2. Влияние температуры испытаний на процент вязкой составляющей в изломе (В) и ударную вязкость материала КСЧ, КСТ

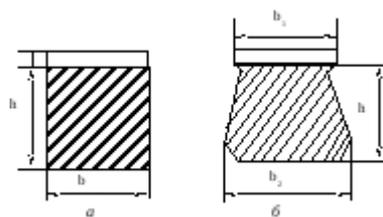
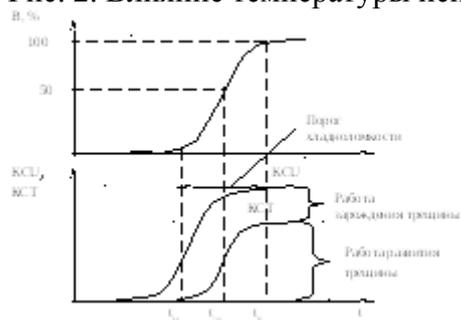


Рис. 3. Сечения образца для испытания на ударный изгиб:

a - до испытания; *б* - после испытания

Правила техники безопасности

1. Перед началом работы следует убедиться в надежном заземлении установки.
2. Надежно закреплять испытуемый образец в зажимном устройстве копра.
3. Во время испытаний следует выбирать безопасное расстояние для наблюдения за процессом разрушения образца, чтобы возможные его отдельные фрагменты не могли нанести травму испытателю.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством маятникового копра и принципом работы на нем. Особое внимание обратить на правила техники безопасности.
2. Получить и подготовить образцы для испытаний: тщательно измерить поперечное сечение образца в месте надреза. Рассчитать площадь поперечного сечения.
3. Произвести испытания на копре серий образцов с разным исходным состоянием (после отжига, закалки, нормализации). Определить работу, затраченную на разрушение надрезанного образца.
4. Вычислить величину ударной вязкости.
5. Изучить структуру изломов и определить визуально долю вязкой составляющей в изломе (В, %).
6. Измерить образцы в плоскости разрушения после испытаний и определить деформационную характеристику пластичности при ударном изгибе (ψ , %).
7. Занести все результаты экспериментов в протокол испытаний (таблица).

Протокол испытаний образцов из стали на ударный изгиб

Номер образца	Размеры образцов					K, Дж	КС, Дж/см ²	V, %	ψ , %
	До испытаний			После испытаний					
	h, см	b, см	F, см ²	V ₁ , см	V ₂ , см				

Содержание отчета

1. Название, цель работы.
2. Краткие сведения о сущности и методике испытаний на ударный изгиб.
3. Эскиз образца (рис. 1).
4. Перечень характеристик механических свойств, определяемых данным испытанием

5. Сериальные кривые (рис. 2).
6. Таблица с экспериментальными данными.
7. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Назовите цель испытаний металлов и сплавов на ударный изгиб и характеристики, определяемые при этом виде испытаний.
2. Чем отличаются динамические испытания металлов от статических?
3. На что затрачивается работа удара при испытаниях на ударную вязкость?
4. Что такое порог хладноломкости?
5. Как оценить температурный запас вязкости металлических материалов?
6. Какие признаки у хрупкого и вязкого разрушения? Какой характеристикой оценивается соотношение

Лабораторная работа № 4 Микроанализ сталей и белых чугунов.

Цель работы: Изучить классификацию, микроструктуру, свойства и назначение сталей и чугунов.

1. Краткие сведения из теории

В машиностроении используются детали из заготовок, полученных способами обработки давлением или литьем. Широкое применение имеют стали и чугуны. Стали являются деформируемым материалом, иногда применяется стальное литье. Чугуны представляют собой, как правило, литейные материалы. Примеры использования этих материалов даны ниже. Легковой автомобиль среднего класса массой 1000...1100 кг имеет детали из разных сталей, составляющие 57...60 % его массы (США, Западная Европа). В станкостроении общая масса чугунных деталей равна в среднем 70...80 % от массы металлорежущего станка.

Основу химического состава сталей и чугунов составляет железо с добавками углерода менее 2,14 % (стали) или более 2,14 % (чугуны). У многих марок этих материалов дополнительно содержатся легирующие химические элементы (хром, кремний, марганец, никель, молибден и др.). Перечень основных видов сталей и чугунов по государственным стандартам приведен в табл. 3 и 4. В машиностроении преимущественно применяются конструкционные стали и отливки из чугунов, используемые для изготовления деталей машин и различных сооружений, и инструментальные стали для металлорежущих, штамповых, измерительных и других инструментов.

При изучении строения и определении качества металлических материалов в материаловедении широко используется микроструктурный анализ.

Микроанализ - изучение строения поверхностей шлифованных, полированных и протравленных образцов - микрошлифов с помощью металлографических оптических микроскопов при увеличениях обычно от '100 до '1000.

Наблюдаемое при этом строение поверхности шлифа называется **микроструктурой**. Микроструктура разных по химическому составу материалов и после их различной обработки отличается по размеру, геометрической форме, цвету, взаимному расположению отдельных структурных составляющих. Микроанализ основан на использовании законов отражения и поглощения световых лучей от поверхности непрозрачных металлических материалов (рис. 3). Полированная металлическая поверхность отражает направленные на нее перпендикулярно световые лучи и видна в окуляр микроскопа как светлая. При наличии в материале неметаллических составляющих структуры они видны как темные, так как поглощают световые лучи.

Стали, получаемые кислородно - конверторным, электросталеплавильным и другими способами, содержат **неметаллические включения**. Это химические соединения металлов (железа, алюминия, и др.) с неметаллами (серой, кислородом, азотом и др.).

Таблица 3. Перечень основных разновидностей сталей по государственным стандартам

№№ ГОСТа	Наименование стандарта
380-88	Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки.
535-88	Прокат сортовой и фасонный из стали углеродистой обыкновенного качества. Общие технические условия.
1050-88	
1414-75Е	Прокат сортовой, калиброванный со специальной отделкой поверхности из

1435-90	углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия. Прокат из конструкционной стали высокой обрабатываемости резанием. Технические условия Прутки, полосы и мотки из инструментальной нелегированной стали Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки. Прутки и полосы из инструментальной легированной стали. Технические условия Прокат из рессорно-пружинной углеродистой и легированной стали. Технические условия. Прутки и полосы из быстрорежущей стали. Технические условия.
4543-71	
5632-72	
5950-73	
14959-79	
19265-73	

Таблица 4. Перечень основных разновидностей чугунов по государственным стандартам

№№ ГОСТа	Наименование стандарта
1215-79	Отливки из ковкого чугуна. Общие технические условия.
1412-85	Чугун с пластинчатым графитом для отливок. Марки.
1585-85	Чугун антифрикционный для отливок. Марки.
7293-85	Чугун с шаровидным графитом для отливок. Марки.
7769-82	Чугун легированный для отливок со специальными свойствами. Марки.
28394-89	Чугун с вермикулярным графитом для отливок. Марки.



