

**Приложение 1 к РПД Материаловедение**  
**16.04.01 Техническая физика**  
**направленность (профиль) Теплофизика и молекулярная физика**  
**Форма обучения – очная**  
**Год набора – 2018**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ  
ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

1.	<b>Кафедра</b>	Физики, биологии и инженерных технологий
2.	<b>Направление подготовки</b>	16.04.01 Техническая физика
3.	<b>Направленность (профиль)</b>	Теплофизика и молекулярная физика
4.	<b>Дисциплина (модуль)</b>	Материаловедение
5.	<b>Форма обучения</b>	очная
6.	<b>Год набора</b>	2018

**1. Методические рекомендации.**

Приступая к изучению дисциплины, студенту необходимо внимательно ознакомиться с тематическим планом занятий, списком рекомендованной литературы. Следует уяснить последовательность выполнения индивидуальных учебных заданий. Самостоятельная работа студента предполагает работу с научной и учебной литературой, умение создавать тексты. Уровень и глубина усвоения дисциплины зависят от активной и систематической работы на лекциях, изучения рекомендованной литературы, выполнения контрольных письменных заданий.

При изучении дисциплины студенты выполняют следующие задания:

- изучают рекомендованную научно-практическую и учебную литературу;
- выполняют задания, предусмотренные для самостоятельной работы.

Основными видами аудиторной работы студентов являются лекции, практические занятия и лабораторные работы.

**1.1. Методические рекомендации по организации работы студентов во время проведения лекционных занятий.**

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы, дает рекомендации на семинарское занятие и указания на самостоятельную работу.

Знакомство с дисциплиной происходит уже на первой лекции, где от студента требуется не просто внимание, но и самостоятельное оформление конспекта. При работе с конспектом лекций необходимо учитывать тот фактор, что одни лекции дают ответы на конкретные вопросы темы, другие – лишь выявляют взаимосвязи между явлениями, помогая студенту понять глубинные процессы развития изучаемого предмета как в истории, так и в настоящее время.

Конспектирование лекций – сложный вид вузовской аудиторной работы, предполагающий интенсивную умственную деятельность студента. Конспект является полезным тогда, когда записано самое существенное и сделано это самим обучающимся. Не надо стремиться записать дословно всю лекцию. Такое «конспектирование» приносит больше вреда, чем пользы. Целесообразно вначале понять основную мысль, излагаемую

лектором, а затем записать ее. Желательно запись осуществлять на одной странице листа или оставляя поля, на которых позднее, при самостоятельной работе с конспектом, можно сделать дополнительные записи, отметить непонятные места.

Конспект лекции лучше подразделять на пункты, соблюдая красную строку. Этому в большой степени будут способствовать вопросы плана лекции, предложенные преподавателям. Следует обращать внимание на акценты, выводы, которые делает лектор, отмечая наиболее важные моменты в лекционном материале замечаниями «важно», «хорошо запомнить» и т.п. Можно делать это и с помощью разноцветных маркеров или ручек, подчеркивая термины и определения.

Целесообразно разработать собственную систему сокращений, аббревиатур и символов. Однако при дальнейшей работе с конспектом символы лучше заменить обычными словами для быстрого зрительного восприятия текста.

Работая над конспектом лекций, всегда необходимо использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть теоретическим материалом.

## **1.2. Методические рекомендации по подготовке к семинарским (практическим занятиям)**

Подготовку к каждому практическому занятию студент должен начать с ознакомления с планом практического занятия, который отражает содержание предложенной темы. Тщательное продумывание и изучение вопросов плана основывается на проработке текущего материала лекции, а затем изучения обязательной и дополнительной литературы, рекомендованной к данной теме. Все новые понятия по изучаемой теме необходимо выучить наизусть и внести в глоссарий, который целесообразно вести с самого начала изучения курса.

Результат такой работы должен проявиться в способности студента свободно ответить на теоретические вопросы практикума, его выступлении и участии в коллективном обсуждении вопросов изучаемой темы, правильном выполнении практических заданий и контрольных работ.

В процессе подготовки к практическим занятиям, студентам необходимо обратить особое внимание на самостоятельное изучение рекомендованной литературы. При всей полноте конспектирования лекции в ней невозможно изложить весь материал из-за лимита аудиторных часов. Поэтому самостоятельная работа с учебниками, учебными пособиями, научной, справочной литературой, материалами периодических изданий и Интернета является наиболее эффективным методом получения дополнительных знаний, позволяет значительно активизировать процесс овладения информацией, способствует более глубокому усвоению изучаемого материала, формирует у студентов свое отношение к конкретной проблеме.

Семинарские занятия завершают изучение наиболее важных тем учебной дисциплины. Они служат для закрепления изученного материала, развития умений и навыков подготовки докладов, сообщений, приобретения опыта устных публичных выступлений, ведения дискуссии, аргументации и защиты выдвигаемых положений, а также для контроля преподавателем степени подготовленности студентов по изучаемой дисциплине.

Семинар предполагает свободный обмен мнениями по избранной тематике. Он начинается со вступительного слова преподавателя, формулирующего цель занятия и характеризующего его основную проблематику. Затем, как правило, заслушиваются сообщения студентов. Обсуждение сообщения совмещается с рассмотрением намеченных вопросов. Сообщения, предполагающие анализ публикаций по отдельным вопросам семинара, заслушиваются обычно в середине занятия. Поощряется выдвижение и обсуждение альтернативных мнений. В заключительном слове преподаватель подводит

итоги обсуждения и объявляет оценки выступавшим студентам. В целях контроля подготовленности студентов и привития им навыков краткого письменного изложения своих мыслей преподаватель в ходе семинарских занятий может осуществлять текущий контроль знаний в виде тестовых заданий.

При подготовке к семинару студенты имеют возможность воспользоваться консультациями преподавателя. Кроме указанных тем студенты вправе, по согласованию с преподавателем, избирать и другие интересующие их темы.

Качество учебной работы студентов преподаватель оценивает с использованием технологической карты дисциплины, размещенной на сайте МАГУ.

### **1.3. Методические рекомендации по работе с литературой.**

Работу с литературой целесообразно начать с изучения общих работ по теме, а также учебников и учебных пособий. Далее рекомендуется перейти к анализу монографий и статей, рассматривающих отдельные аспекты проблем, изучаемых в рамках курса, а также официальных материалов и неопубликованных документов (научно-исследовательские работы, диссертации), в которых могут содержаться основные вопросы изучаемой проблемы.

Работу с источниками надо начинать с ознакомительного чтения, т.е. просмотреть текст, выделяя его структурные единицы. При ознакомительном чтении закладками отмечаются те страницы, которые требуют более внимательного изучения.

В зависимости от результатов ознакомительного чтения выбирается дальнейший способ работы с источником. Если для разрешения поставленной задачи требуется изучение некоторых фрагментов текста, то используется метод выборочного чтения. Если в книге нет подробного оглавления, следует обратить внимание ученика на предметные и именные указатели.

Избранные фрагменты или весь текст (если он целиком имеет отношение к теме) требуют вдумчивого, неторопливого чтения с «мысленной проработкой» материала. Такое чтение предполагает выделение: 1) главного в тексте; 2) основных аргументов; 3) выводов. Особое внимание следует обратить на то, вытекает тезис из аргументов или нет.

Необходимо также проанализировать, какие из утверждений автора носят проблематичный, гипотетический характер и уловить скрытые вопросы.

Понятно, что умение таким образом работать с текстом приходит далеко не сразу. Наилучший способ научиться выделять главное в тексте, улавливать проблематичный характер утверждений, давать оценку авторской позиции – это сравнительное чтение, в ходе которого студент знакомится с различными мнениями по одному и тому же вопросу, сравнивает весомость и доказательность аргументов сторон и делает вывод о наибольшей убедительности той или иной позиции.

