

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

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**  
**по организации лабораторной работы студентов**  
**дисциплины ОП.04 Материаловедение**  
**ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

**23.02.03 Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта**

Составитель: Загорский В.А., преподаватель ГАПОУ СО «ИМТ»

Методические рекомендации по выполнению практических и лабораторных занятий студентов составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины, разработанной на основе Федерального государственного образовательного стандарта по специальности 23.02.03 Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «от 18 апреля 2014 г. № 350

**Содержание**

Пояснительная записка (общие методические указания).....	..стр. 4
Лабораторная работа №1 .....	стр. 6
Лабораторная работа №2.....	стр14.
Практическая работа №3 .....	стр. 21
Практическая работа №4.....	стр.25
Практическая работа №5.....	стр.37
Список используемой литературы .....	стр. 41

***1. Пояснительная записка***

В настоящее время актуальным становятся требования к личным качествам современного студента – умению самостоятельно выполнять лабораторную работу, вести самостоятельный поиск необходимого материала, быть творческой личностью.

Ориентация учебного процесса на саморазвивающуюся личность делает невозможным процесс обучения без учета индивидуально-личностных особенностей обучаемых, предоставления им права выбора путей и способов обучения. Появляется новая цель образовательного процесса – воспитание личности, ориентированной на будущее, способной решать типичные проблемы и задачи исходя из приобретенного учебного опыта и адекватной оценки конкретной ситуации.

Решение лабораторных задач требует повышения роли самостоятельной работы студентов над учебным материалом, усиления ответственности преподавателя за развитие навыков выполнения лабораторных работ, за стимулирование профессионального роста студентов, воспитание их творческой активности и инициативы.

Введение в практику учебных программ и модулей с повышенной долей практической работы активно способствует модернизации учебного процесса.

Задачами лабораторной работы студента (ЛРС) являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовых и выпускной квалификационной работ, для эффективной подготовки к итоговым зачетам и экзаменам.

Методические рекомендации для аудиторной лабораторной работы (АЛР) по дисциплине ОП.08 Технология машиностроения, предназначены для студентов третьего курса специальности 15.02.08 Технология машиностроения.

Аудиторная лабораторная работа студентов определяется учебным планом и является обязательной для каждого студента. Самостоятельные работы выполняются индивидуально во время занятий.

При выполнении лабораторной работы студент должен сам принять решение об оптимальном использовании возможностей программного обеспечения. Если по ходу выполнения практической работы у студентов возникают вопросы и затруднения, он может консультироваться у преподавателя. Каждая работа оценивается по пятибалльной системе. Критерии оценки приведены в конце методических рекомендаций.

В методических указаниях содержатся задания для лабораторных работ по разделам и темам, рекомендации для студентов по выполнению различных видов СРС, а также предложены критерии оценки для каждого вида работы.

В ходе выполнения лабораторных работ по дисциплине Технологии машиностроения у студентов формируются следующие общие и профессиональные компетенции:

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 в 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.

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.

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

ПК 2.2. Участвовать в руководстве работой структурного подразделения.

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

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

С целью овладения соответствующими профессиональными компетенциями обучающийся в ходе освоения учебной дисциплины для закрепления теоретических знаний и приобретения необходимых практических умений и навыков предусматривается проведение лабораторных и практических занятий. Каждое занятие содержит отчёт по теории и выполнение необходимого задания. Для выполнения расчётов, обучающиеся должны научиться правильно пользоваться справочными таблицами, графиками. Выполнение расчётно-практических работ должно сопровождаться анализом параметров и формулировкой грамотных выводов.

Критерии оценок за выполнение практической работы

Оценка «5» ставится в том случае, если учащийся: • правильно, по плану выполняет лабораторную работу; • работу выполняет самостоятельно, правильно формулирует вывод и аккуратно оформляет результаты работы.

Оценка «4» ставится в том случае, если учащийся: • правильно, по плану выполняет лабораторную работу, но допускает не-дочёты и неточности в процессе выполнения практической работы; • правильно формулирует выводы, но имеются недостатки в оформлении лабораторной работы.

Оценка «3» ставится в том случае, если учащийся: • допускает неточности в выполнении лабораторной работы; • допускает недочёты в определениях определяемых величин; • допускает неточности в формулировке выводов; • имеются недостатки в оформлении лабораторной работы.

# Лабораторная работа № 1

## Микроскопический анализ металлов

**Цель работы:** ознакомление с макроскопическим и микроскопическим анализом, изучение характерных макро- и микроструктур металлов и сплавов.

**Необходимое оборудование, приспособления, инструмент, материалы:** металлографический микроскоп, микрошлифы, специальные химические реактивы - травители.

### Краткие теоретические сведения

#### 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.

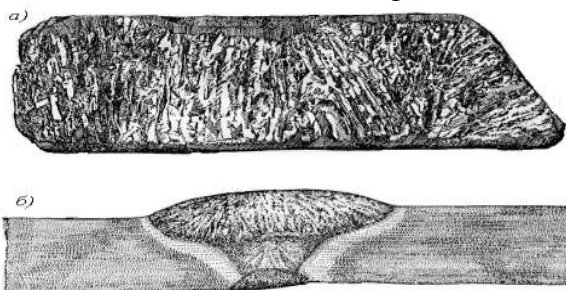


Рис. 1.1. Макроструктура: а – излом слитка сурьмы; б – макроструктура сварного соединения

*Макрошлифом* называют поверхность образца (детали), подготовленную для исследования макроструктуры. Образцы, называемые *темплетами*, 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.

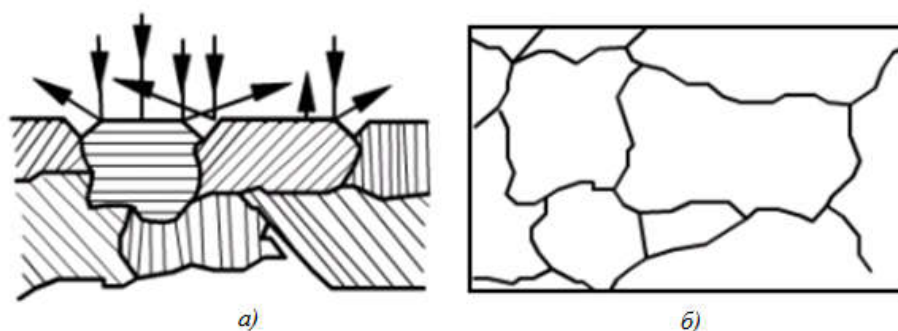


Рис. 1.2. Формирование изображения структуры однофазного сплава: а) отражение лучей от травленного шлифа; б) вид в микроскопе

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.

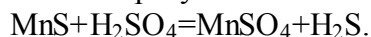
Порядок приготовления макрошлифов

1. Вырезка образца в определенном месте детали в зависимости от цели проводимых исследований, обработка исследуемой поверхности вручную или на металлорежущем станке.
2. Последовательное шлифование на шлифовальных бумагах с постепенно уменьшающимся размером зерен абразива.
3. Промывка, обезжиривание спиртом, травление, промывка и просушка.

Методы травления.

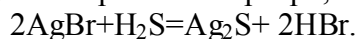
**Выявление ликвации серы.** Для выявления в стали ликвации серы применяют метод Баумана. Макрошлиф протирают ватой, смоченной в спирте. На поверхность макрошлифа накладывают лист фотобумаги, вымоченной в течение 5...10 мин в водном растворе с массовой долей серной кислоты 5 %, проглаживают резиновым валиком для удаления излишков раствора и пузырьков газа, выдерживают 2-3 мин и осторожно снимают.

Отпечаток промывают в воде, фиксируют в растворе с массовой долей гипосульфита 25 %, снова промывают и высушивают. Коричневые пятна на фотобумаге соответствуют участкам поверхности шлифа, обогащенным серой. Фотобумага окрашивается в результате взаимодействия серной кислоты и  $MnS$ :





Сероводород действует на бромистое серебро эмульсионного слоя и при этом образуется сернистое серебро, имеющее темно-коричневый цвет:



*Выявление ликвации фосфора.* Поверхность образца протирают ватой, смоченной спиртом; образец погружают на 1...2 мин в раствор состава: 85 г хлористой меди, 53 г хлористого аммония в 1000 см<sup>3</sup> воды. В результате обменной реакции железа с раствором на поверхности образца осаждается слой меди. Образец вынимают из реактива, протирают ватой под струей воды для удаления слоя меди, и просушивают.

Более темные участки на поверхности макрошлифа обогащены фосфором. На светлых участках содержание фосфора меньше.

*Выявление строения литой стали.* Дендритное строение литой стали выявляют травлением в водном растворе с массовой долей персульфата аммония 15 %, предварительно подогретом до 80...90°C. Образец погружают в горячий раствор на 10...15 мин, затем промывают водой и просушивают.