Рис. 3. Схема отражения световых лучей от поверхности полированного (а) и подвергнутого травлению (б) микрошлифа.

Основными видами неметаллических включений в стали по ГОСТ 1778-70 являются оксиды, сульфиды, силикаты, нитриды и карбонитриды (MnS , SiO_2 , TiN , $nFeO \cdot mMnO \cdot pSiO_2$ и др.). Оксиды и нитриды являются хрупкими и при прокатке стали располагаются в виде строчек или рассредоточенных точечных частиц. Пластичные сульфиды получают форму продолговатых линз. Силикаты имеют сложный химический состав и могут быть пластичными или хрупкими.

После травления шлифа химическим реактивом различные структурные составляющие материала растворяются в разной степени, т.е. возникает некоторый рельеф поверхности (наличие выступающих и углубленных участков). На отдельных участках этого рельефа световые лучи отражаются в разной степени и участки поверхности шлифа видны в окуляр как светлые и темные различных оттенков.

Данные о фазовом строении и структуре материалов в равновесном состоянии получают из приведенных в учебниках и справочниках диаграмм состояния. Такие диаграммы состояния в координатах «температура - химический состав» содержат информацию о фазах (первичных составляющих микроструктуры), имеющих в отдельных областях диаграмм, разделенных сплошными линиями. Эти данные относятся к равновесному состоянию сплавов. Применительно к сталям и чугунам диаграмма состояния железо – углерод дана на рис. 4.

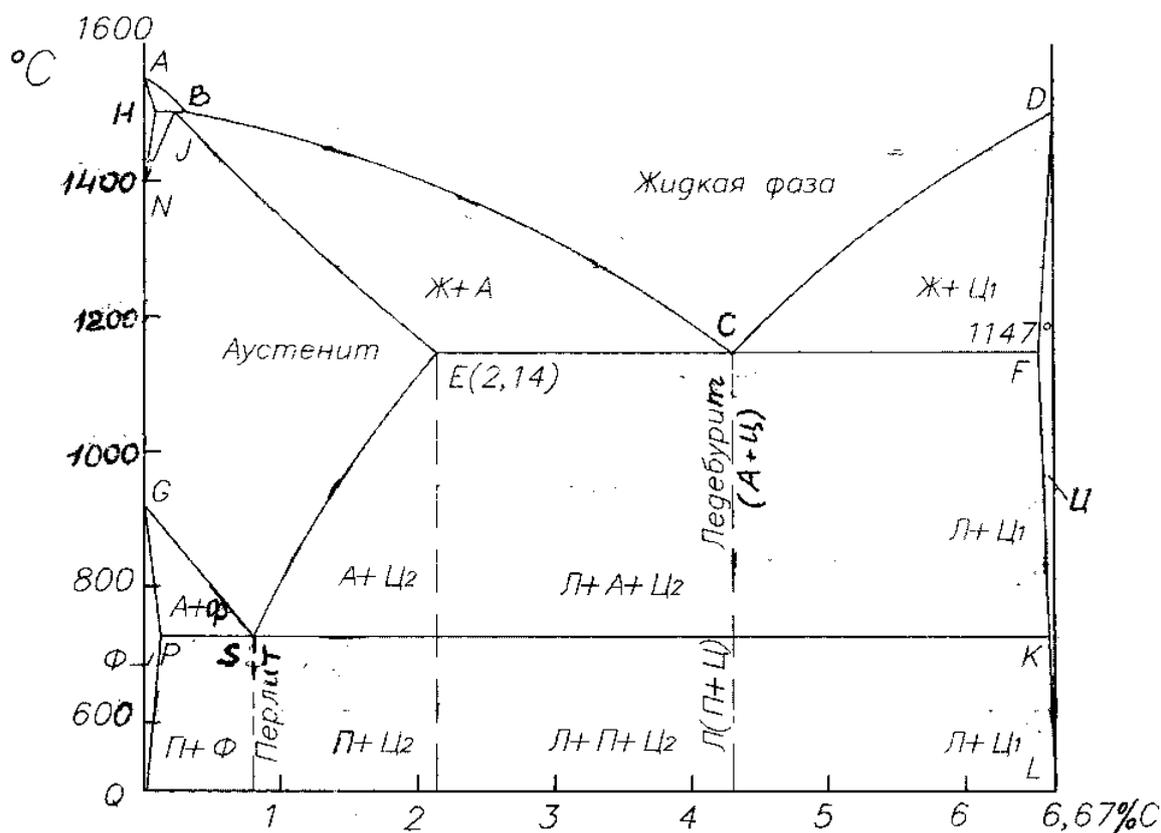


Рис. 4. Диаграмма состояния железо-углерод. Метастабильная диаграмма состояния железа

зо-углерод относится к случаю полной растворимости компонентов в жидком состоянии выше линии ликвидуса ABCD и ограниченной растворимости углерода в железе в твердом состоянии. У железа наблюдаются два полиморфных превращения:

$t_G \quad t_N$



Железо модификаций α и γ имеет соответственно кристаллические решетки объемноцентрированного куба (ОЦК) и гранецентрированного куба (ГЦК). В связи с наличием у железа полиморфных превращений на диаграмме состояния железо-углерод образуются три области твердых растворов углерода в железе:

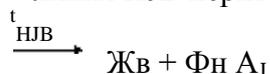
- область NJESGN твердого раствора γ (аустенита А), т.е. раствора углерода в Fe_α (ГЦК);
- две области QPGQ и ANNA твердого раствора α (феррита Ф), т.е. раствора углерода в Fe_α (ОЦК).

В правой части метастабильной диаграммы состояния железо-углерод имеется узкая область DFKLD твердого раствора небольшого количества железа в химическом соединении Fe_3C , т.е. цементита Ц.

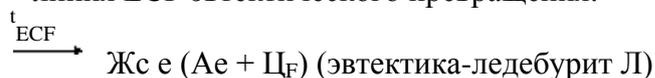
Следовательно, в сплавах метастабильной диаграммы состояния железо-углерод существуют следующие фазы: жидкий раствор углерода в железе, феррит, аустенит, цементит. Остальные области диаграммы состояния, ограниченные сплошными линиями, являются двухфазными, т.е. состоят из тех или иных двух фаз.

На диаграмме состояния имеются также горизонтальные линии трехфазных равновесий при постоянных температурах, где в равновесном состоянии существуют по три фазы:

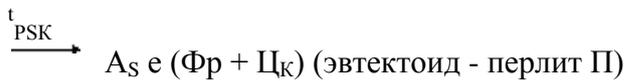
- линия HJB перитектического превращения:



- линия ECF эвтектического превращения:



- линия PSK эвтектоидного превращения:



В сплавах железо – углерод - кремний в зависимости от количества углерода и кремния, численной величины скорости охлаждения существуют две разновидности диаграммы состояния железо-углерод: метастабильная (железо-цементит) и стабильная (железо - графит).

У сталей и чугунов в равновесном состоянии имеются следующие фазы:

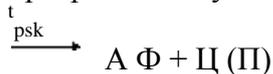
Жидкий раствор (Ж) на основе железа.