Если в литературе встречаются разные точки зрения по тому или иному вопросу из-за сложности прошедших событий и правовых явлений, нельзя их отвергать, не разобравшись. При наличии расхождений между авторами необходимо найти рациональное зерно у каждого из них, что позволит глубже усвоить предмет изучения и более критично оценивать изучаемые вопросы. Знакомясь с особыми позициями авторов, нужно определять их схожие суждения, аргументы, выводы, а затем сравнивать их между собой и применять из них ту, которая более убедительна.

Следующим этапом работы с литературными источниками является создание конспектов, фиксирующих основные тезисы и аргументы. Можно делать записи на отдельных листах, которые потом легко систематизировать по отдельным темам изучаемого курса. Другой способ – это ведение тематических тетрадей-конспектов по одной какой-либо теме. Большие специальные работы монографического характера целесообразно конспектировать в отдельных тетрадях. Здесь важно вспомнить, что конспекты пишутся на одной стороне листа, с полями и достаточным для исправления и ремарок межстрочным расстоянием (эти правила соблюдаются для удобства

редактирования). Если в конспектах приводятся цитаты, то непременно должно быть дано указание на источник (автор, название, выходные данные, № страницы). Впоследствии эта информация может быть использована при написании текста реферата или другого задания.

Таким образом, при работе с источниками и литературой важно уметь:

- сопоставлять, сравнивать, классифицировать, группировать, систематизировать информацию в соответствии с определенной учебной задачей;
- обобщать полученную информацию, оценивать прослушанное и прочитанное;
- фиксировать основное содержание сообщений; формулировать, устно и письменно, основную идею сообщения; составлять план, формулировать тезисы;
- готовить и презентовать развернутые сообщения типа доклада;
- работать в разных режимах (индивидуально, в паре, в группе), взаимодействуя друг с другом;
- пользоваться реферативными и справочными материалами;
- контролировать свои действия и действия своих товарищей, объективно оценивать свои действия;
- обращаться за помощью, дополнительными разъяснениями к преподавателю, другим студентам.
- пользоваться лингвистической или контекстуальной догадкой, словарями различного характера, различного рода подсказками, опорами в тексте (ключевые слова, структура текста, предваряющая информация и др.);
- использовать при говорении и письме перифраз, синонимичные средства, словоописания общих понятий, разъяснения, примеры, толкования, «словотворчество»;
- повторять или перефразировать реплику собеседника в подтверждении понимания его высказывания или вопроса;
- обратиться за помощью к собеседнику (уточнить вопрос, переспросить и др.);
- использовать мимику, жесты (вообще и в тех случаях, когда языковых средств не хватает для выражения тех или иных коммуникативных намерений).

#### **1.4. Методические рекомендации по подготовке к сдаче зачета**

Подготовка к зачету способствует закреплению, углублению и обобщению знаний, получаемых, в процессе обучения, а также применению их к решению практических задач. Готовясь к зачету, обучающийся ликвидирует имеющиеся пробелы в знаниях, углубляет, систематизирует и упорядочивает свои знания. На зачете обучающийся демонстрирует то, что он приобрел в процессе изучения дисциплины.

В условиях применяемой в МАГУ балльно-рейтинговой системы подготовка к зачету включает в себя самостоятельную и аудиторную работу обучающегося в течение всего периода изучения дисциплины и непосредственную подготовку в дни, предшествующие зачету по разделам и темам дисциплины.

При подготовке к зачету обучающимся целесообразно использовать не только материалы лекций, а и рекомендованные преподавателем, основную и дополнительную литературу.

При подготовке к промежуточной аттестации целесообразно:

- внимательно изучить перечень вопросов и определить, в каких источниках находятся сведения, необходимые для ответа на них;
- внимательно прочитать рекомендованную литературу;
- составить краткие конспекты ответов (планы ответов).

Качество учебной работы студентов преподаватель оценивает с использованием технологической карты дисциплины, размещенной на сайте МАГУ.

### 1.5. Методические рекомендации по составлению опорного конспекта

Опорный конспект – это развернутый план ответа на теоретический вопрос. Правильно составленный опорный конспект должен содержать все то, что в процессе ответа будет устно обозначено. Это могут быть схемы, графики, таблицы.

Основные требования к содержанию опорного конспекта: полнота (в нем должно быть отражено все содержание вопроса) и логически обоснованная последовательность изложения.

*Основные требования к форме записи опорного конспекта:*

1) Лаконичность.

Опорный конспект должен быть минимальным, чтобы его можно было воспроизвести за 6 – 8 минут. По объему он должен составлять примерно один полный лист.

2) Структурность.

Весь материал должен располагаться малыми логическими блоками, т.е. должен содержать несколько отдельных пунктов, обозначенных номерами или строчными пробелами.

3) Акцентирование.

Для лучшего запоминания основного смысла опорного конспекта, главную идею выделяют рамками различных цветов, различным шрифтом, различным расположением слов (по вертикали, по диагонали).

4) Унификация.

При составлении опорного конспекта используются определённые аббревиатуры и условные знаки, часто повторяющиеся в курсе данного предмета.

5) Автономия.

Каждый малый блок (абзац), наряду с логической связью с остальными, должен выражать законченную мысль, должен быть аккуратно оформлен (иметь привлекательный вид).

6) Оригинальность.

Опорный конспект должен быть оригинален по форме, структуре, графическому исполнению, благодаря чему, он лучше сохраняется в памяти. Он должен быть наглядным и понятным.

7) Взаимосвязь.

Текст опорного конспекта должен быть взаимосвязан с текстом учебника, что также влияет на усвоение материала.

*Примерный порядок составления опорного конспекта*

1) Первичное ознакомление с материалом изучаемой темы по тексту учебника, картам, дополнительной литературе.

2) Выделение главного в изучаемом материале, составление обычных кратких записей.

3) Подбор к данному тексту опорных сигналов в виде отдельных слов, определённых знаков, графиков, рисунков.

4) Продумывание схематического способа кодирования знаний, использование различного шрифта и т.д.

5) Составление опорного конспекта.

### 1.6. Методические рекомендации по написанию реферата.

Написание реферата является:

- одной из форм обучения, направленной на организацию и повышение уровня самостоятельной работы обучающихся;
- одной из форм научной работы обучающихся, целью которой является расширение их научного кругозора, ознакомление с методологией научного поиска.

Реферат, как форма обучения - это краткий обзор максимального количества доступных публикаций по заданной теме, с элементами сопоставительного анализа данных материалов и с последующими выводами.

При проведении обзора должна проводиться и исследовательская работа, но объем ее ограничен, так как анализируются уже сделанные предыдущими исследователями выводы и в связи с небольшим объемом данной формы работы.

Темы рефератов определяются кафедрой и содержатся в программе курса.

Преподаватель рекомендует литературу, которая может быть использована для написания реферата.

Целью написания рефератов является:

- привитие обучающимся навыков библиографического поиска необходимой литературы (на бумажных носителях, в электронном виде);

- привитие обучающимся навыков компактного изложения мнения авторов и своего суждения по выбранному вопросу в письменной форме, научно грамотным языком и в хорошем стиле;

- приобретение обучающимися навыка грамотного оформления ссылок на используемые источники, правильного цитирования авторского текста;

- выявление и развитие у обучающегося интереса к определенной научной и практической проблематике с тем, чтобы исследование ее в дальнейшем продолжалось в подготовке и написании курсовых работ и выпускной квалификационной работы.