*Выявление волокнистого строения стали.* Для выявления волокнистости применяют реактив и методику для выявления ликвации фосфора, описанные выше.

*Выявление структуры сварного шва на углеродистых сталях.* Для выявления структуры сварного шва на углеродистых сталях применяют спиртовой раствор с массовой долей азотной кислоты 4 %. Макрошлиф травят, протирая ватным тампоном, смоченным в реактиве, или погружая в реактив с последующей промывкой в воде и сушкой. Продолжительность травления до тридцати минут.

*Выявление ликвации углерода или глубины закаленного слоя.* Для выявления ликвации углерода или глубины закаленного слоя применяют реактив Гейне, содержащий 35 г CuCl<sub>2</sub> и 53 г NH<sub>4</sub>Cl в 1000 см<sup>3</sup> воды. Образец погружают в реактив. В результате обменной реакции поверхность покрывается слоем меди. На участках обогащенных углеродом, закаленных или имеющих дефекты (поры, раковины, трещины и т.п.), медь выделяется менее интенсивно и не защищает поверхность от травления хлористым аммонием. Эти участки окрашиваются в темный цвет. Таким реактивом можно выявлять также структуру сварного шва и зоны термического воздействия.

*Выявление дефектов, нарушающих сплошность металла.*

Для выявления дефектов на изделиях из углеродистых и низколегированных сталей нужен реактив, состоящий из 4...10 см<sup>3</sup> азотной кислоты и 90...96 см<sup>3</sup> воды.

Травитель применяют в холодном состоянии. Продолжительность травления до 30 мин. Макрошлиф погружают в раствор или протирают его поверхность ватным тампоном, смоченном в реактиве, промывают и сушат. Для более контрастного выявления структуры полезна тонкая шлифовка или полировка.

#### Правила обращения с микрошлифами

Для предотвращения преждевременной порчи микрошлифов необходимо соблюдать следующие правила.

1. Шлифы должны храниться комплектами в коробочках на слое ваты. Запрещается нарушать комплектность и перекладывать шлифы из одной коробочки в другую. Микрошлиф можно брать из коробочки только за боковую поверхность и ставить только на предметный столик микроскопа.

2. Во избежание загрязнения и повреждения изучаемой поверхности микрошлифов нельзя касаться ее пальцами, тереть, передвигать по поверхности предметного столика и т. д.

3. При повреждении шлифа студент обязан во внеурочное время приготовить его заново.

4. Перед началом работы студент получает у преподавателя комплект шлифов и по окончании работы сдает его преподавателю.

Для изучения структуры металлов и сплавов применяется металлографический микроскоп модели МИМ-7 (рис. 1). На основании 1 установлен корпус 2, в котором находится фотокамера 3 с матовым стеклом 4. Предметный столик 7, управляемый рукоятками 8, предназначен для установки на нем исследуемого микрошлифа. Рукоятка 9 служит для вертикального перемещения стола при грубой наводке на резкость, а микрометрический винт 5 – для точной наводки. В тубусе устанавливается сменный окуляр. Внутри корпуса осветителя 10 находится низковольтная лампа накаливания. Рукоятка 11 служит для переключения светофильтров.

Оптическая система микроскопа состоит из объектива, окуляра и ряда вспомогательных оптических элементов (рис. 2). Свет от кинопроекторной лампы 1 модели К30 ( $V=17\text{ В}$ ,  $W=170\text{ Вт}$ ) проходит через коллектор 2, попадает на зеркало 3 и через светофильтр 4, апертурную диафрагму 5, линзу 8, полевую диафрагму 18, призму 7 и линзу поступает на стеклянную пластинку 9, отражающую около половины светового потока, а затем через объектив 10 – на шпиф 11. Отразившись от шпифа, лучи вновь попадают в объектив, проходят через пластинку 9, ахроматическую линзу 12 и, отразившись от зеркала 14, поступают в окуляр 13.

При фотографировании зеркало 14 выдвигается вместе с тубусом визуального наблюдения, и лучи проходят через один из трех фотоокуляров 15, которые укреплены на поворачивающемся диске. Отражаясь от зеркала 16, лучи попадают на матовое стекло или фотопластинку 17. Для фотографирования используют фотозатвор 19.

Если наблюдения проводят в темном поле, то вместо линзы 6 в световой поток включают линзу 20 и непрозрачный диск 23. В этом случае свет попадает только на кольцевое зеркало 21 и, отразившись от него, концентрируется параболическим зеркалом 22, расположенным вокруг объектива, на поверхности шпифа.

Для исследования в поляризованном свете на оправку линзы 8 помещают поляризатор 24, а на оправку линзы 12 – анализатор 25.

Общее увеличение микроскопа определяется комбинацией сменных объективов и окуляров, установленных на микроскопе (табл. 1).

Таблица 1

Увеличения микроскопа мим-7

Фокусное расстояние объектива F, мм	Увеличение окуляра			
	x	0 <sup>x</sup>	5 <sup>x</sup>	20 <sup>x</sup>
23,2	0	0	30	170
13,8	00	40	00	300
8,16	70	40	60	500
6,16	50	20	00	650
2,77	00	20	080	1440

Для предотвращения преждевременной порчи микрошлифов необходимо соблюдать следующие правила.

1. Шлифы должны храниться комплектами в коробочках на слое ваты. Запрещается нарушать комплектность и перекладывать шлифы из одной коробочки в другую. Микрошлиф можно брать из коробочки только за боковую поверхность и ставить только на предметный столик микроскопа.

2. Во избежание загрязнения и повреждения изучаемой поверхности микрошлифов нельзя касаться ее пальцами, тереть, передвигать по поверхности предметного столика и т. д.

3. При повреждении шлифа студент обязан во внеурочное время приготовить его заново.

4. Перед началом работы студент получает у преподавателя комплект шлифов и по окончании работы сдает его преподавателю.

Для изучения структуры металлов и сплавов применяется металлографический микроскоп модели МИМ-7 (рис. 1). На основании 1 установлен корпус 2, в котором находится фотокамера 3 с матовым стеклом 4. Предметный столик 7, управляемый рукоятками 8, предназначен для установки на нем исследуемого микрошлифа. Рукоятка 9 служит для вертикального перемещения стола при грубой наводке на резкость, а микрометрический винт 5 – для точной наводки. В тубусе устанавливается сменный окуляр. Внутри корпуса осветителя 10 находится низковольтная лампа накаливания. Рукоятка 11 служит для переключения светофильтров.

Оптическая система микроскопа состоит из объектива, окуляра и ряда вспомогательных оптических элементов (рис. 2). Свет от кинопроекторной лампы 1 модели К30 ( $V=17\text{ В}, W=170\text{ Вт}$ ) проходит через коллектор 2, попадает на зеркало 3 и через светофильтр 4, апертурную диафрагму 5, линзу 8, полевую диафрагму 18, призму 7 и линзу поступает на стеклянную пластинку 9, отражающую около половины светового потока, а затем через объектив 10 – на шлиф 11. Отразившись от шлифа, лучи вновь попадают в объектив, проходят через пластинку 9, ахроматическую линзу 12 и, отразившись от зеркала 14, поступают в окуляр 13.

При фотографировании зеркало 14 выдвигается вместе с тубусом визуального наблюдения, и лучи проходят через один из трех фотоокуляров 15, которые укреплены на поворачивающемся диске. Отражаясь от зеркала 16, лучи попадают на матовое стекло или фотопластинку 17. Для фотографирования используют фотозатвор 19.

Если наблюдения проводят в темном поле, то вместо линзы 6 в световой поток включают линзу 20 и непрозрачный диск 23. В этом случае свет попадает только на кольцевое зеркало 21 и, отразившись от него, концентрируется параболическим зеркалом 22, расположенным вокруг объектива, на поверхности шлифа.

Для исследования в поляризованном свете на оправку линзы 8 помещают поляризатор 24, а на оправку линзы 12 – анализатор 25.

Общее увеличение микроскопа определяется комбинацией сменных объективов и окуляров, установленных на микроскопе (табл. 1).

Таблица 1

Увеличения микроскопа мим-7

Фокусное расстояние объектива F, мм	Увеличение окуляра			
	x	0 <sup>x</sup>	5 <sup>x</sup>	20 <sup>x</sup>
23,2	0	0	30	170
13,8				300

	00	40	00	
8,16	70	40	60	500
6,16	50	20	00	650
2,77	00	20	080	1440

ответствует баллу. 1. Микроскоп является точным прибором, требующим аккуратного и осторожного обращения.

2. Работая на микроскопе нельзя делать быстрых и резких движений при наводке объектива на фокус, при установке и перемене окуляров.