Феррит (Ф) - твердый раствор углерода и легирующих элементов в железе Fe_{α} кристаллической решеткой объемно-центрированного куба (ОЦК). Феррит имеет твердость НВ 80-90, пластичен (относительное удлинение 50 %).

Аустенит (А) - твердый раствор углерода и легирующих элементов в железе Fe_{γ} с кристаллической решеткой гранецентрированного куба (ГЦК).

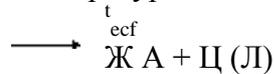
Цементит (Ц) - раствор небольшого количества железа в карбиде железа Fe_3C . Образуются также и более сложные структурные составляющие из двух фаз, наблюдаемые в микроструктуре:

Перлит (П) в виде темных (коричневых) участков, состоящий из ферритной основы и кристаллов цементита пластинчатой формы (пластинчатый перлит). Он образуется при медленном охлаждении в сталях и чугунах в результате следующего фазового превращения аустенита:



Особой термической обработкой может быть получен зернистый перлит, состоящий из феррита и частиц цементита в форме мелких зерен.

Ледебурит (Л) в виде пестрых бело-темных участков, состоящий из белого цементита - основы и темного перлита в виде округлых или удлинённых частиц (ниже $727^{\circ}C$). Выше температуры $727^{\circ}C$ этот ледебурит состоит из цементита и аустенита :



Многочисленные стали разных марок, отличающиеся химическим составом, по микроструктуре в равновесном состоянии разделяются на шесть основных структурных классов (табл. 5). Представление о структурных классах чугунов дает табл. 6 и структурная диаграмма на рис. 5. Формы включений графита показаны на рис. 6.

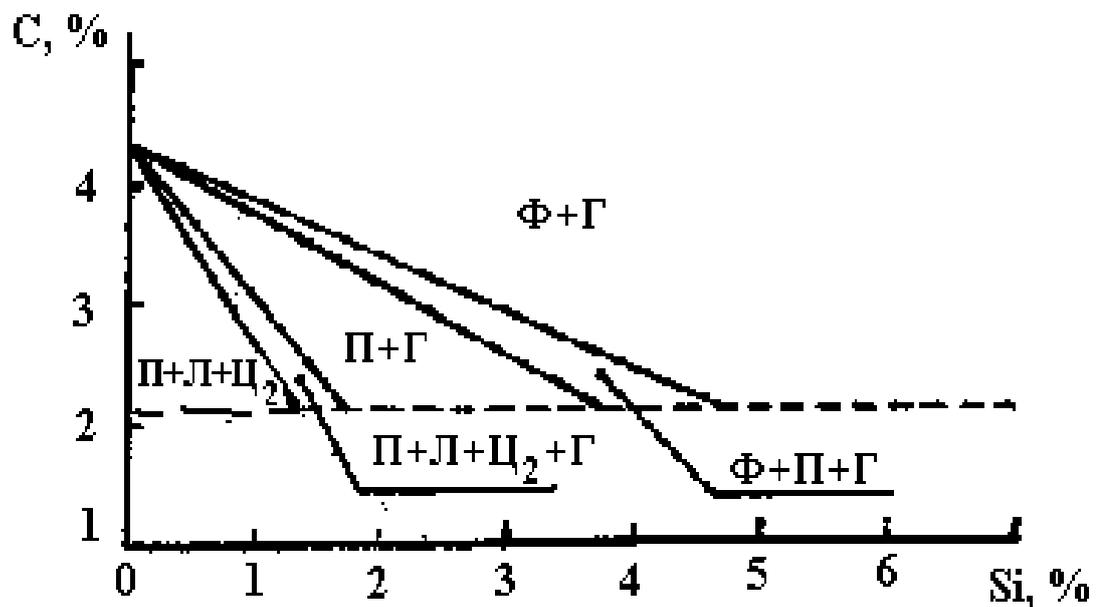


Рис. 5. Структурная диаграмма чугунов (толщина стенки отливки постоянная)

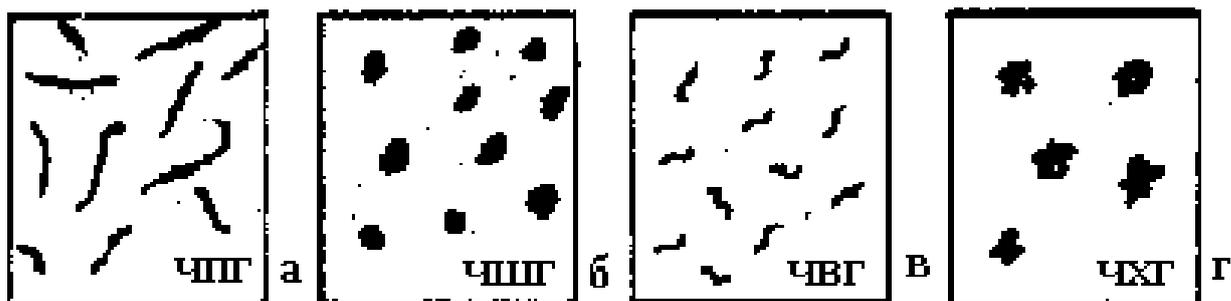


Рис. 6. Характерные геометрические формы включений графита в конструкционных чугунах (без травления шлифов): а - пластинчатая, б - шаровидная, в – вермикулярная, г - хлопьевидная (компактная).

Таблица 2.3. Структурные классы сталей в равновесном состоянии

Структурный класс стали	Химический состав		Микро-структура	Типовое применение в машиностроении
	Углерод C	Типичные легирующие элементы		
Доэвтектоидные стали	$C_p < C < C_s$	Cr, Mn, Ni и др.	Феррит + перлит	Конструкционные стали
Эвтектоидные стали	$C = C_s$	Cr, W, V и др.	Перлит	Инструментальные стали
Заэвтектоидные стали	$C_s < C < C_E$	Cr	Перлит и карбиды вторичные	Инструментальные стали
Стали карбидного (ледебуритного) класса	$C_E < C < 2,14\%$	Хром, вольфрам (до 6...12 %)	Перлит, карбиды первичные и вторичные	Инструментальные стали
Стали аустенитного класса	Десятые доли % и менее	Никель, марганец (до 13...20 %)	Аустенит легированный	Коррозионно-стойкие стали. Жаропрочные стали
Стали ферритного класса		Кремний, хром	Феррит легированный	Электротехнические стали. Кислотостойкие стали

Таблица 6. Типичные структурные классы чугунов

Структурный класс чугуна	Микроструктура
Белые чугуны: <ul style="list-style-type: none"> • доэвтектические ($C_E < C < C_C$) • эвтектический ($C = C_C$) • заэвтектические ($C_C < C < C_F$) 	Ледебурит, перлит и карбиды вторичные Ледебурит Ледебурит и карбиды первичные

Половинчатые чугуны	Ледебурит, перлит, вторичный цементит и графит
Чугуны с пластинчатым графитом ЧПГ	Перлит и графит; феррит, перлит и графит
Чугуны с шаровидным графитом ВЧШГ	Перлит и графит; перлит, феррит и графит; бейнит и графит
Чугуны с вермикулярным графитом ЧВГ	Перлит, феррит, графит вермикулярный, до 20...30 % графита шаровидного
Чугуны с хлопьевидным (компактным) графитом ЧХГ	Феррит и графит; перлит и графит

Сведения о характерных механических свойствах углеродистых сталей и конструкционных чугунов приведены в табл. 7.