Основные задачи обучающегося при написании реферата:

- с максимальной полнотой использовать литературу по выбранной теме (как рекомендуемую, так и самостоятельно подобранную) для правильного понимания авторской позиции;

- верно (без искажения смысла) передать авторскую позицию в своей работе;

- уяснить для себя и изложить причины своего согласия (несогласия) с тем или иным автором по данной проблеме.

*Требования к содержанию реферата:*

- материал, использованный в реферате, должен относиться строго к выбранной теме;

- необходимо изложить основные аспекты проблемы не только грамотно, но и в соответствии с той или иной логикой (хронологической, тематической, событийной и др.)

- при изложении следует сгруппировать идеи разных авторов по общности точек зрения или по научным школам;

- реферат должен заканчиваться подведением итогов проведенной исследовательской работы: содержать краткий анализ-обоснование преимуществ той точки зрения по рассматриваемому вопросу, с которой обучающийся солидарен.

*Структура реферата:*

1. Титульный лист.

2. Оглавление (т.е. план реферата, в котором каждому разделу должен соответствовать номер страницы, на которой он находится).

3. Текст реферата, который делится на три части:

а) *Введение* - раздел реферата, посвященный постановке проблемы, которая будет рассматриваться и обоснованию выбора темы.

б) *Основная часть* - это звено работы, в котором последовательно раскрывается выбранная тема. Основная часть может быть представлена как цельным текстом, так и разделена на главы. При необходимости текст реферата может дополняться иллюстрациями, таблицами, графиками, но ими не следует "перегружать" текст.

в) *Заключение* - данный раздел реферата должен быть представлен в виде выводов, которые формулируются на основе подготовленного текста. Выводы должны быть краткими и четкими. Также в заключении можно обозначить проблемы, которые "высветились" в ходе работы над рефератом, но не были раскрыты в работе.

4. Список источников и литературы. В данном списке называются как те источники, на которые ссылается обучающийся при подготовке реферата, так и все иные, изученные им в связи с его подготовкой. В работе должно быть использовано не менее 5 разных источников, желательно, чтобы хотя бы один из них на иностранном языке. Работа, выполненная с использованием материала, содержащегося в одном научном источнике, является явным плагиатом и не принимается. Оформление списка источников и литературы должно соответствовать требованиям библиографических стандартов.

*Объем и технические требования, предъявляемые к выполнению реферата:*

Объем работы должен быть, как правило, не менее 20 и не более 25 страниц. Работа должна выполняться через одинарный интервал 14 шрифтом, размеры оставляемых полей: левое - 25 мм, правое -15 мм, нижнее -20 мм, верхнее -20 мм. Страницы должны быть пронумерованы.

Расстояние между названием части реферата или главы и последующим текстом должно быть равно трем интервалам. Фразы, начинающиеся с "красной" строки, печатаются с абзацным отступом от начала строки, равным 1 см.

При цитировании необходимо соблюдать следующие правила:

– текст цитаты заключается в кавычки и приводится без изменений, без произвольного сокращения цитируемого фрагмента (пропуск слов, предложений или абзацев допускается, если не влечет искажения всего фрагмента, и обозначается многоточием, которое ставится на месте пропуска) и без искажения смысла;

– каждая цитата должна сопровождаться ссылкой на источник, библиографическое описание которого должно приводиться в соответствии с требованиями библиографических стандартов.

Оценивая реферат, преподаватель обращает внимание на:

- соответствие содержания выбранной теме;
- отсутствие в тексте отступлений от темы;
- соблюдение объема и структуры работы.
- умение работать с научной литературой;
- вычленять проблему из контекста;
- умение логически мыслить;
- культуру письменной речи; умение оформлять научный текст (правильное применение и оформление ссылок, составление библиографии);
- умение правильно понять позицию авторов, работы которых использовались при написании реферата;
- способность верно, без искажения передать используемый авторский материал;
- аккуратность и правильность оформления работы.

### **1.7. Методические рекомендации для занятий в интерактивной форме**

В учебном процессе, помимо чтения лекций и аудиторных занятий, используются интерактивные формы. В сочетании с внеаудиторной работой это способствует формированию и развитию профессиональных навыков обучающихся.

Интерактивное обучение представляет собой способ познания, осуществляемый в формах совместной деятельности обучающихся, т.е. все участники образовательного процесса взаимодействуют друг с другом, совместно решают поставленные проблемы, моделируют ситуации, обмениваются информацией, оценивают действие коллег и свое собственное поведение, погружаются в реальную атмосферу делового сотрудничества по разрешению проблем.

В курсе изучаемой дисциплины «Материаловедение» интерактивной форме часы используются в виде заслушивания и обсуждения подготовленных студентами рефератов по тематике дисциплины.

Тематика занятий с использованием интерактивных форм

№ п/п	Тема	Интерактивная форма	Часы, отводимые на интерактивные формы	
			лекции	Практические занятия
1.	Железоуглеродистые сплавы	заслушивание и обсуждение рефератов по тематике дисциплины	-	4
2.	Легированные стали	заслушивание и обсуждение рефератов по тематике дисциплины	-	2
3.	Цветные металлы и сплавы	заслушивание и обсуждение рефератов по тематике дисциплины	-	4
4.	Проводниковые материалы	заслушивание и обсуждение рефератов по тематике дисциплины		2
5.	Полупроводниковые материалы	заслушивание и обсуждение рефератов по тематике дисциплины		2
6.	Диэлектрические материалы. Пробой	заслушивание и обсуждение рефератов по тематике дисциплины		2
<b>ИТОГО</b>			<b>16 часов</b>	

**Планы практических занятий**

**ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1**

**МАКРОСТРУКТУРА И ПОВЕРХНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ**

**Цель работы:** Используя данные литературы и рисунки, изучить макроструктуру, макродефекты и строение поверхностей разрушения материалов в литом и деформированном состояниях.

## 1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

От выплавки в жидком состоянии сплава заданного химического состава до получения готовых деталей машин материалы на металлургических и машиностроительных заводах подвергаются целому ряду различных обработок. Основными из них являются кристаллизация и получение литого металла, обработка давлением, термическая обработка, механическая обработка резанием, иногда проводится сварка материалов. Обработка материалов изменяет их внутреннее строение (структуру) и механические свойства.

Основным металлическим материалом для машиностроения являются стали. Это материалы на основе железа с добавкой углерода не более 2,14 % и во многих случаях с введением дополнительно других легирующих элементов (хром, кремний, марганец, никель и др.). Мировой объём производства стали достиг в 2003 году 952 млн. тонн. Предприятия Российской Федерации выплавляли в 2003 году 61 млн. тонн стали.

Сталь и большинство других металлических материалов поступает на машиностроительные и другие предприятия преимущественно в виде проката. Это деформированный металлический материал, получаемый способами горячей и холодной прокатки во вращающихся валках прокатных станов.

Исходным сырьем для получения сталей являются железные руды, представляющие собой горную породу с содержанием 30...60 % железа. В результате длительной многостадийной обработки из руды получают концентрат с повышенным содержанием полезного металла. Далее проводят окускование способом агломерации – спекания или получение спеченных окатышей, т.е. превращение мелких частиц концентрата в более крупные пористые частицы размером от 5...8 до 10...20 мм.

Из окускованных концентратов с добавками топлива (кокса) и флюсов в особых крупных шахтных (доменных) печах высотой до 30 метров в результате сложных физико-химических процессов получают жидкий передельный чугуны (3,6...4,5 % C; 0,5...1,3 %), литейный чугуны с повышенным до 0,8...3,6 % Si, ферромарганец (Fe-Mn) и ферросилиций (Fe-Si).