3. Если вращение макро- и микровинтов затруднено, то нельзя применять силу и стремиться во что бы то ни стало повернуть винт, так как это может повлечь за собой снятие резьбы, т. е. порчу микроскопа.

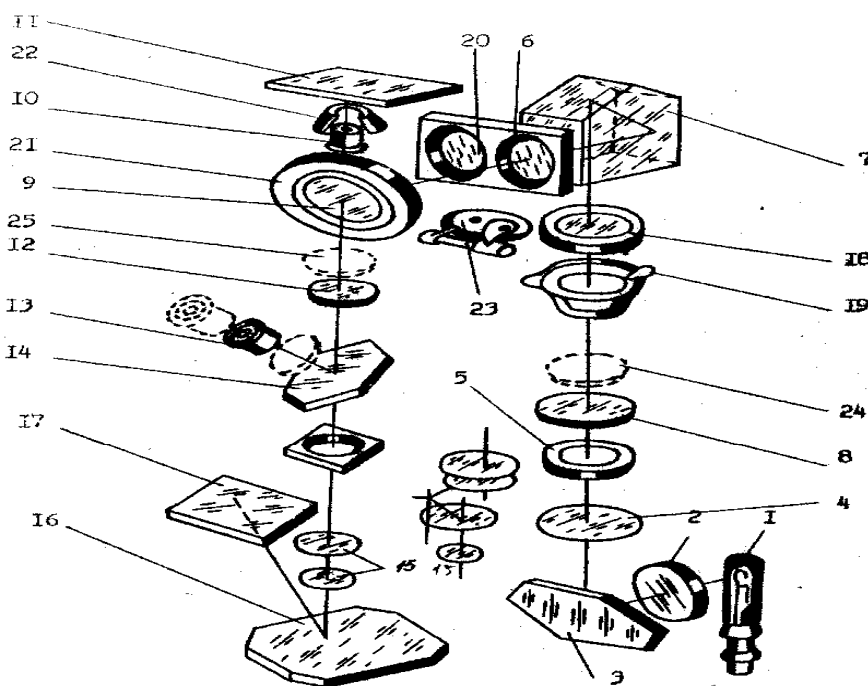


Рис.2. Оптическая схема микроскопа МИМ-7:  
 1 - лампа; 2 - коллектор; 3, 14 - зеркала; 4 - светофильтр;  
 5 - диафрагма; 6, 8, 20 - линзы; 7 - призма; 9 - стеклянная пластинка; 10 - объектив; 11 - слайд; 12 - ахроматическая линза; 13 - окуляр; 15 - фотоокуляр; 17 - фотоэмульсия; 18 - полевая диафрагма; 19 - затвор; 21 - кольцевое зеркало; 22 - параболическое зеркало; 23 - непрозрачный диск; 24 - поляризатор; 25 - анализатор

Рис. 2. Оптическая схема микроскопа МИМ-7

4. Нельзя трогать ответственные части микроскопа, кроме макро- и микрометрических винтов, винтов предметного столика и рукоятки светофильтров, так как микроскоп отрегулирован, и смещение частей приводит к трудновыполнимой работе по новой регулировке.

5. Совершенно недопустимо отвинчивать винты, разьединять детали микроскопа и т. п., так как это ведет к его порче.

6. Включение микроскопа производится посредством трансформатора, рукоятка которого поворачивается вправо на 2...3 щелчка (напряжение на осветительной лампе не более 10...12 В).

### **Правила техники безопасности**

1. Соблюдать правила безопасности при обращении с реактивами, использовать средства защиты рук и дыхания (резиновые перчатки, респиратор). Приготовление травителей производить в вытяжном шкафу.

2. Соблюдать правила безопасности приготовления шлифов. Не касаться руками вращающегося абразивного круга.

3. При работе на микроскопе не касаться токоведущих частей.

Проверить заземление.

### **Порядок выполнения работы**

1. Провести исследования макроструктур с выявлением содержания серы, фосфора, литой структуры, сварного шва, закаленного слоя и дефектов сплошности металла.
2. Зарисовать характерные макроструктуры.
3. Изучить методику проведения микроскопического анализа
4. Провести исследования микроструктур сталей, чугунов (доэвтектоидных, эвтектоидных, заэвтектоидных, эвтектических), алюминиевых и медных сплавов.
5. Зарисовать характерные микроструктуры.

### **Содержание отчета**

1. Описание методики выявления структуры микрошлифа.
2. Рисунки и характеристика исследуемых микроструктур.
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. Основные этапы подготовки макрошлифа?
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 источник несоответствия между наблюдаемой картиной микроструктуры и истинной микроструктурой?

## Лабораторная работа №2

### Испытания на твердость. Проведение исследований и испытаний материалов.

**Цель лабораторной работы** – практическое изучение методов определения твердости металлов по методу Бринелля и Роквелла.

**Оборудование:** Твердомер ТК-2 (Приложение 1), стальные образцы с разной твердостью, шлифовальная бумага.

**Оборудование и материалы:** приборы Твердомер ТК-2, стальные образцы с разной твердостью, для определения твердости металлов по Бринеллю и Роквеллу; образцы из стали, цветных металлов и сплавов; штангельциркуль; напильник и шлифовальная бумага для зачистки образцов.

#### Краткие теоретические сведения

Твердость – это свойство металла сопротивляться проникновению в него другого более твердого тела под действием нагрузки.

Определение твердости является наиболее широко распространенным методом испытания металлов, позволяющим в большинстве случаев без разрушения изделия и изготовления специальных образцов судить о качестве изделия.

Приборы для испытания на твердость просты, обладают высокой производительностью, не требуют работников высокой квалификации и могут использоваться непосредственно на рабочем месте.

Наиболее широко применяются следующие способы измерения твердости:

1. Вдавливанием стального шарика (метод Бринелля);
2. Вдавливанием алмазного конуса (метод Роквелла);
3. Вдавливанием четырехгранной алмазной пирамиды (метод Виккерса);
4. Вдавливанием четырехгранной алмазной пирамидки под небольшой нагрузкой (определение микротвердости методом Хрущева-Берковича).

Измерение твердости вдавливанием стального шарика (метод Бринелля)

По методу Бринелля твердость металла определяют вдавливанием в испытуемый образец (изделие) закаленного стального шарика (рис. 1, а) диаметром 10, 5 или 2,5 мм под действием заданной нагрузки в течении определенного времени и выражают числом твердости НВ, полученный путем деления приложенной нагрузки Р в кг на поверхность образовавшегося на образце отпечатка шарика (шарового сегмента) F в мм:

$$HВ = \frac{P}{F} = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}, [кг / мм^2]$$

где Р - нагрузка в кг; D - диаметр шарика в мм; d - диаметр отпечатка шарика в мм.

Диаметр шарика, нагрузку и длительность выдержки под нагрузкой выбирают в зависимости от твердости и толщины образца (табл. 1).

Чем тверже металл, тем меньше диаметр отпечатка и тем выше число твердости по Бринеллю.

Диаметр отпечатка измеряется при помощи специальной лупы, имеющей шкалу с ценой деления 0,1 мм или 0,05мм

При диаметре шарика 10 мм и нагрузке 3000 кг твердость обозначается цифрами перед символом НВ, например 250 НВ, что означает твердость по Бринеллю 250 кг / мм<sup>2</sup>.

Во избежание сложных вычислений числа твердости для каждого отпечатка на практике используются готовыми таблицами.

Материал	Интервал твердости в числах Бриелля	Минимальная толщина испытуемого образца, мм	Соотношение между нагрузкой Р и диаметром шарика D	Диаметр шарика D, мм	Нагрузка Р, кг	Выдержка под нагрузкой, сек
Черные металлы	1 40-450	От 6 до 3	$P=30D^2$	10	3000	10
		От 4 до 2		5	750	
		Менее 2		2,5	187,5	
Черные металлы	Менее 140	Более 6	$P=10D^2$	10	1000	10
		От 6 до 3		5	250	
		Менее 3		2,5	62,5	
Цветные металлы	Более 130	От 6 до 3	$P=30D^2$	10	3000	30
		От 4 до 2		5	750	
		Менее 2		2,5	187,5	
Цветные металлы	3 5-130	От 9 до 5	$P=10D^2$	10	1000	30
		От 6 до 3		5	250	
		Менее 3		2,5	62,5	
Цветные металлы	8-35	Более 6	$P=2,5D^2$	10	250	60
		От 6 до 3		5	62,6	
		Менее 3		2,5	15,6	

Между числами твердости по Бринеллю и пределом прочности  $\sigma_B$  металлов существует следующая приближенная зависимость:

$$\sigma_B \approx k \cdot HB; \text{ кг / мм}^2,$$

где  $k$  - коэффициент, определяемый по таблице.