Таблица 7. Механические свойства сталей и чугунов (без упрочняющей термической обработки)

Наименование материала	Механические свойства	
	предел прочности при растяжении, МПа	относительное удлинение, %
Углеродистые конструкционные стали	321...676	2...15
Конструкционные чугуны:		
• с пластинчатым графитом ЧПГ	100...440	0,2...1,1
• с вермикулярным графитом ЧВГ	300...450	2,0...6,0
• с хлопьевидным графитом ЧХГ	300...630	2,0...12,0
• с шаровидным графитом ВЧШГ	350...1000	2,0...17,0

2. Материально – техническое обеспечение работы

В работе используются металлографические микроскопы и коллекции микрошлифов. Микроскопы выпускаются различной конструкции. Основными их частями являются: основание, корпус, предметный столик для установки микрошлифа, механизмы грубой фокусировки с макровинтом и микроподачи с микровинтом для точной наводки на фокус, оптическая система, осветитель.

Способность оптической системы микроскопа изображать отдельно две точки (разрешающая способность d , мкм) определяется по формуле:

$$d = \lambda / 2A ; (A = n \sin (a/2)),$$

где λ - длина волны световых лучей, мкм; n - показатель преломления световых лучей средой, находящейся между поверхностью микрошлифа и объективом микроскопа; a - отверстиеный угол объектива; A - числовая апертура микроскопа (обычно $A = 0,17...1,25$). При $A = 1,25$ и $\lambda = 0,55$ мкм для видимых лучей спектра микроскоп позволяет видеть структурные составляющие размером $d = 0,2$ мкм.

3. Последовательность выполнения и обработка экспериментальных данных

Практическая часть работы заключается в изучении микроструктуры сталей и чугунов, как правило, при увеличении микроскопа $\times 100$, а в некоторых случаях до $\times 600$. Студентам предоставляются лабораторные коллекции микрошлифов, подготовленные для исследований.

Предварительно студенты знакомятся с устройством и работой микроскопа под руководством преподавателя и лаборанта. Для рассмотрения микроструктуры шлифа, запрессованный в пластилин на стеклянной пластинке, устанавливается на предметный столик микроскопа. После включения источника света проводится наводка на фокус сначала с помощью макровинта, а затем более точно микровинтом. Далее изучается микроструктура шлифов типовых сплавов, описание которых дано в табл. 8. С помощью описания, схем микроструктур (рис. 7) и находящихся в лаборатории фотографий устанавливаются, какие структурные составляющие имеет каждый образец, наименование, состав и структурный класс.

Более подробная оценка микроструктуры сталей, проводится по следующему государственному стандарту: ГОСТ 8233. Сталь. Эталоны микроструктуры. Путем сравнения микроструктуры изучаемой стали со шкалами структур ГОСТ, определяется количественная характеристика или номер балла по соответствующему признаку. Применительно к равновесному состоянию сплава использование ГОСТ 8233 позволяет определить процентное соотношение между ферритом и перлитом в доэвтектоидных сталях, соотношение количества пластинчатого и зернистого перлита, дисперсность пластинчатого и зернистого перлита. Для оценки неметаллических включений и различных видов неоднородности микроструктуры в сталях имеются отдельные государственные стандарты: ГОСТ 1763-68, ГОСТ 1778-70, ГОСТ 5640-68. Классификация чугунов по микроструктуре металлической основы и графитовым включениям ведется по следующему государственному стандарту: ГОСТ 3443-87. Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы определения структуры.

Имея количественные данные в процентах о площади, занимаемой в шлифе сплава различными структурными составляющими (П - перлит, Ц - цементит, Л - ледебурит, Г - графит), можно выполнить расчет примерного количества углерода в сталях и чугунах по следующей общей формуле:

$$C = 0,8П + 6,67Ц + 4,3Л / 100 + 30Г / 100, \%$$

В доэвтектических белых чугунах для определения соотношения между П и Ц принято: если $П + Ц_2 = 100 \%$, то количество П составляет 80 %, а цементита вторичного 20 % ($П = 4Ц_2$)

Вычисления по приведенной формуле действительны для сплавов, находящихся в равновесном состоянии.

Примеры вычислений:

Сталь доэвтектоидная: 40 % П; 60 % Ф: $C = 0,8 \cdot 40/100 = 0,32 \%$.

Сталь заэвтектоидная: 88% П; 12 % Ц₂: $C = 0,8 \cdot 88/100 + 6,67 \cdot 12/100 = 1,50 \%$.

Чугун ЧПГ: 30 % П; 58 % Ф; 12 % Г: $C = 0,8 \cdot 30/100 + 30 \cdot 12/100 = 3,84 \%$.

Чугун белый доэвтектический: 40% Л; 60 % (П+Ц₂), то есть 48% П и 12% Ц₂:

$$C = 0,8 \cdot 48/100 + 6,67 \cdot 12/100 + 4,3 \cdot 40/100 = 2,9 \%$$

Чугун белый заэвтектический: 60 % Ц₁; 40 % Л:

$$C = 6,67 \cdot 60/100 + 4,3 \cdot 40/100 = 5,7 \%$$

Таблица 8. Перечень микрошлифов сталей и чугунов из лабораторных коллекций (типовые примеры)

№№ микрошлифа	Материал	Химический состав, %		Структурный класс	Описание микроструктуры
		углерод С	другие компоненты		
1	2	3	4	5	6
УГЛЕРОДИСТЫЕ СТАЛИ					

1.	Углеродистая качественная конструкционная сталь 20, ГОСТ 1050-88	0,20	-	Доэвтектоидная сталь	Светлые зерна феррита и темные участки перлита
3.	Инструментальная нелегированная сталь У8, ГОСТ 1435-90	0,80	-	Эвтектоидная сталь	Перлит пластинчатый
4.	Инструментальная нелегированная сталь У8, ГОСТ 1435-90, после отжига	0,80	-	Эвтектоидная сталь	Перлит зернистый
5.	Инструментальная нелегированная сталь У10, ГОСТ 1435-90	1,00	-	Заэвтектоидная сталь	Темные участки перлита и светлая тонкая сетка вторичного цемента
КОНСТРУКЦИОННЫЕ СТАЛИ С СТРУКТУРНЫМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ					
7.	Сталь конструкционная после перегрева	0,40	-	Доэвтектоидная сталь	Крупные темные участки перлита и светлая широкая сетка феррита

Продолжение табл. 8.