Передельный чугуны, а также стальной лом и ферросплавы являются сырьем для выплавки стали. В процессе плавки решаются задачи уменьшения количества примесей с помощью окислительных процессов (первый период). Далее проводят второй, восстановительный период плавки по уменьшению FeO, т.е. раскисление с введением раскислителей: марганца, кремния, алюминия.

Для выплавки стали преимущественно используются два способа:

- кислородно-конверторный процесс получения стали в конверторах грушевидной формы;
- плавка стали в дуговых электрических печах. Этот способ широко применяется для выплавки качественных сталей с низким содержанием вредных примесей.

Все более широкое применение получает последующая внепечная обработка стали, служащая для уменьшения содержания вредных примесей и газов. Это обработка жидкой стали синтетическими шлаками или выдерживание ковша со сталью в вакууме.

Применяются и методы повторного переплава затвердевшей стали в особых условиях: электрошлаковый переплав, вакуумно-дуговой переплав и др.

После завершения плавки жидкую сталь заливают в ковши и подают для разлива на установки непрерывной разлива стали (УНРС) или в особые чугунные литейные формы вертикального типа (изложницы). На УНРС жидкая сталь поступает в

водоохлаждаемый кристаллизатор, а затем в зону вторичного охлаждения. Непрерывно подаваемый слиток разрезается на мерные части.

Металлический материал в виде слитка или отливки, получаемый при затвердевании залитого в полость литейной формы жидкого металла, обычно имеет строение из разветвленных кристаллов древовидной формы, называемых *дендритами*. Макроструктура слитка, как правило, состоит из двух основных широких зон и небольшой зоны мелких неориентированных кристаллов у поверхности (корковая зона).

Наружная зона имеет удлиненные малоразветвленные столбчатые кристаллы, располагающиеся примерно перпендикулярно к охлаждающимся поверхностям слитка. Во внутренней части слитка располагается зона более или менее равноосных разветвленных кристаллов-дендритов. Такое строение имеют, в частности, слитки хорошо раскисленной сильными восстановителями (Mn, Si, Al) *спокойной стали*. Иногда зона столбчатых кристаллов образуется в большей части объема слитка. В верхней части слитка спокойной стали расположена усадочная раковина конусной формы.

В случае выплавки стали с пониженным содержанием такого раскислителя, как кремний, при затвердевании слитка выделяется значительное количество газов ( $\text{FeO} + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO}$ ). Большая часть газовых пузырей остается в слитке такой *кипящей стали* и располагается ближе к поверхности. Усадочная раковина в этих слитках не образуется.

В металлургических производствах слитки далее подвергаются нескольким горячим и холодным прокаткам, иногда ковке (обработке давлением). При этом дендритные кристаллы сплющиваются и вытягиваются по направлению деформации, превращаясь в волокна. Газовые пузыри завариваются. Следовательно, деформированный с большими обжатиями материал получает *волокнистую макроструктуру* с различными механическими свойствами вдоль и поперек проката (анизотропия свойств). Промышленность выпускает горячекатаный сортовой прокат (круглый, квадратный, шестигранный и др.), толстолистовой (толщина от 4 мм до 160 мм), холоднокатаный прокат тонколистовой (толщина 0,2...5,0 мм), ленту холоднокатаную, трубы бесшовные, поковки и другую металлопродукцию.

Горячая и холодная обработки давлением, в частности, *горячая штамповка*, широко применяются и на машиностроительных заводах для изготовления заготовок деталей машин. Волокна в них должны располагаться вдоль контура заготовки, совпадая с направлением действия механических сил на деталь.

В процессе обработок возможно образование различных дефектов материалов в виде неоднородности химического состава (ликвация), нарушения сплошности (трещины), крупнозернистого строения и др. Разработаны методы изучения и контроля структуры и возможных дефектов материалов, используемые в исследовательских организациях и производственной практике. В настоящей работе рассматриваются два из этих методов: макроструктурный анализ (макроанализ) и фрактография.

**Макроанализ** - изучение строения шлифованных и протравленных поверхностей материалов невооруженным глазом или с помощью лупы при небольших увеличениях.

Исследуемая плоская поверхность предварительно подвергается механической обработке резанием, шлифованию, полированию, а затем травлению специальными химическими реактивами. Наблюдаемое строение называется *макроструктурой*. При оценке степени развитости макродефектов используют ГОСТ 10243 «Сталь. Метод испытаний и оценки макроструктуры». Макродефект определяют путем сравнения изучаемого макрошлифа материала с набором фотографий стандарта и установления номера балла дефекта.

**Фрактография** - изучение поверхностей разрушения (изломов) материалов. Исследования проводят без использования приборов и при небольших увеличениях до 50 (макрофрактография), а также при увеличениях до десятков тысяч кратных с помощью

электронных микроскопов (микрофрактография). Методы фрактографии дают информацию о микромеханических разрушениях материалов, используются при анализе повреждений деталей машин, происходящих в процессе их эксплуатации,

Микрофрактография позволяет изучить вид разрушения заготовки или детали машины. Для вязкого разрушения характерен ямочный (чашечный) рельеф разрушения, а для хрупкого разрушения - «ручьистая» поверхность скола, подобная излому хрупких силикатных стекол при комнатной температуре (рис. 1).

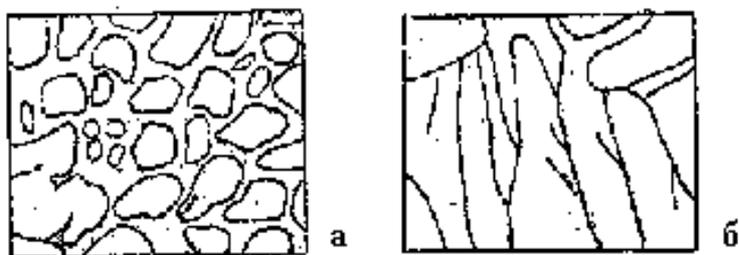


Рис. 1. Схемы строения поверхностей разрушения:

а- вязкого; б-хрупкого (×5000)

## 2. МАТЕРИАЛЬНО – ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ

Студентам предоставляются рисунки готовых микрошлифов, рисунки образцов с изломами.

### 3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Практическая работа состоит из двух частей:

- изучение макроструктуры и поверхностей разрушения металлических материалов по рисункам;
- ответить на вопросы по макроструктурному анализу.

По первой части работы студенты просматривают рисунки всех образцов микрошлифов и изломов. Используя данные табл. 1 и 2, схемы строения образцов (рис. 2), устанавливают характерные особенности строения и дефектов каждого образца в связи с их обработкой.