Сталь легированная	,34
Сталь углеродистая	,36
Алюминий отожженный	,4
Дуралюминий	,37
Медь холоднокатаная	,35
Медь отожженная	,48

Наиболее распространенными стандартными условиями при испытании твердости являются: нагрузка 3000 кг, диаметр шарика 10 мм и длительность выдержки 10 сек.

Для определения твердости по Бринеллю используются твердомером типа ТШ (рис. 2).

Прибор имеет станину 1, в нижней части которой помещен винт 2 со сменными столиками 4 для испытуемых образцов. Перемещения винта осуществляется вручную маховиком 3. В верхней части станины находится шпиндель 6 со сменными наконечниками, в которые вставляются шарики 5. Основная нагрузка прикладывается к образцу посредством рычажной системы. На длинном плече основного рычага 7 имеется подвеска 8 с грузами 9. Комбинацией грузов можно осуществить нагрузки 187,5; 250; 750; 1000 и 3000 кг. Нагрузка прилагается автоматически с помощью электродвигателя 11, находящегося внутри станины, при нажатии пусковой кнопки. Для установки продолжительности испытания служит передвижной упор переключателя 10, устанавливающийся до начала испытания в положение, соответствующее требуемой выдержке (10, 30 или 60 сек).

Недостатки метода Бринелля:

1. невозможность испытания материалов, имеющих твердость более 450 НВ, так как шарик будет деформироваться и показания будут неточными;

2. невозможность испытания твердости тонкого поверхностного слоя и пластин (менее 1-2 мм), так как шарик будет продавливать тонкий слой материала;

3. после испытания остаются заметные следы на поверхности изделия.

Измерение твердости вдавливанием алмазного конуса или стального шарика (метод Роквелла)

По методу Роквелла твердость металлов определяют вдавливанием в испытуемый образец (изделие) стального шарика диаметром 1,588 мм при нагрузке 100 кг или алмазного конуса с углом при вершине  $120^\circ$  при нагрузке 60 и 150 кг. Схема определения твердости по Роквеллу приведена на рис. 3.

При испытании сначала прикладывают предварительную нагрузку  $P_0$ , равную 10 кг, а затем нормальную  $P$ , равную 60, 100 или 150 кг (ГОСТ 9013-59). Разность глубин



проникновения шарика или алмаза под нагрузками  $P_0$  и  $P$  ( $h-h_0$ ) характеризует твердость. Чем меньше эта разность, тем тверже испытуемый материал, и, наоборот, чем больше эта разность, тем мягче материал.

Числа твердости по Роквеллу обозначают HR и вычисляют по формуле.

$$HR = \frac{K - (h - h_0)}{C},$$

где  $h_0$  - глубина внедрения в мм наконечника под действием предварительной нагрузки  $P_0$ ;  $h$  - глубина внедрения наконечника под действием общей нагрузки;  $K$  - постоянная величина; для шарика  $K=0,26$  и для конуса  $K=0,2$ ;  $C$  - цена деления циферблата индикатора прибора, соответствующая углублению наконечника на 0,002 мм.

Таким образом, твердость по Роквеллу выражается в условных единицах.

На практике числа твердости по Роквеллу обычно не вычисляют по приведенной выше формуле, а отсчитывают по шкале индикатора прибора типа ТК непосредственно в процессе испытания.

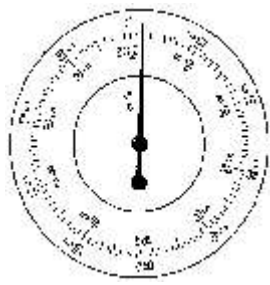


Рис.4. Циферблат индикаторного прибора

Нулевое деление черной шкалы совпадает с начальным положением стрелки. Красная шкала смещена относительно нулевого деления черной шкалы на 30 делений в направлении, противоположном движению стрелки индикатора при внедрении наконечником. Следовательно, начальное деление красной шкалы совпадает с делением 30 на циферблате индикатора. Это смещение сделано по той причине, что глубина вдавливания шарика часто превышает 0,2 мм, и тогда стрелка при вдавливании делала бы поворот более чем на 100 делений, т.е. значение твердости могли бы получаться отрицательными. Большая стрелка служит для указания твердости, а малая – для контроля величины предварительного нагружения.

Твердость на приборе ТК можно измерить:

1. Алмазным конусом с общей нагрузкой 150 кг (предварительная – 10 кг и основная 140 кг). Значение твердости определяют по черной шкале С и обозначают HRC. Эта шкала применяется для испытания закаленных сталей, обладающих твердостью до 67HRC, и для определения твердости тонких поверхностных слоев толщиной более 0,5 мм;
2. Алмазным конусом с общей нагрузкой 60 кг (предварительная – 10 кг и основная 50 кг). Значение твердости определяют по черной шкале С и обозначают HRA. Эта шкала применяется для испытания сверхтвердых сплавов (например, карбидов вольфрама), тонкого листового материала и для измерения твердости тонких поверхностных слоев (0,3-0,5 мм) или тонких пластинок;
3. Стальным шариком 1/16 дюйма с общей нагрузкой 100 кг (предварительная – 10 кг и основная 90 кг). Значение твердости определяют по красной шкале В и обозначают HRB. Шкала В служит для испытаний металлов средней твердости и для испытаний изделий толщиной от 0,8 до 2 мм.

На основании опытных работ установлена связь между числами твердости по Роквеллу (при HRC>20) и по Бринеллю

$$HB \approx 10 \cdot HRC$$

К достоинствам метода Роквелла следует отнести высокую производительность, простоту обслуживания, точность измерения и сохранение качественной поверхности после испытаний. Не рекомендуется применять этот метод для определения твердости неоднородных по структуре сплавов (чугуна), для испытания криволинейных поверхностей с радиусом кривизны менее 5 мм и для испытания деталей которые под действием нагрузки могут деформироваться.

Порядок выполнения работы

### Измерение твердости методом Бринелля

1. Изучить работу твердомера типа ТШ.
2. Подготовить образцы к испытанию (поверхность образца должна быть плоской и чистой от загрязнений и окалины. Толщина образца – не менее десятикратной глубины отпечатка).
3. Выбрать в зависимости от заданных условий испытания и типа образца диаметр шарика, нагрузку и время выдержки под нагрузкой.
4. Закрепить шариковый наконечник в шпинделе установочным винтом.
5. Поместить на подвеску требуемое для испытания количество сменных грузов.
6. Установить упор на нужную продолжительность выдержки и закрепить стопорным винтом.
7. Установить на столик (испытания круглых образцов производят с помощью специальной подставки) испытуемый образец и вращением маховика поднять его к шариковому наконечнику, оказывая предварительную нагрузку на образец порядка 100 кг. Нагрузка должна быть приложена в направлении, перпендикулярном к плоскости образца. Центр отпечатка должен находиться от края образца на расстоянии не менее диаметра шарика, а от центра соседнего отпечатка – на расстоянии не менее двух диаметров шарика.
8. Нажать на пусковую кнопку, приводя в движение электродвигатель и передать нагрузку на образец.
9. После окончания испытания опустить столик, снять образец и измерить диаметр отпечатка в двух взаимно перпендикулярных направлениях при помощи лупы. Диаметр отпечатка измеряют с точностью до 0,05 мм при испытании шариком диаметром 10 и 5 мм и с точностью до 0,01 мм при испытании шариком диаметром 2,5 мм.
10. По величине диаметра отпечатка рассчитать число твердости НВ.
11. Повторить эксперимент 3 раза.
12. Определить среднее число твердости НВ.
13. По полученным числам твердости определить величины предела прочности, пользуясь имеющимися соотношениями между НВ и  $\sigma_b$ .
14. Результаты испытаний внести в протокол.

### Протокол испытания на твердость по методу Бринелля.

Исп	Ма-тери-ал и толщина образца, мм	Ди-аметр шарика D, мм	На-груз-ка P, кг	Ди-аметр отпечат-ка d, мм	Ч-исло твердо-сти НВ	Сре-днее число твердости НВ	Пре-дел прочно-сти $\sigma_b$ , кг/мм <sup>2</sup>

### Измерение твердости методом Роквелла

1. Изучить работу твердомера типа ТК.
2. Подготовить образцы к испытанию (поверхность образца должна быть плоской и чистой от загрязнений и окалины. Толщина образца – не менее восьмикратной глубины отпечатка).
3. Выбрать в зависимости от заданных условий испытания и типа образца наконечник.
4. Закрепить наконечник в шпинделе установочным винтом.
5. Подобрать грузы соответственно выбранному наконечнику и применительно к шкале, по которой предполагается вести испытания и подвесить их.