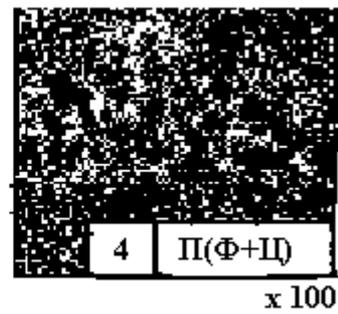
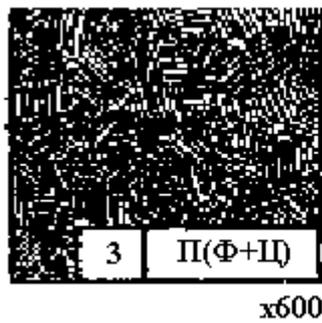
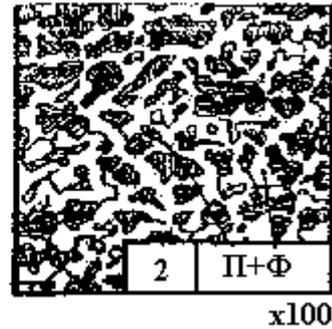
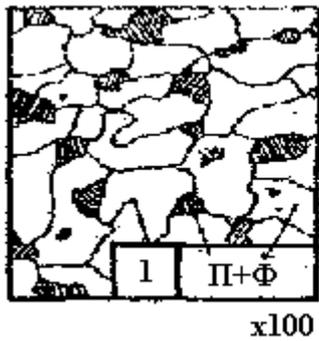
8.	Сталь конструкционная с полосчатостью феррито-перлитной структуры	0,25	-	Доэвтектоидная сталь	Перлит и феррит расположены в виде чередующихся полос.
9.	Сталь инструментальная с обезуглероживанием поверхностного слоя	0,80	-	Эвтектоидная сталь	Перлит в сердцевине, феррит и перлит в поверхностном слое
ОБРАЗЕЦ СТАЛИ С НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ					

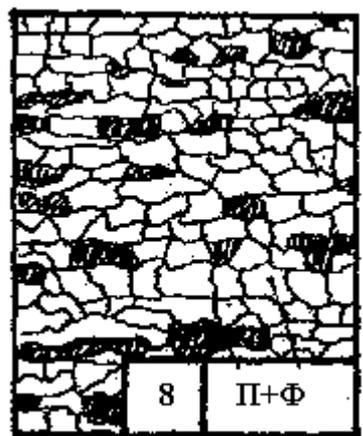
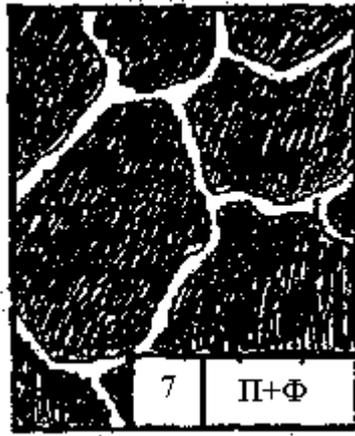
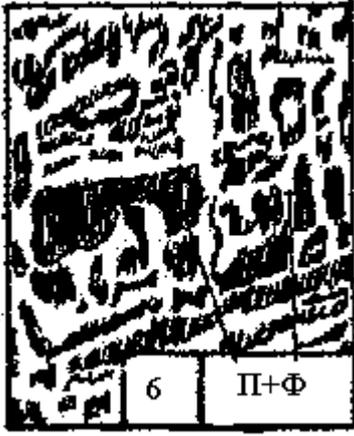
10.	Сталь с неметаллическими включениями (полированный шлиф без травления)	данных нет	-	-	Темные неметаллические включения, вытянутые по направлению деформации
ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ					
34.	Легированная конструкционная сталь 40Х, ГОСТ 4543-71	0,40	0,8...1,1 Cr	Доэвтектоидная сталь	Темные участки перлита и светлый феррит
38.	Инструментальная легированная сталь Х12, ГОСТ 5950-73	2,0	11,5...13,0 Cr	Сталь карбидного класса	Перлит мелкозернистый, крупные белые первичные карбиды и более мелкие вторичные карбиды
39.	Коррозионностойкая сталь 12Х17, ГОСТ 5632-72	менее 0,12	16...18 Cr	Сталь ферритного класса	Светлые зерна легированного феррита
40.	Коррозионностойкая сталь 12Х18Н10Т, ГОСТ 5632-72	менее 0,12	17...19 Cr; 9...11 Ni; не более 0,5 Ti	Сталь аустенитного класса	Светлые зерна легированного аустенита

Продолжение табл. 8.

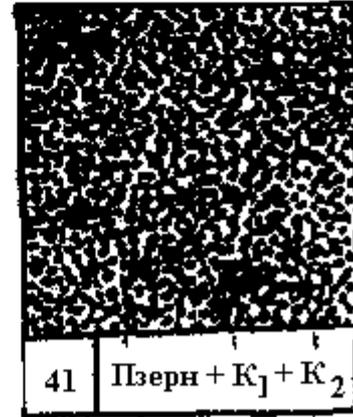
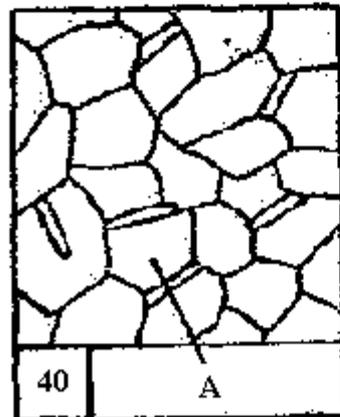
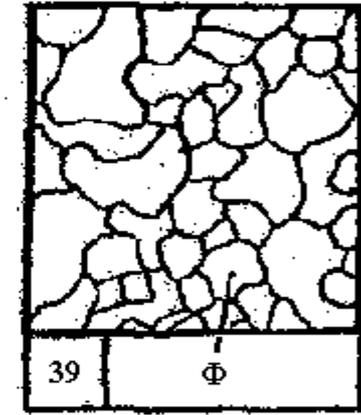
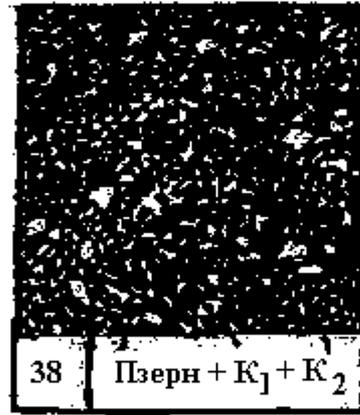
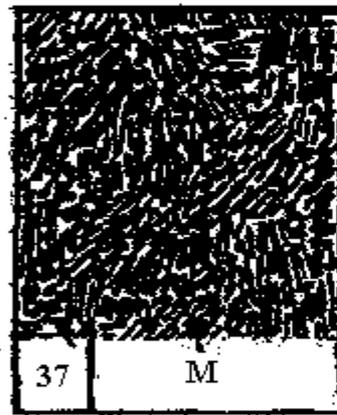
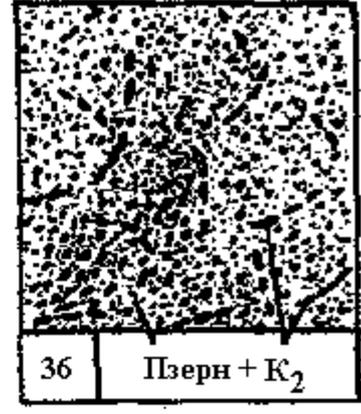
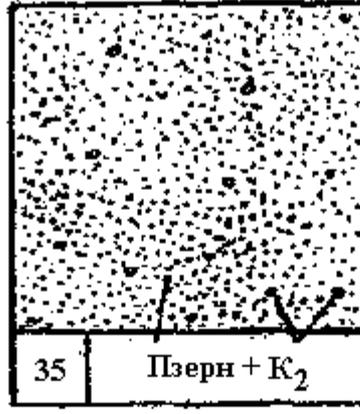
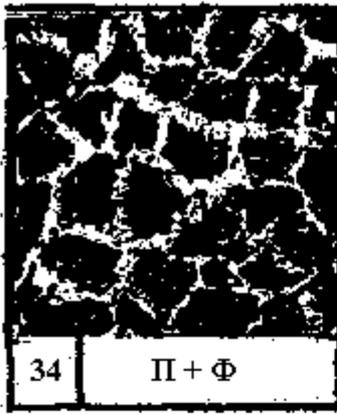
ЧУГУНЫ					
12.	Белый заэвтектический чугун	5,1	данных нет	Чугун белый	Темно-белые участки ледебурита и светлые пластины первичного цементита
14.	Чугун ЧПГ марки СЧ15, ГОСТ 1412-85	3,4	2,2Si ; 0,7 Mn	Чугун с пластинчатым графитом	Темный перлит, светлый феррит и тонкие черные пластины графита