Во второй части работы – студенты отвечают на вопросы

### ЧАСТЬ 1. ИЗУЧЕНИЕ МАКРОСТРУКТУРЫ И ПОВЕРХНОСТЕЙ РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ.

Данные об изучаемых образцах представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Описание рисунков и микрошлифов металлических материалов

№№ образца	Наименование образца	Описание макроструктуры
1.	2.	3.
Литая и деформированная сталь		

1.	Макрошлиф продольного разреза слитка «спокойной» стали	<p>Две основные зоны из кристаллов дендритного строения: столбчатых кристаллов и равноосных кристаллов. В верхней части расположена усадочная раковина; центральная часть имеет темные мелкие усадочные поры.</p> <p>Слиток имеет большое количество газовых пузырей, которые сплюсываются и завариваются при последующей многократной горячей прокатке. Волокнистая макроструктура. Волокна расположены по конфигурации заготовки.</p>
2.	Макрошлиф поперечного разреза слитка «кипящей» стали	
5.	Макрошлиф образца, подвергнутого горячей обработке давлением	
Ликвация в литой стали		
3.	«Серный» отпечаток на фотобумаге с продольного разреза слитка стали	Светло- и темно-коричневые участки, характеризующие неравномерное распределение в стали сульфидов MnS, т.е. серы.
Макродефекты деформированных материалов		
6.	Макрошлиф рельса с ликвационной зоной	<p>В верхней части рельса имеются несплошности и ликвационная зона с повышенным содержанием серы и фосфора, образовавшаяся при литье и сохранившаяся в прокатанном рельсе.</p> <p>В центре крестообразная трещина, образовавшаяся при горячей ковке литой стали с повышенной пористостью (усадочной рыхлостью).</p> <p>По краям проката из недостаточно раскисленной стали образовались надрывы (рванины).</p> <p>Образец расслоился на две части. Причиной является наличие шлаковых включений, газовых пузырей с загрязненной поверхностью, усадочной рыхлости.</p> <p>На поверхности проката мелкие «волосные» трещины, образовавшиеся из различных несплошностей литого металла.</p>
7.	Макрошлиф стали с крупной ковочной трещиной	
8.	Образец стали с надрывами	
9.	Образец стали с расслоением	
10.	Образец стали с волосовинами	

Окончание табл. 1.

МАКРОШЛИФЫ ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

16.	Макрошлиф образца, подвергнутого поверхностной индукционной закалке	Видна разная степень потемнения закаленной зоны у поверхности и незакаленной внутренней зоны вследствие различий в микроструктуре. Видны две зоны, отличающиеся по степени потемнения: поверхностный слой с повышенным содержанием углерода и структурой, отличающейся от структуры сердцевины образца, имеющей пониженное содержание углерода.
17.	Макрошлиф образца, подвергнутого химико-термической обработке (цементации)	

Таблица 2. Описание рисунков изломов поверхностей разрушения металлических материалов

№№ образца	Вид излома	Описание поверхности разрушения
1.	2.	3.
4.	Излом образца литого металла небольшого размера	Столбчатые кристаллы по всему сечению излома.
11.	Продольный излом прокатанной стали с флокенами	На темно-серой поверхности разрушения видны небольшие светлые участки овальной формы («флокены»). В этих участках разрушение произошло по поверхности образовавшихся в стали небольших внутренних трещин.
12.	Камневидный излом	Хрупкое разрушение по границам крупных зерен, образовавшихся при сильном перегреве стали (высокой температуре нагрева).
13.	Нафталиновый излом	Хрупкое разрушение по объему зерен перегретой быстрорежущей стали (Fe-C-W-Mo-Cr-V) Гладкая поверхность разрушения с характерным блеском плоскостей крупных зерен.
14.	Шиферный излом	Поверхность разрушения имеет слоистое строение вследствие наличия повышенного количества неметаллических включений при недостаточном раскислении стали (излом вдоль волокон деформированной стали).
15.	Усталостный излом вала	Две зоны поверхности разрушения: гладкая фарфоровидная поверхностная зона усталости и более крупнокристаллическая внутренняя зона «долома» хрупкого или вязкого разрушения.

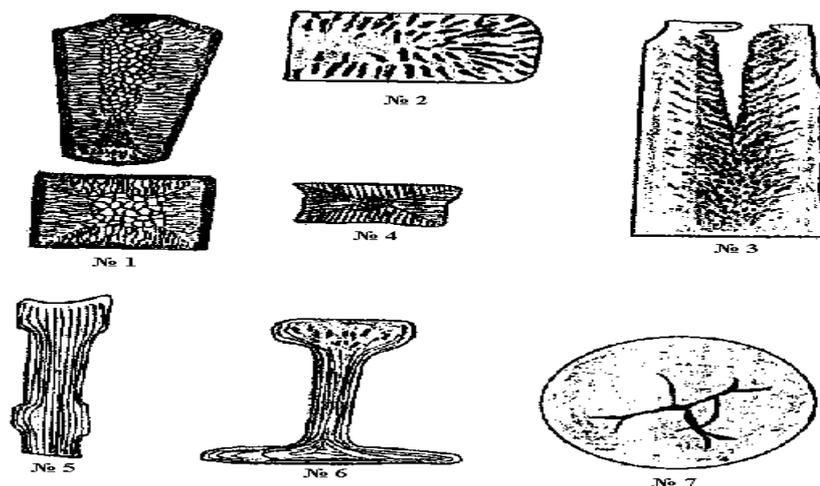
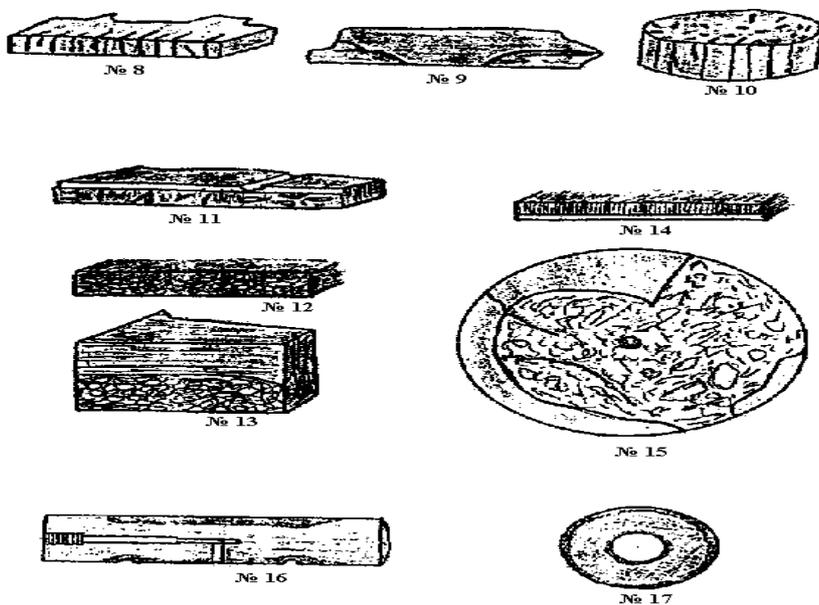


Рис. 2. Схемы макроструктур и поверхностей разрушения металлических материалов.



Продолжение рис. 2.

### **ЧАСТЬ 2. Ответить на вопросы**

1. Понятие макроанализа и фрактографии.
2. Какую макроструктуру имеют литые и горячедеформированные металлические материалы?
3. Какое строение имеют слитки спокойной и кипящей стали?
4. Назовите примеры макродефектов прокатанных материалов.
5. Какое строение имеет поверхность разрушения в случаях нафталинистого излома и шиферного излома?
6. Какие две зоны имеют поверхность разрушения в случае усталостного излома вала?
7. Какой вид имеют поверхности вязкого и хрупкого разрушения при их изучении с помощью электронного микроскопа?

## МИКРОСТРУКТУРА СТАЛЕЙ И ЧУГУНОВ

**Цель работы:** Используя данные литературы и схемы рисунков изучить классификацию, микроструктуру, свойства и назначение сталей и чугунов.

### 1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

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

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

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

**Микроанализ** - изучение строения поверхностей шлифованных, полированных и протравленных образцов - микрошлифов с помощью металлографических оптических микроскопов при увеличениях обычно от  $\times 100$  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 **неметаллические включения**. Это химические соединения металлов (железа, алюминия, и др.) с неметаллами (серой, кислородом, азотом и др.).