6. Установить на столик (испытания круглых образцов производят с помощью специальной подставки) испытуемый образец и вращением маховика поднять его до соприкосновения с наконечником, а затем дальнейшим вращением маховика произвести предварительное нагружение до тех пор, пока малая стрелка индикатора не совпадет с красной точкой на шкале, а большая стрелка не примет вертикальное положение. Если малая стрелка индикатора перейдет за красную точку, то необходимо выбрать на испытуемой поверхности другую точку и испытание начать сначала; затем повернуть ободок индикатора до совпадения нуля черной шкалы с большой стрелкой.
7. Привести в движение механизм основного нагружения. В это время большая стрелка поворачивается против часовой стрелки и принимает некоторое положение. После секундной выдержки снять основную нагрузку возвращением рукоятки в начальное положение (притягивают ее к себе). Большая стрелка при этом вращается по часовой стрелке и занимает нужное положение.
8. Отсчитать числа твердости по шкале индикатора. В случае применения алмазного наконечника отсчет производить по наружной черной шкале С, при шариковом наконечнике – по внутренней красной шкале В. Опустить столик вращением маховика и снять образец.
9. Повторить эксперимент 3 раза.
10. Определить среднее число твердости HR.
11. Перевести полученную твердость по Роквеллу HR в твердость по Бринеллю HB.
12. Результаты испытаний внести в протокол.

#### Протокол испытания на твердость по методу Роквелла.

исп	Материал и толщина образца, мм	Наконечник	Нагрузка Р, кг	Шкала	Число твердости HR	Среднее число твердости HR	Твердость по Бринеллю HB

#### Вопросы к зачету

1. Что такое твердость?
2. Какие существуют методы измерения твердости?
3. Как определяется твердость по методу Бринелля?
4. Каким образом производится выбор диаметра шарика при измерении твердости по методу Бринелля?
5. Какова зависимость между числами твердости HB и пределом прочности металлов  $\sigma_B$ ?
6. Недостатки метода Бринелля.
7. Как определяется твердость по методу Роквелла?

8. Каким образом производится выбор наконечника при измерении твердости по методу Роквелла?
9. Достоинства метода Роквелла по сравнению с методом
10. Бринелля.
11. Какова зависимость между числами твердости HRC и HB?

**Фрагмент таблицы определения числа твёрдости по диаметру отпечатка по методу Бринелля.**

10. Нагрузка 3000 кг, диаметр шарика 10 мм.

<i>диаметр отпечатка в мм</i>	<i>Твердость по Бринеллю HB</i>
5,9	HB 100
5,5	HB 115
5,4	HB 120
5,3	HB 125
5,2	HB 130
5,1	HB 135
5,0	HB 140
4,9	HB 152
4,7	HB 161
4,6	HB 170
4,50	HB 179
4,4	HB 185
4,2	HB 200
4,1	HB 209
4,0	HB 229
3,9	HB 239
3,8	HB 252
3,7	HB 263
3,6	HB 282
3,5	HB 295
3,3	HB 325
3,2	HB 363
3,1	HB 388
3,0	HB 409
2,9	HB 444
2,8	HB 477

### Лабораторная работа № 3.

Испытания на ударную вязкость. Проведение исследований и испытаний материалов.

**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).

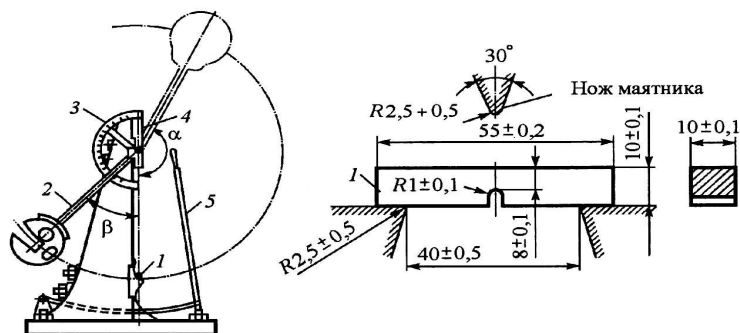


Рис. 1. Схема маятникового копра и образца для определения ударной вязкости.

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:

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

где  $F$  – площадь поперечного сечения образца в месте концентратора (надреза), см<sup>2</sup>  
 $F = h \cdot b, \quad (2)$

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: КСУ, КСV, КСТ.

Образцы с U-образным концентратором применяют при выборе и приемосдаточных 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 КСУ. Она состоит из двух составляющих:

$$КСУ = КС_3 + КС_p, \quad (3)$$

где  $КС_3$  – работа зарождения трещины;  $КС_p$ .

КСТ – работа распространения трещины. Чем острее надрез, тем меньше  $КС_3$ . Критерий КСТ 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 прошло 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  $\psi$ :

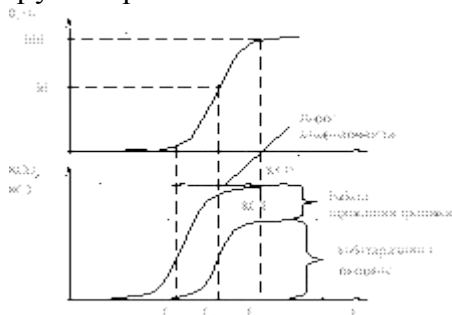
$$\psi = \frac{B_2 - B_1}{b} \cdot 100\% \quad (6)$$

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.



Правила техники безопасности

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

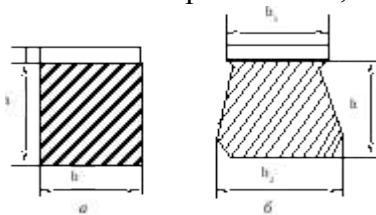


Рис. 3. Сечения образца для испытания на ударный изгиб:  $a$  - до испытания;  $b$  - после испытания

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 ( $\psi$ , %).
7. Занести все результаты экспериментов в протокол испытаний (таблица).

#### Протокол испытаний образцов из стали на ударный изгиб

номер образца	Размеры образцов					ж	С, ж/см <sup>2</sup>	,	,
	До испытаний			Посл е испытаний					
	, см	, см	, см <sup>2</sup>	1, см	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 этих видов разрушения



## Лабораторная работа № 4

### микроструктура сталей и чугунов

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

#### 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  $\times 100$  до  $\times 1000$ .

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 **нематаллические 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
1050-88	качества. Общие технические условия.

1414-75E	Прокат сортовой, калиброванный со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия.
1435-90	Прокат из конструкционной стали высокой обрабатываемости резанием. Технические условия
4543-71	Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия
5632-72	Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия
5950-73	Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия
14959-79	Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия
19265-73	Прокат из высоколегированных и сплавов коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки. Прокат из инструментальной легированной стали. Технические условия Прокат из рессорно-пружинной углеродистой и легированной стали. Технические условия. Прокат из быстрорежущей стали. Технические условия.

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.
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.

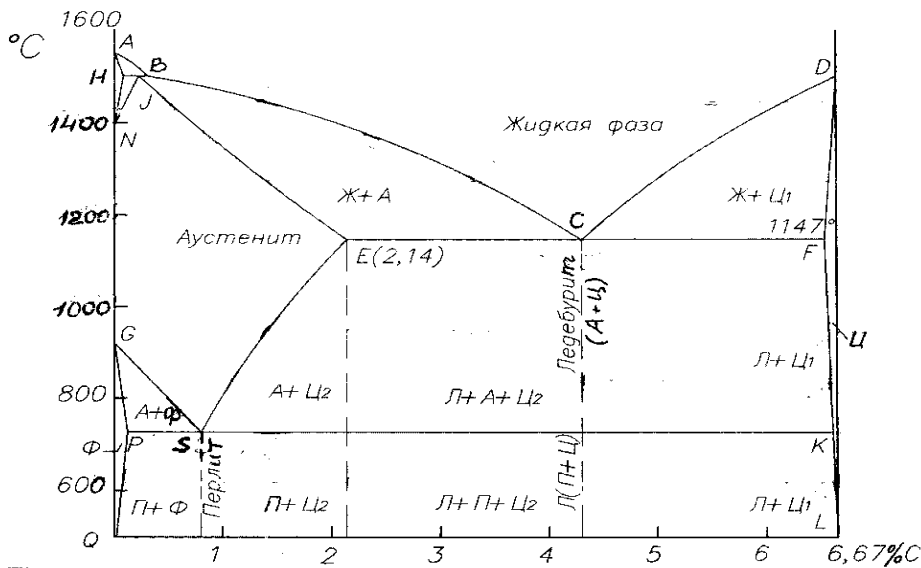
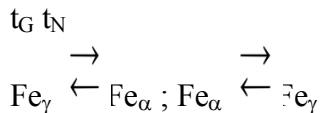


Рис. 4.