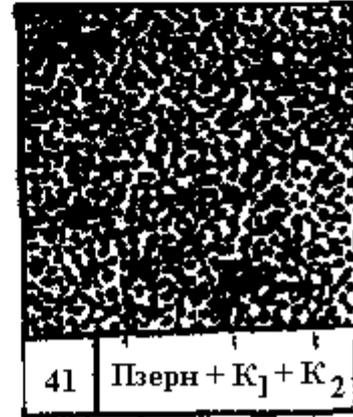
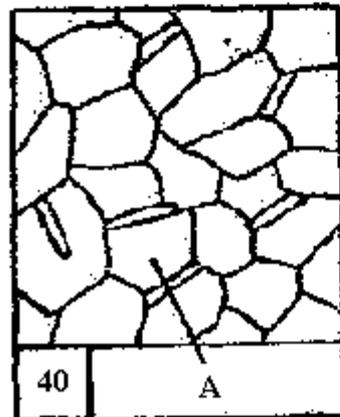
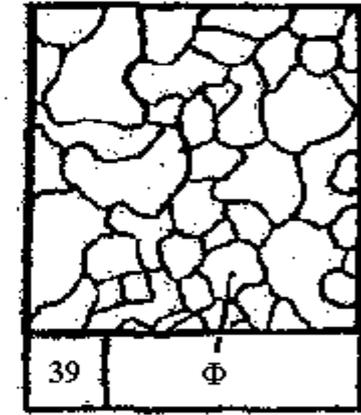
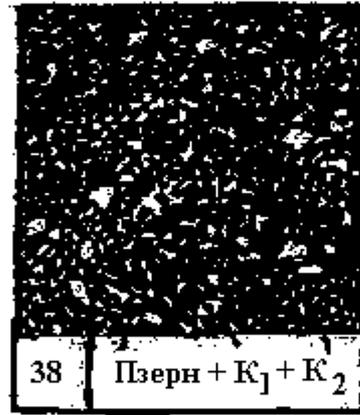
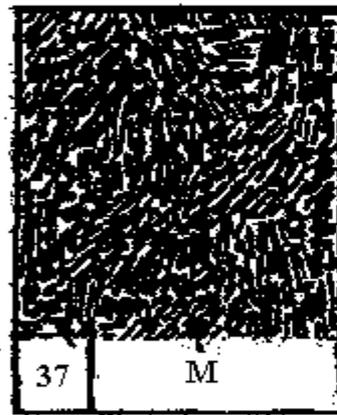
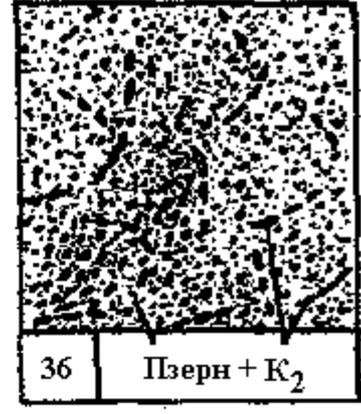
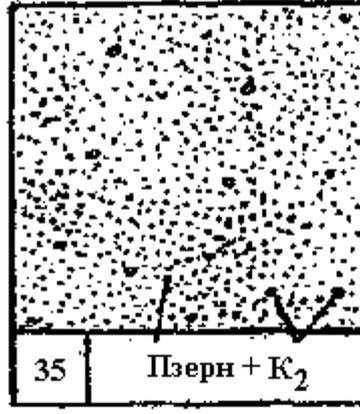
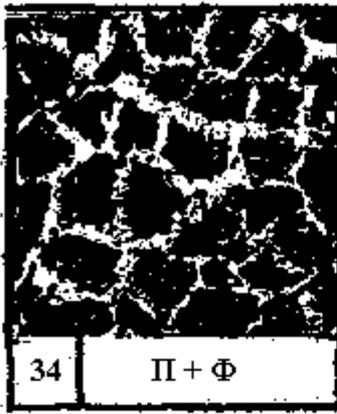
16.	Чугун ЧХГ марки КЧ30-6,ГОСТ 1215-79	2,7	1,2Si ; 0,5 Mn	Чугун с хлопьевидным графитом	Светлые зерна феррита и темный хлопьевидный (компактный) графит
18.	Чугун ВЧШГ марки ВЧ 60, ГОСТ 7293-85	3,5	2,1Si ; 0,6 Mn	Чугун с шаровидным графитом	Темный перлит, светлый феррит и черный шаровидный графит

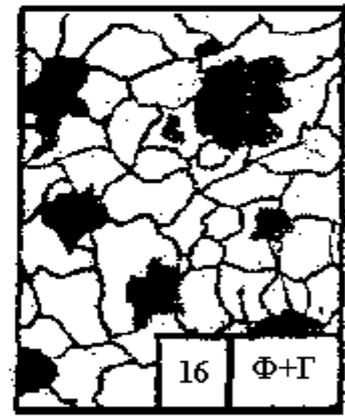












4. Содержание отчета

Итоги проведенной работы оформляют в отчете, который должен содержать следующие разделы:

1. Цель работы.
2. Оборудование, приборы и материалы, использованные при выполнении работы.
3. Теоретические положения: понятие о микроанализе и микроструктуре. Характеристика фаз и структурных составляющих сталей и чугунов. Перечисление структурных классов сталей и чугунов.
4. Методика проведения работы и полученные результаты.
5. Изучить микроструктуры технического железа, сталей и белых чугунов в равновесном состоянии.
6. Зарисовать схемы рассмотренных структур в 3-ей графе

протокола микроанализа.