Таблица 3. Перечень основных разновидностей сталей по государственным стандартам

№№ ГОСТа	Наименование стандарта
380-88	Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки.
535-88	Прокат сортовой и фасонный из стали углеродистой обыкновенного качества. Общие технические условия.
1050-88	Прокат сортовой, калиброванный со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия.
1414-75Е	Прокат из конструкционной стали высокой обрабатываемости резанием. Технические условия
1435-90	Прутки, полосы и мотки из инструментальной нелегированной стали

4543-71	Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки.
5632-72	Прутки и полосы из инструментальной легированной стали. Технические условия
5950-73	Прокат из рессорно-пружинной углеродистой и легированной стали. Технические условия.
14959-79	Прутки и полосы из быстрорежущей стали. Технические условия.
19265-73	

Таблица 4. Перечень основных разновидностей чугунов по государственным стандартам

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



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

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

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

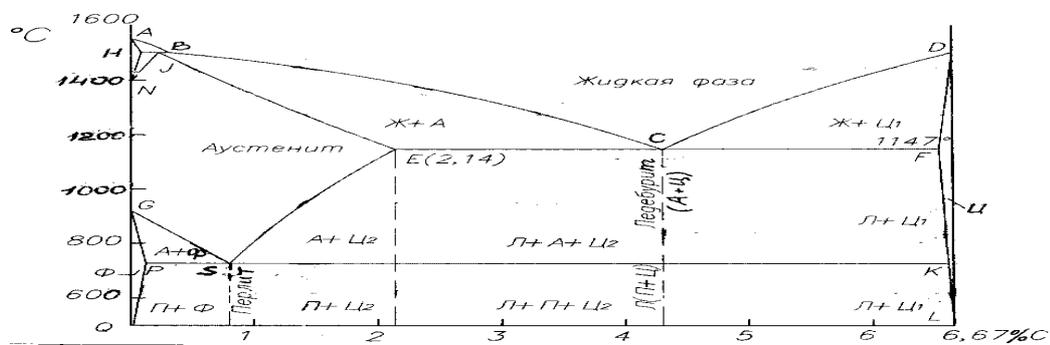


Рис. 4. Диаграмма состояния железо – углерод

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:

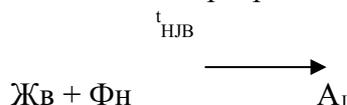
- область NJESGN твердого раствора  $\gamma$  (аустенита А), т.е. раствора углерода в  $\text{Fe}_\alpha$  (ГЦК);
- две области QPGQ и AHNA твердого раствора  $\alpha$  (феррита  $\Phi$ ), т.е. раствора углерода в  $\text{Fe}_\alpha$  (ОЦК).

В правой части метастабильной диаграммы состояния железо-углерод имеется узкая область DFKLD твердого раствора небольшого количества железа в химическом соединении  $\text{Fe}_3\text{C}$ , т.е. цементита Ц.

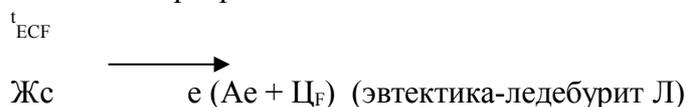
Следовательно, в сплавах метастабильной диаграммы состояния железо-углерод существуют следующие фазы: жидкий раствор углерода в железе, феррит, аустенит, цементит. Остальные области диаграммы состояния, ограниченные сплошными линиями, являются двухфазными, т.е. состоят из тех или иных двух фаз.

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

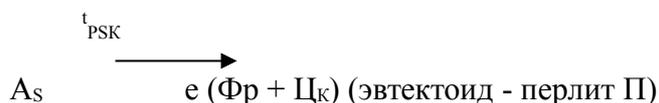
- линия HJB перитектического превращения:



- линия ECF эвтектического превращения:



- линия PSK эвтектоидного превращения:



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

У сталей и чугунов в равновесном состоянии имеются следующие фазы:

**Жидкий раствор (Ж)** на основе железа.

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

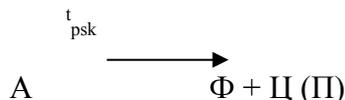
**Аустенит (А)** - твердый раствор углерода и легирующих элементов в железе  $Fe_\gamma$  с кристаллической решеткой гранецентрированного куба (ГЦК).

**Цементит (Ц)** - раствор небольшого количества железа в карбиде железа  $Fe_3C$ .

Образуются также и более сложные структурные составляющие из двух фаз,

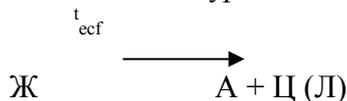
наблюдаемые в микроструктуре:

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



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

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



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

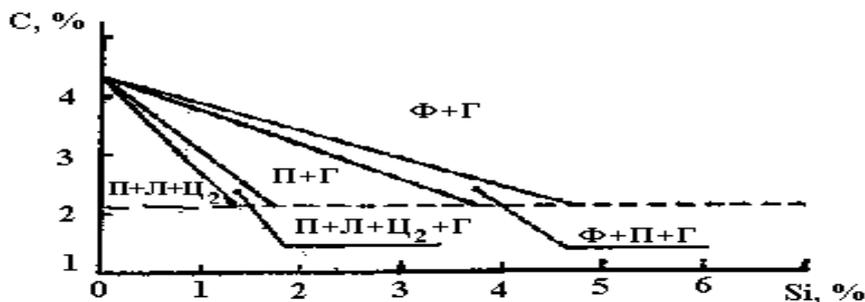


Рис. 5. Структурная диаграмма чугунов (толщина стенки отливки постоянная)

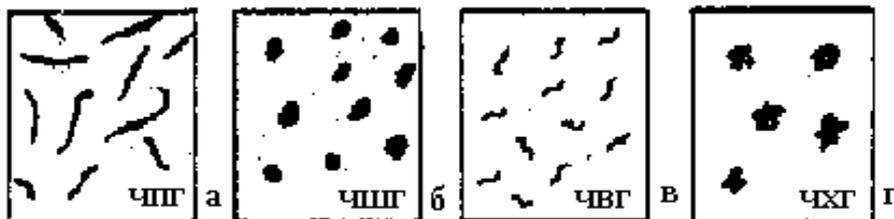


Рис. 6. Характерные геометрические формы включений графита в конструкционных чугунах (без травления шлифов): а - пластинчатая, б - шаровидная, в – вермикулярная, г - хлопьевидная (компактная).

Таблица 2.3. Структурные классы сталей в равновесном состоянии

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

Таблица 6. Типичные структурные классы чугунов

Структурный класс чугуна	Микроструктура
Белые чугуны: - доэвтектические ( $C_E < C < C_C$ ) - эвтектический ( $C = C_C$ ) - заэвтектические ( $C_C < C < C_F$ )	Ледебурит, перлит и карбиды вторичные Ледебурит Ледебурит и карбиды первичные
Половинчатые чугуны	Ледебурит, перлит, вторичный цементит и графит

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

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

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

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

## 2. МАТЕРИАЛЬНО – ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ

В работе используются схемы микрошлифов.

### ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Первая часть работы заключается в изучении схем микроструктуры сталей и чугунов. Студентам предоставляются схемы микрошлифов, подготовленные для изучения.

Более подробная оценка микроструктуры сталей, проводится по следующему государственному стандарту: ГОСТ 8233. Сталь. Эталоны микроструктуры.