### Диаграмма состояния железо – углерод

Метастабильная диаграмма состояния железо-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:



Железо модификаций  $\alpha$  и  $\gamma$  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  $\gamma$  (аустенита А), т.е. раствора углерода в  $Fe_\alpha$  (ГЦК);
- две области QPGQ и ANNA твердого раствора  $\alpha$  (феррита Ф), т.е. раствора углерода в  $Fe_\alpha$  (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:  
 $t_{HJB}$   
 $\longrightarrow$  ЖВ + ФН А<sub>J</sub>
- линия ECF эвтектического превращения:  
 $t_{ECF}$   
 $\longrightarrow$  Жс е (Ае + Ц<sub>F</sub>) (эвтектика-ледебурит Л)
- линия PSK эвтектоидного превращения:  
 $t_{PSK}$   
 $\longrightarrow$  А<sub>S</sub> е (Фр + Ц<sub>K</sub>) (эвтектоид - перлит П)

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.

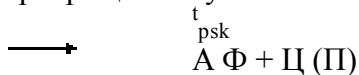
**Феррит (Ф)**- твердый раствор углерода и легирующих элементов в железе Fe<sub>α</sub> кристаллической решеткой объемно-центрированного куба (ОЦК). Феррит имеет твердость HB 80-90,пластичен (относительное удлинение 50 %).

**Аустенит (А)** - твердый раствор углерода и легирующих элементов в железе Fe<sub>γ</sub> с кристаллической решеткой гранецентрированного куба (ГЦК).

**Цементит (Ц)** - раствор небольшого количества железа в карбиде железа Fe<sub>3</sub>C.

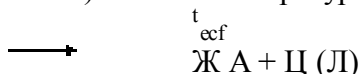
Образуются также и более сложные структурные составляющие из двух фаз, наблюдаемые в микроструктуре:

**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°C). Выше температуры 727°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.

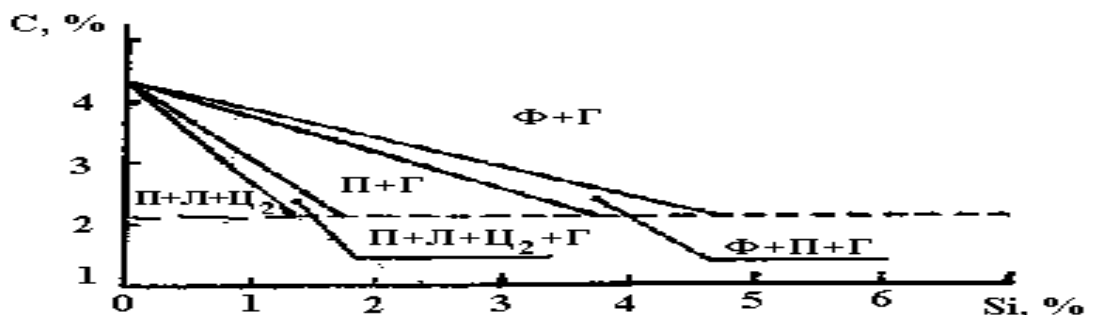


Рис. 5. Структурная диаграмма чугунов (толщина стенки отливки постоянная)



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 С	Типичные легирующие элементы		
Дозэвтектонидные стали	$C_p < C < C_s$	Cr, Mn, Ni и др.	Феррит + перлит	Конструкционные стали
Эвтектонидные стали	$C = C_s$	Cr, W, V и др.	Перлит	Инструментальные стали
Заэвтектонидные 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	Десять 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"> <li>• доэвтектические (<math>C_E &lt; C &lt; C_C</math>)</li> <li>• эвтектический (<math>C = C_C</math>)</li> <li>• заэвтектические</li> </ul>	Ледебурит, перлит и карбиды вторичные Ледебурит Ледебурит и карбиды первичные

( $C_C < C < C_F$ )	
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		
• с вермикулярным графитом ЧВГ		
• с хлопьевидным графитом ЧХГ	100...440 300...450	0,2...1,1 2,0...6,0
• с шаровидным графитом ВЧШГ	300...630 350...1000	2,0...12,0 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:

$$d = 1 / 2A ; (A = n \sin (a/2)),$$

где  $l$  - длина волны световых лучей, мкм;  $n$  - показатель преломления световых лучей средой, находящейся между поверхностью микрошлифа и объективом микроскопа;  $\alpha$  - отверстиевый угол объектива;  $A$  - числовая апертура микроскопа (обычно  $A = 0,17 \dots 1,25$ ). При  $A = 1,25$  и  $l = 0,55$  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 находящиеся в лаборатории фотографии устанавливают, 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 чугунных отливок 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 % Ц<sub>2</sub>:  $C = 0,8 \cdot 88/100 + 6,67 \cdot 12/100 = 1,50 \%$ .

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+Ц<sub>2</sub>), то есть 48% П и 12% Ц<sub>2</sub>:  
 $C = 0,8 \cdot 48/100 + 6,67 \cdot 12/100 + 4,3 \cdot 40/100 = 2,9 \%$ .

Чугун белый заэвтектический: 60 % Ц<sub>1</sub>; 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)

№№ микро шлифа	Материал	Химический состав, %		Структу рный класс	Описани е микроструктуры
		У глерод С	Друг ие компоненты		
1	2	3	4	5	6
<b>УГЛЕРОДИСТЫЕ СТАЛИ</b>					
1.	Углеродистая качественная конструкционная сталь 20, ГОСТ 1050-88	0,20	-	Дозвтектоидная 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 цементита
<b>КОНСТРУКЦИОННЫЕ СТАЛИ С СТРУКТУРНЫМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ</b>					
7.	Сталь конструкционная после перегрева	0,40	-	Дозвтектоидная сталь	Крупные темные участки перлита и светлая широкая сетка феррита

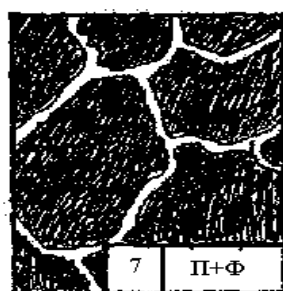
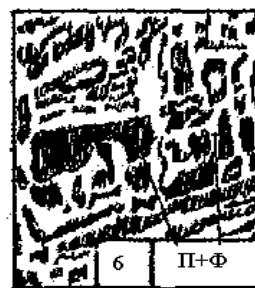
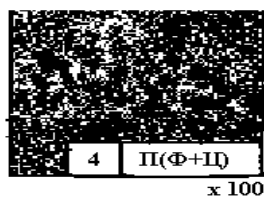
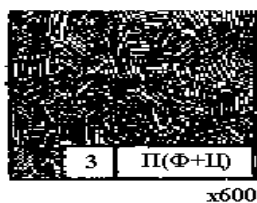
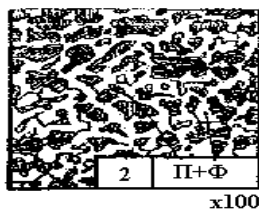
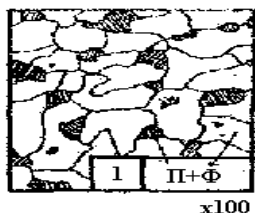


Продолжение табл. 8.

.	Сталь конструкционная с полосчатостью феррито-перлитной структуры	0,25	-	Доэвтектоидная сталь	Перлит и феррит расположены в виде чередующихся полос.
.	Сталь инструментальная с обезуглероживанием поверхностного слоя	0,80	-	Эвтектоидная сталь	Перлит в сердцевине, феррит и перлит в поверхностном слое
<b>ОБРАЗЕЦ СТАЛИ С НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ</b>					
0.	Сталь с неметаллическими включениями (полированный шлиф без травления)	да анализован нет	-	-	Темные неметаллические включения, вытянутые по направлению деформации
<b>ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ</b>					
4.	Легированная конструкционная сталь 40Х, ГОСТ 4543-71	0,40	0,8... 1,1 Cr	Доэвтектоидная сталь	Темные участки перлита и светлый феррит
8.	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
9.	Коррозионноустойчивая сталь 12Х17, ГОСТ 5632-72	менее 0,12	16... 18 Cr	Сталь ферритного класса	Светлые зерна легированного феррита
0.	Коррозионноустойчивая 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.