Протокол микроанализа сталей и белых чугунов

Наименование и Марка сплава	Содержание углерода, %	Микроструктура	
		зарисовка	наименование
1	2	3	4

В конце занятия преподаватель путем устного опроса проверяет усвоение знаний студентами по вопросам для самопроверки.

Оформленные отчеты проверяются и подписываются преподавателем.

Вопросы для подготовки к работе и самопроверки

1. Понятие микроанализа и микроструктуры материалов.
2. Какие основные части имеет металлографический микроскоп?
3. В какой последовательности проводится рассмотрение микрошлифа и изучение микроструктуры?
4. Что понимается под числовой апертурой микроскопа?

5. Из каких химических элементов (компонентов) состоят стали и чугуны?
6. Что представляют собой феррит, цементит, перлит, ледебурит?
7. Какие структурные классы имеют стали и чугуны?
8. Какую геометрическую форму имеют включения графита в чугунах ЧПГ, ВЧШГ, ЧХГ, ЧВГ?
9. Применение и механические свойства сталей и чугунов.

Лабораторная работа № 5 Термообработка (закалка и различные виды отпуска) углеродистой стали.

Задание:

1. Описать порядок применения закалки и отпуска углеродистых сталей .
2. Определить:
 - 2.1 твёрдость образцов в исходном состоянии;
 - 2.2 температуру нагрева и время нагрева при закалке;
 - 2.3 твердость образцов после закалки;
 - 2.4 время выдержки при различных видах отпуска;
 - 2.5 твёрдость образцов после каждого вида отпуска;
3. Результат вычислений и измерений оформить работы в виде протокола.
4. Построить кривые влияния температуры отпуска на изменение твёрдости закалённой стали.
5. написать вывод.
6. Написать отчёт.

Цель: Научиться определять режимы закалки и отпуска и устанавливать связь между температурой нагрева при отпуске и твердостью закалённой стали

Приборы и оборудование: образцы углеродистых сталей; муфельные печи с терморегулятором; закалочные баки с водой и маслом; клещи рукавицы, защитные очки. металлографические микроскопы; твердомеры Роквелла; микрошлифы стали 45 после различных видов термообработки. Для очистки от окалины и выравнивания торцевых поверхностей образцов перед измерением твердости применяется наждачный камень (шлифовальный круг)

Основные сведения

Закалка стали

Закалкой называется вид термической обработки, состоящий в нагреве стали до температуры выше линии A_{C3} (доэвтектоидной стали) или A_{C1} (заэвтектоидной стали) на 30–50°C, выдержке при данной температуре и последующем быстром охлаждении в воде или масле (рис. 42).

Цель закалки – повышение твердости, прочности и износостойкости стали за счет получения структуры мартенсита, имеющего характерное игольчатое строение.

Для превращения аустенита в мартенсит скорость охлаждения должна быть больше критической скорости закалки $V_{кр}$.

Критической скоростью закалки называется наименьшая скорость охлаждения, при которой весь аустенит переохлаждается до мартенситного превращения. Если скорость

охлаждения будет меньше $V_{кр}$, аустенит распадается на феррито-цементитную смесь (тритит, сорбит, перлит, см. рис. 38).

Требуемая скорость охлаждения обеспечивается подбором охлаждающей среды. В производственной практике для закалки применяют воду, минеральные масла, водные растворы солей, щелочи. Основным преимуществом масел по сравнению с водой является медленное охлаждение в мартенситной области (ниже 300°C), вследствие чего закалка в масле дает меньшую деформацию, напряжения и склонность к образованию закалочных трещин.

Различают полную и неполную закалку стали. При полной закалке сталь нагревается на $30\text{--}50^{\circ}\text{C}$ выше критической точки A_{C3} . Доэвтектоидные стали обязательно подвергают полной закалке, т.е. нагревают до полного перехода феррито-перлитной структуры в аустенитную. При последующем охлаждении со скоростью выше критической сталь приобретает структуру мартенсита.



Рис. 42. Оптимальные температуры нагрева под закалку углеродистых сталей. Недогрев доэвтектоидной стали до точки A_{C3} приводит к сохранению в структуре закаленной стали наряду с мартенситом некоторого количества феррита и, следовательно, к заниженным механическим свойствам после закалки. Такую закалку называют неполной, и для доэвтектоидной стали она является пороком (рис. 43, б).

При неполной закалке заэвтектоидной стали (нагрев выше точки A_{C1} , но ниже точки A_{cm}) оставшийся нерастворенным цементит повышает твердость стали после закалки, так как является упрочняющей фазой. Если заэвтектоидную сталь нагреть выше линии A_{cm} , то в ее структуре будет крупноиглочатый мартенсит с повышенным количеством остаточного аустенита (рис. 44, б). Таким образом, если для доэвтектоидных сталей неполная закалка является дефектом, то для заэвтектоидных – основным видом закалки.

Отпуск стали

Отпуском называется вид термической обработки, состоящий из нагрева закаленной на мартенсит стали до температуры ниже линии $PSK(A_{C1})$, выдержке при этой температуре и последующего охлаждения.

Нагрев стали при отпуске облегчает переход из метастабильного состояния пересыщенного α -твердого раствора в более устойчивое. При

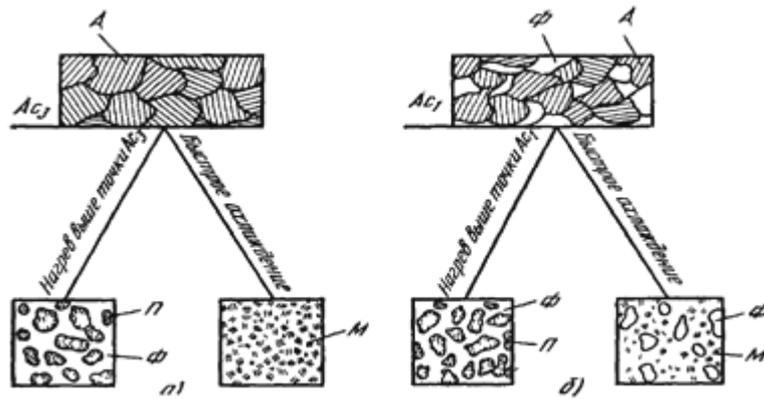


Рис. 43. Структурные превращения в доэвтектоидной стали при закалке:

а – полная закалка, *б* – неполная закалка

отпуске с повышением температуры в закаленной стали происходит выделение углерода из мартенсита, что сопровождается уменьшением кристаллической решетки, образованием и коагуляцией (укрупнением) частичек цементита.

С повышением температуры отпуска предел прочности и твердость понижаются, а пластичность и ударная вязкость растут.