Известно, что 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 (типовые примеры)

№№ микрош лифа	Материал	Химический состав, %		Структурный класс	Описание микроструктуры
		углерод С	другие компоненты		
1	2	3	4	5	6
<b>УГЛЕРОДИСТЫЕ СТАЛИ</b>					
1.	Углеродистая качественная конструкционная сталь 20, ГОСТ 1050-88	0,20	-	Доэвтектоид ная 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	-	Заэвтектоидн ая сталь	Темные участки перлита и светлая тонкая сетка вторичного цементита
<b>КОНСТРУКЦИОННЫЕ СТАЛИ С СТРУКТУРНЫМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ</b>					
7.	Сталь конструкционная после перегрева	0,40	-	Доэвтектоид ная сталь	Крупные темные участки перлита и светлая широкая сетка феррита
<b>Продолжение табл. 8.</b>					
8.	Сталь конструкционная с полосчатостью феррито- перлитной структуры	0,25	-	Доэвтектоид ная сталь	Перлит и феррит расположены в виде чередующихся полос.
9.	Сталь инструментальная с обезуглероживанием поверхностного слоя	0,80	-	Эвтектоидная сталь	Перлит в сердцевине, феррит и перлит в поверхностном слое

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

Продолжение табл. 8.

ЧУГУНЫ					
12.	Белый заэвтектический чугун	5,1	данных нет	Чугун белый	Темно-белые участки ледебурита и светлые пластины первичного цементита
14.	Чугун ЧПГ марки СЧ15, ГОСТ 1412-85	3,4	2,2Si ; 0,7 Mn	Чугун с пластинчатым графитом	Темный перлит, светлый феррит и тонкие черные пластины графита
16.	Чугун ЧХГ марки КЧ30-6, ГОСТ 1215-79	2,7	1,2Si ; 0,5 Mn	Чугун с хлопьевидным графитом	Светлые зерна феррита и темный хлопьевидный (компактный) графит

18.	Чугун ВЧШГ марки ВЧ 60, ГОСТ 7293-85	3,5	2,1Si ; 0,6 Mn	Чугун с шаровидным графитом	Темный перлит, светлый феррит и черный шаровидный графит
-----	--------------------------------------	-----	----------------	-----------------------------	--

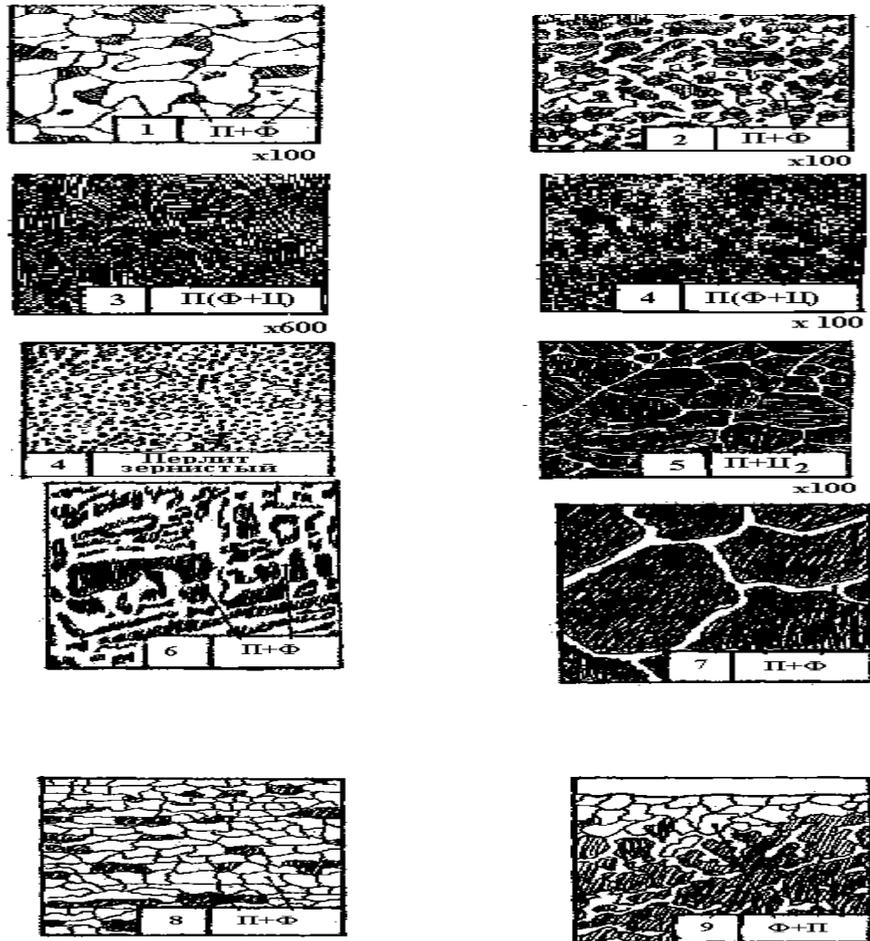
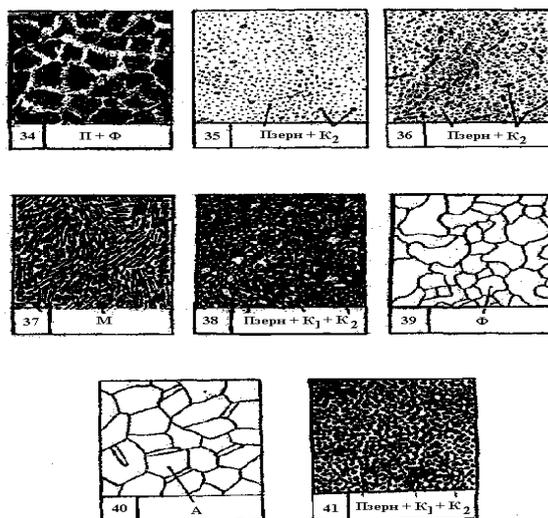


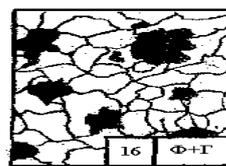
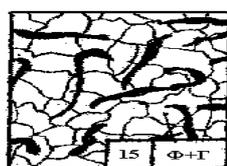
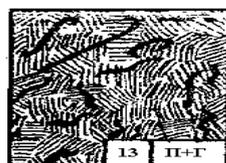
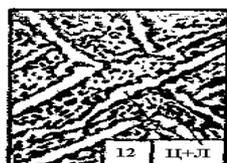
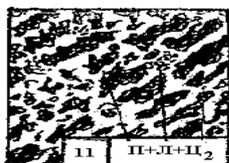
Рис. 7. Схемы микроструктур сталей и чугунов

Продолжение рис. 7.



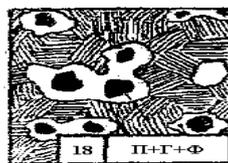
Продолжение рис. 7.

Продолжение рис. 7.



### ВОПРОСЫ

1. По какому признаку различают стали и чугуны?
2. Каким образом получают стали и чугуны?
3. В чем различия в микроструктуре сталей и чугунов?
4. Что такое феррит, цементит, перлит, ледеоурит?
5. Из каких структурных классов имеют стали и чугуны?
6. Что представляют собой феррит, цементит, перлит, ледеоурит?
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.



[1-55-68]

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

### ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА СТАЛИ

**Цель работы:** Используя данные литературы и схемы рисунков изучить влияние температурно-временных условий нагрева и режимов охлаждения при термической обработке на свойства стали.

#### 1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Металлопродукция с металлургических предприятий поступает на машиностроительные заводы обычно в виде различного проката, поковок, в литом состоянии. Из них изготавливают заготовки деталей машин, которые подвергают предварительной термической обработке. Последующей механической обработкой резанием. получают детали заданной геометрической формы и размеров. Эти детали далее проходят упрочняющую термическую обработку и, в случае сложных машин, направляются на сборку отдельных частей машины, а из сборочных единиц собирается сама машина. Схема обработки и изготовления на машиностроительных заводах объемных деталей машин (рычаги, коленчатые валы и шатуны двигателей внутреннего сгорания, зубчатые колеса и др.) из деформируемых металлических материалов представлена на рис. 8. Как видно, в процессе изготовления деталей машин два раза проводится термическая обработка.