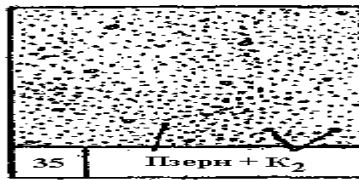
ЧУГУНЫ					
2.	Белый заэвтектический чугун	,1	данны х нет	Чугун белый	Темно-белые участки ледебурита и светлые пластины первичного цементита
4.	Чугун ЧПГ марки СЧ15, ГОСТ 1412-85	,4	2,2Si ; 0,7 Mn	Чугун с пластинчатым графитом	Темный перлит, светлый феррит и тонкие черные пластины графита
6.	Чугун ЧХГ марки КЧ30-6, ГОСТ 1215-79	,7	1,2Si ; 0,5 Mn	Чугун с хлопьевидным графитом	Светлые зерна феррита и темный хлопьевидный (компактный) графит
8.	Чугун ВЧШГ марки ВЧ 60, ГОСТ 7293-85	,5	2,1Si ; 0,6 Mn	Чугун с шаровидным графитом	Темный перлит, светлый феррит и черный шаровидный графит





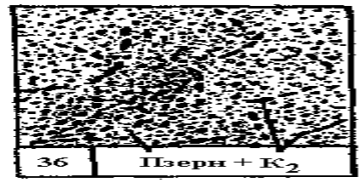
34

П + Ф



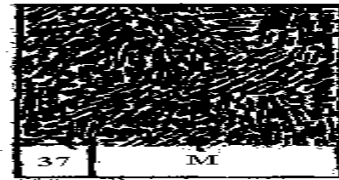
35

Пзери + К<sub>2</sub>



36

Пзери + К<sub>2</sub>



37

М



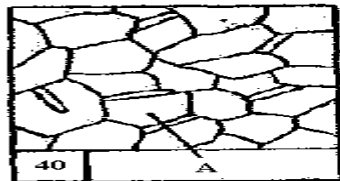
38

Пзери + К<sub>1</sub> + К<sub>2</sub>



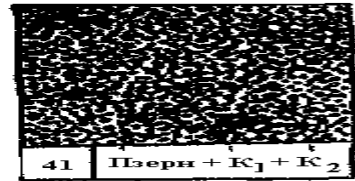
39

Ф



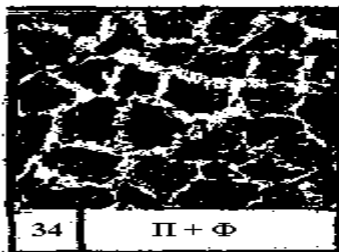
40

А



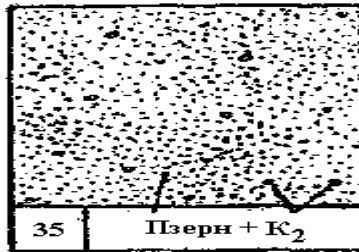
41

Пзери + К<sub>1</sub> + К<sub>2</sub>



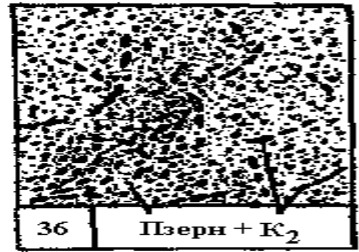
34

П + Ф



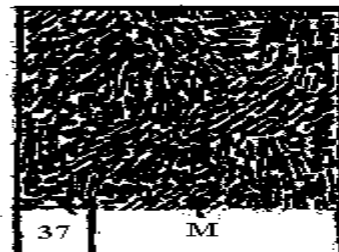
35

Пзери + К<sub>2</sub>



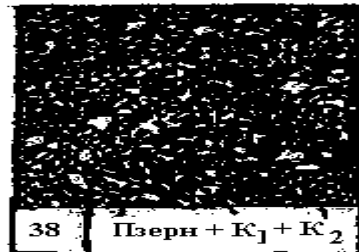
36

Пзери + К<sub>2</sub>



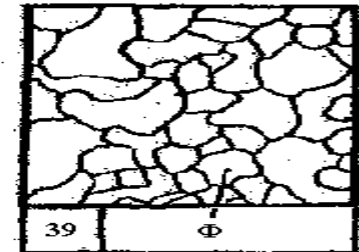
37

М



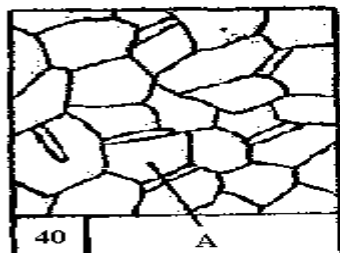
38

Пзери + К<sub>1</sub> + К<sub>2</sub>



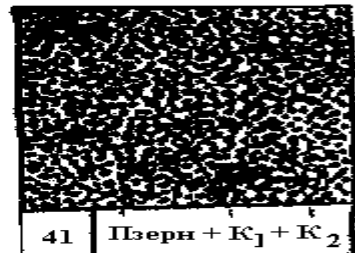
39

Ф



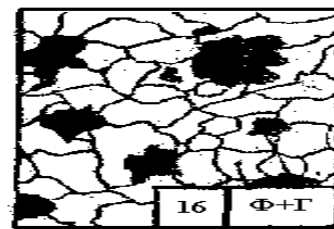
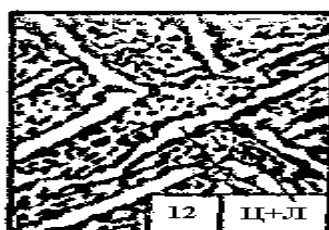
40

А



41

Пзери + К<sub>1</sub> + К<sub>2</sub>



#### 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. Зарисовка схем микроструктур всех изученных сплавов, наименование и марка материала, составляющие структуры, химический состав.

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. Выбор, обоснование и назначение методов и режимов термообработки и химико-термической обработки на детали и инструменты.

**Цель работы:** ознакомление с основными видами термической обработки сталей, определение зависимости твердости сталей от вида и параметров режима термической обработки и содержания углерода.

**Необходимое оборудование, приспособления, инструмент, материалы:** муфельные электропечи для отжига, закалки и отпуска образцов, прибор Роквелла, металлографический микроскоп, образцы среднеуглеродистой и высокоуглеродистой стали, емкости с охлаждающими жидкостями, щипцы.

### Краткие теоретические сведения

Термической обработкой называют технологические процессы, состоящие из нагрева и охлаждения металлических изделий с целью изменения их структуры и свойств.

Термической обработке подвергают слитки, отливки, полуфабрикаты, сварные соединения, детали машин и инструменты.

Основными видами термической обработки являются отжиг, закалка, отпуск и старение. Каждый из указанных видов имеет несколько разновидностей.

*Отжиг* - термическая обработка, в результате которой металлы или сплавы приобретают структуру, близкую к равновесной. Отжиг вызывает разупрочнение металлов и сплавов, сопровождающееся повышением пластичности и снятием остаточных напряжений.

Температура нагрева при отжиге зависит от состава сплава и конкретного вида отжига. Скорость охлаждения с температуры отжига обычно невелика и лежит в пределах 30...200 °С/ч.

*Закалка* - термическая обработка, в результате которой в сплавах образуется неравновесная структура. Неравновесные структуры при термической обработке можно получить только в том случае, когда в сплавах имеются превращения в твердом состоянии - полиморфные превращения твердых растворов, распад твердого раствора по эвтектидной реакции, переменная растворимость и др. Для получения неравновесной структуры сплав нагревают выше температуры фазового превращения в твердом состоянии. Затем его быстро охлаждают, чтобы предотвратить равновесное превращение при снижении температуры.

*Отпуск и старение* - термическая обработка, в результате которой в предварительно закаленных сплавах происходят фазовые превращения, приближающие их структуру к равновесной. Термин «отпуск» используют обычно применительно к сталям и другим сплавам, испытывающим при закалке полиморфное превращение, а термин «старение» - применительно к сплавам, не претерпевающим при закалке полиморфного превращения.

Сочетание закалки с отпуском или старением практически всегда предполагает получение более высокого уровня свойств (твердости, характеристик прочности, коэрцитивной силы, удельного электрического сопротивления и др.) по сравнению с отожженным состоянием. При этом температуру и выдержку выбирают таким образом, чтобы равновесное состояние при обработке не достигалось, как это происходит при отжиге.

Скорость охлаждения с температуры отпуска или старения обычно не влияет на структуру и свойства сплавов.

На рис. 1 представлена диаграмма термических превращений. Если превращение происходит при температурах более 650...670 °С, образуется сравнительно грубая смесь кристаллов феррита и цементита с межпластиночным расстоянием 500...700 нм. Такую смесь называют *перлитом* (П). Превращение при температуре 640...590°С дает

межпластиночное расстояние 300...400 нм, такую перлитную структуру называют *сорбитом* (С).

При температуре превращения 580...550°C межпластиночное расстояние уменьшается до 100-200 нм, такую структуру называют *трооститом* (Т).