В соответствии с техническими требованиями, предъявляемыми к изделиям на практике, применяют следующие виды отпуска: низкий, средний и высокий.

Низкий отпуск характеризуется невысокими температурами нагрева (150–250°C) и применяется для изделий, где требуется высокая твердость (*HRC*56–64) и износостойкость. Низкий отпуск незначительно уменьшает твердость закаленной стали и увеличивает вязкость, снимая внутренние напряжения в изделиях. Свойства стали после отпуска зависят не только от температуры нагрева, но и от продолжительности выдержки. Низкий отпуск применяют для режущего инструмента, зубил, валков, калибров, шаблонов, изделий из цементуемых сталей.

Структура сталей после низкого отпуска – отпущенный мартенсит.

Средний отпуск характеризуется нагревом закаленной стали до температуры 300–400°C и обеспечивает относительно высокую твердость *HRC*40–54 и максимальный предел упругости при достаточной прочности. Этот вид отпуска применяется для пружин, рессор, штампов, ударного инструмента и т.д. Структура изделий после среднего отпуска – тростит отпуска.

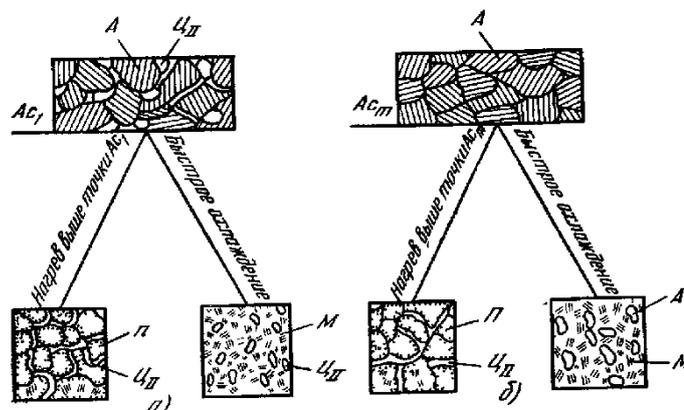


Рис. 44. Структурные превращения в эвтектоидной стали при закалке:

а – неполная закалка, *б* – полная закалка

Высокий отпуск осуществляется нагревом закаленной стали до

500–600°C и применяется для изделий из конструкционных сталей, подвергаемых воздействию высоких динамических, знакопеременных или статических напряжений. Структура стали после высокого отпуска сорбит отпуска.

Ход работы:

Работа выполняется; студент получает задание на проведение одного из видов термической обработки. Пользуясь диаграммой состояния Fe-Fe₃Сi справочной литературой, самостоятельно определяет режим заданного вида термообработки, практически осуществляет термообработку и измеряет твердость.

По полученным значениям твердости образцов (по Бринеллю) после различных видов термообработки строится график:

- а) зависимости твердости стали от скорости охлаждения,
- б) зависимости твердости закаленной стали от температуры отпуска.

При выполнении работы необходимо:

1. Замерить твердость образцов в исходном состоянии на приборе Роквелла по шкале *B*.
2. Нарисовать стальной участок диаграммы Fe-Fe₃Сi указать на ней температурные интервалы нагрева под отжиг, нормализацию, закалку и отпуск.
3. Для заданного вида термической обработки выбрать и обосновать максимальную температуру нагрева и продолжительность выдержки и скорость охлаждения. Скорость охлаждения в различных закалочных средах можно принять:

$V_{п}$ – вместе с печью 1 град/С, $\lg V_{п} = 0$

$V_{вз}$ – на воздухе 7,5 град/С, $\lg V_{вз} = 0,876$

$V_{м}$ – в масле 70 град/С, $\lg V_{м} = 1,845$

$V_{в}$ – в воде 1000 град/С, $\lg V_{в} = 3,0$

4. Нагреть образцы по разработанной технологии и провести термообработку.
5. Замерить твердость термообработанных образцов на приборе Роквелла (твердость отожженных и нормализованных образцов измерить шариком по шкале *B*, твердость закаленных и отпущенных образцов алмазным конусом по шкале *C*).
6. Полученные результаты занести в табл. 11
7. Закаленные образцы подвергнуть отпуску при температуре 200, 400 и 600°C. Время выдержки при соответствующей температуре определяют из расчета 2–3 мин на 1 мм толщины образца. После выдержки образцы охлаждаются на воздухе или в воде.
8. Замерить твердость образцов после отпуска на приборе Роквелла по шкале *C*.

Таблица 11

Вид термообработки	Температура нагрева, °С	$V_{охл.}, °С$ $\lg V_{охл.}$	Твердость <i>HRC</i> → <i>HB</i>		Микроструктура
Отжиг		1 0			П + Ф
Нормализация		7,5			П + Ф

		0,87			
Закалка в масле		70 1,84			M + T
Закалка в воде		1000 3,0			M + A _{ост}

9. Полученные результаты занести в табл.12 и проанализировать влияние температуры отпуска на твердость стали.
10. На металлографических микроскопах изучить микроструктуру после каждого вида термообработки, зарисовать ее в отчет и занести в табл. 11,12.
11. По результатам всей группы построить графики влияния скорости охлаждения и температуры отпуска на твердость термообработанной стали.
12. Написать отчет по работе в соответствии с вышеуказанными пунктами задания.

Таблица12

Вид термообработки	Температура нагрева, °С	Твердость <i>HRC</i> → <i>HB</i>		Микроструктура
Низкий отпуск	200			M _{отп.}
Средний отпуск	400			T _{отп.}
Высокий отпуск	600			C _{отп.}

Отчет

Цель работы: научиться определять режимы закалки и отпуска и устанавливать связь между температурой нагрева при отпуске и твердостью закаленной стали.

Задание:

1. Определить
 - 1.1 твердость образцов в исходном состоянии;
 - 1.2 температуру нагрева и время нагрева при закалке;
 - 1.3 твердость образцов после закалки;
 - 1.4 время выдержки при различных видах отпуска;
 - 1.5 Твердость образцов после каждого вида отпуска.
2. Результаты вычислений и измерений оформить в виде протокола.
3. Построить кривые влияния температуры отпуска на изменение твердости закаленной стали.
4. Написать вывод.

Ход работы:

Определяем:

1.Твердость образцов (в исходном состоянии) по Бринеллю – на _____

2. Перевод твердости по HB на значение твердости по HRC – по _____

Кривые влияния температуры отпуска на твердость закаленной стали

Контрольные вопросы

1. Какие параметры термообработки Вы знаете?
2. В чем заключается перлитное превращение сталей?
3. Почему мартенсит называют пересыщенным твердым раствором углерода в Fe_α ?
4. Назначение и условия проведения: диффузионного отжига; рекристаллизационного отжига.
5. Назначение и условия проведения полного и неполного отжига.
6. Нормализация сталей.
7. Закалка сталей.
8. Отпуск сталей.
9. Какой дефект и почему появляется у стали марки 40 при закалке, если ее недогреть до оптимальной температуры?
10. Почему при закалке стали 40 с температуры 1100°C появляется брак?