В интервале температур промежуточного превращения аустенит распадается с образованием структур, называемых *бейнитом* (Б). Бейнит представляет собой двухфазную смесь кристаллов феррита и цементита. Основная особенность промежуточного превращения состоит в том, что полиморфный переход происходит по мартенситному механизму.

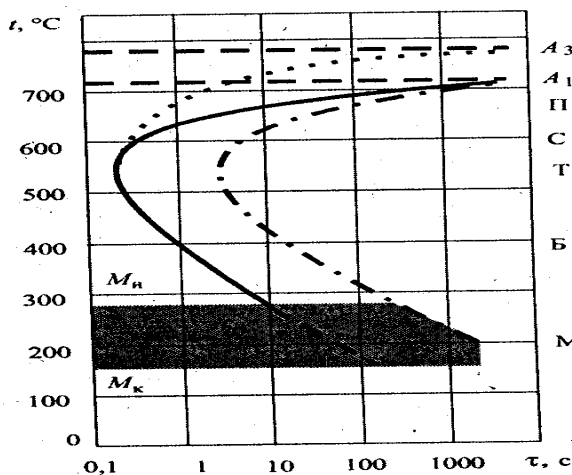


Рис. 1. Диаграмма термических превращений.

*Бейнит*, образовавшийся при температуре 400...550 °C называют *верхним*, он имеет перистое строение. Бейнит, образовавшийся при более низких температурах, называют *нижним*, он имеет пластинчатое строение.

Высокой прочностью и одновременно достаточно высокими пластичностью и вязкостью обладает нижний бейнит, а именно бейнит, полученный при температуре на 50...100

°C выше мартенситной точки  $M_n$ .

*Мартенситное превращение* интенсивно протекает при непрерывном охлаждении в интервале температур от  $M_n$  до  $M_k$ . Для получения мартенситной структуры аустенит углеродистых сталей необходимо очень быстро и непрерывно охлаждать, применяя для этого холодную (лучше соленую) воду. Быстрое охлаждение необходимо для того, чтобы подавить возможные диффузионные процессы и образование перлитных и бейнитных структур. Мартенсит представляет собой неравновесную фазу - пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железе.

Мартенсит имеет тетрагональную кристаллическую решетку. Мартенсит имеет очень высокую твердость, равную или превышающую HRC<sub>3</sub>, 60, при содержании углерода, которое составляет более 0,4 %. С увеличением содержания углерода возрастает хрупкость мартенсита. Мартенситное превращение в сталях сопровождается заметным увеличением объема. Весьма сильно изменяются и другие физические свойства.

*Отпуск стали* - заключительная операция, определяющая ее конечные свойства после закалки.

В зависимости от температуры различают:

- *низкотемпературный или низкий отпуск* (120...250 °C);
- *среднетемпературный или средний отпуск* (350...500 °C),
- *высокотемпературный или высокий отпуск* (500...680 °C).

Низкому отпуску подвергают режущий и мерительный инструмент из углеродистых и низколегированных сталей, а также детали, претерпевшие поверхностную закалку, цементацию, цианирование или нитроцементацию.

Средний отпуск применяют главным образом для пружин и рессор, а также для штампов.

Высокий отпуск создает наилучшее соотношение прочности и вязкости стали.

Комплексную термическую обработку, состоящую из полной закалки и высокого отпуска конструкционных сталей, называют *улучшением*.

Улучшению подвергают среднеуглеродистые конструкционные стали, к которым предъявляются высокие требования по пределу выносливости и ударной вязкости.

Однако износостойкость улучшенной стали, вследствие ее пониженной твердости, не высокая.

### Правила техники безопасности

1. Перед началом работы убедиться, что электропечь надежно заземлена.
2. Для укладки и выемки образцов из печи использовать специальные щипцы и теплозащитные рукавицы.
3. Не открывать дверцы печи в процессе нагрева образца. После окончания работы выключить печь и убрать рабочее место.
4. Работы проводить только с разрешения преподавателя.

### Порядок выполнения работы

1. Провести замер твердости у исходных отожженных образцов двух марок сталей на приборе Роквелла. За величину твердости исследуемой стали принимается средняя арифметическая трех замеров на каждом образце. Твердость измеряется только на торце цилиндрического образца.
2. Перед измерением твердости с поверхности удалить окалину абразивным кругом или абразивной бумагой. На стол установить испытуемое изделие и вращением маховика поднимать его к наконечнику до тех пор, пока малая стрелка индикатора не станет против красной точки, а большая с погрешностью  $\pm 5$  делений – на нуль шкалы индикатора. Если большая стрелка отклонилась больше чем на 5 делений относительно нулевого штриха шкалы, необходимо опустить стол и начать испытание на новом месте. Плавным нажатием включить привод механизма нагружения. После окончания цикла нагружения произвести отсчет твердости по шкале индикатора. Вращением маховика против часовой стрелки испытываемое изделие отвести от наконечника и снять со стола.
3. Выбрать по диаграмме состояния системы железо-цементит температуру нагрева стали под закалку (рис. 2).
4. Назначить продолжительность нагрева по табл. 1.
5. Провести операцию закалки. Для этого в электропечь, нагретую до выбранной температуры, заложить образцы и выдержать их там в течение рассчитанного времени. Температуру контролировать с помощью термопары.
6. Вынуть образцы из печи щипцами и быстро погрузить в емкость с жидкостью, выдержать их там до полного охлаждения. Измерить твердость закаленных образцов и внести результаты в таблицу следующей формы:

Таблица 1

### Продолжительность нагрева стали в зависимости от температуры, формы и размеров детали

Температура нагрева, °С	Форма изделия		
	кру г	кв адрат	пласти на
	Продолжительность нагрева, мин		
	на 1 мм диаметра	на 1 мм толщины	
600	2,0	3,	4
700	1,5	0	3
800	1,0	2,	2
900	0,8	2	1,6
1000	0,4	1,	0,8

		5 1, 2 0, 6	
--	--	-------------------------	--

Таблица 2

**Результаты испытаний**

номер образца	Вид термической обработки	Режим термической обработки			арка стали	Твердость HRC
		°С	мин	Охлаждающая среда		

7. Провести отпуск стали, поместив образцы в печи, предварительно нагретые до 200, 400 и 600 °С, и выдержав их там в течение 30 мин. Охладить образцы на воздухе.
8. Определить твердость образцов после отпуска. Результаты испытаний занести в ту же таблицу.
9. Построить график зависимости твердости от параметров режимов термической обработки для сталей с различным содержанием углерода.
10. Рассмотреть микроструктуры сталей после термической обработки.

**Содержание отчета**

1. Привести краткое описание термической обработки.
2. Результаты испытаний занести в таблицу 2.
3. Зарисовка характерных микроструктур после термической обработки.
4. График зависимости твердости от режимов термической обработки.
5. Выводы.

**Контрольные вопросы**

1. Какие основные виды термической обработки?
2. Какие основные параметры характеризуют различные виды термической обработки сталей?
3. Какие охлаждающие среды применяются при различных видах термической обработки?
4. Что такое перлит, сорбит, троостит, бейнит, мартенсит?
5. Что называется критической скоростью закалки?
6. Что такое отпуск? Какие виды отпуска вы знаете?
7. Как проводится отжиг сталей?
8. Что называется закаливаемостью стали?
9. Как определить температуру нагрева стали под закалку?



## Информационное обеспечение обучения

### Перечень используемых учебных изданий, дополнительной литературы

#### *Основные источники:*

- А. А. Черепяхин «Технология обработки материалов», учебник одобрен Минобразованием РФ, М: АСАДЕМА, 2004;
- Под ред. проф. А.М.Дальского «Технология конструкционных материалов» М: Машиностроение» 2004.
- Солнцев Ю. П., Воложанина С. А. «Материаловедение», учебник допущен Минобразованием РФ, М: Издательский центр «АКАДЕМИЯ», 2007
- **Адашкин А.М. Материаловедение**: учебное пособие для студ. учрежд. СПО.- 11 изд. стер. – М.: Академия . 2014. 288 с. Электронное издание.
- **Солнцев Ю.П. Материаловедение**: учебник для студентов учреждений СПО. – 11 изд. стер. – М.: Академия . 2016. Электронное издание.
- **Гоцеридзе Р.М. Процессы формообразования** и инструменты: учебник для студентов учреждений СПО. - М.: Академия, 5 изд. стер. 432 с., 2014 Электронное издание.
- **Гоцеридзе Р.М. Процессы формообразования** и инструменты: учебник для студентов учреждений СПО. - М.: Академия, 5 изд. стер. 432 с., 2014. Электронное издание.
- **Сибикин М.Ю. ,Непомилуев В.В. Современное металлообрабатывающее оборудование**: учебное пособие. - М.: Машиностроение, 2013. Электронное издание