**Термическая обработка** - процесс обработки изделий из технических материалов путем теплового воздействия (нагрева и охлаждения) с целью изменения их структуры и свойств в заданном направлении.

Термическую обработку применяют как окончательную для получения заданных механических, физических, эксплуатационных свойств деталей машин, а также промежуточную (предварительную) с целью улучшения технологических свойств (обрабатываемости режущими инструментами, обрабатываемости давлением и др.).

Основными видами предварительной термической обработки заготовок из конструкционных сталей в машиностроении являются нормализационный или полный отжиг. Для их проведения заготовки нагревают в случае использования конструкционных доэвтектоидных сталей выше температуры фазового превращения  $t_{Ac3}$  на 30...50°C и получают структуру аустенита. После некоторой выдержки при температуре нагрева проводят охлаждение на воздухе (нормализационный отжиг) или вместе с печью (полный отжиг), получая структуру из феррита и перлита.

Предварительная термическая обработка снижает твердость стали и улучшает обрабатываемость резанием. За показатель обрабатываемости при резании принимается обычно численное значение скорости резанием при точении резцами из быстрорежущей стали на токарном станке, которой соответствует стойкость резцов 60 минут (время между двумя переточками режущей кромки инструмента).

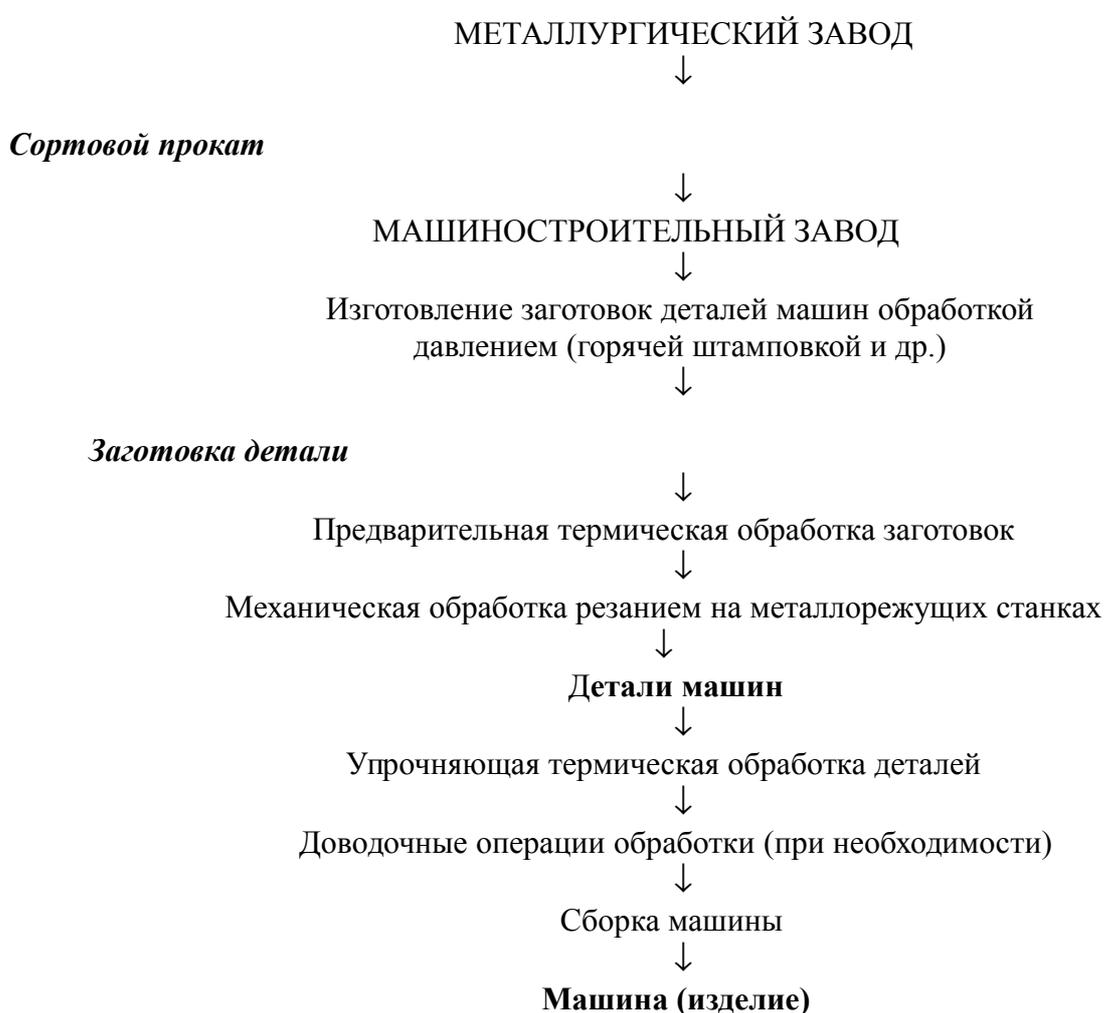


Рис. 8. Типовая укрупненная схема обработки и изготовления объемных деталей машин на машиностроительном заводе

При содержании углерода в конструкционных углеродистых и низколегированных сталях менее 0,5 % проводят обычно для заготовок нормализационный отжиг, а для сталей, имеющих более 0,5 % углерода – полный отжиг.

Типовая окончательная термическая обработка деталей машин и инструментов состоит из двух операций: 1 - закалки с получением на этапе охлаждения с большой скоростью (для углеродистых сталей в воде и других средах) из аустенита структуры мартенсита (А→М); 2 - отпуска закаленной стали с нагревом до температуры не выше температуры фазового превращения  $A_{c1}$ . Применение термической обработки значительно изменяет механические свойства стали. Схемы основных видов термической обработки для конструкционных доэвтектоидных сталей представлены на рис. 9.

Данные о механических свойствах конструкционных среднеуглеродистых (улучшаемых) сталей различного химического состава после закалки и высокого отпуска приведены в табл. 9.

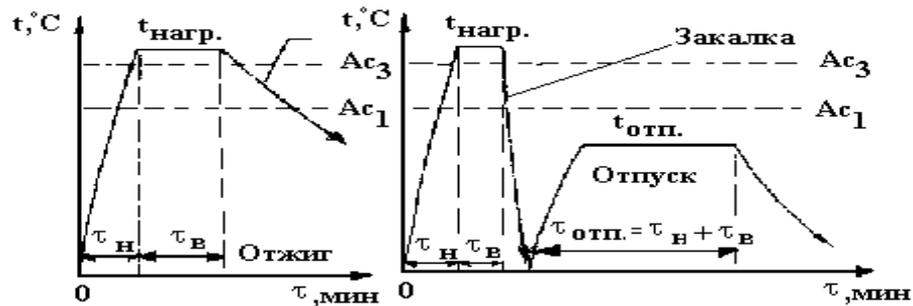


Рис. 9. Схемы термической обработки конструкционных сталей  
Таблица 9. Механические свойства некоторых типовых конструкционных среднеуглеродистых сталей после закалки и высокого отпуска

Марка стали	Оптовая цена <sup>х)</sup>	Критический диаметр, мм <sup>xx)</sup>	Для деталей с поперечным размером, мм <sup>xxx)</sup>	Механические свойства	
				$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа
45	1,0	12	15...20	490	730
40X	1,2	15	25...35	800	900
40XH	1,6	25	50...75	800	1000
40XH2MA	2,1	100	75...100	950	1050
38XH3MФА	2,6	100	100...200	1070	1150

Примечания:

х) Относительные единицы: за 1.0 принята оптовая цена углеродистой качественной стали.

хх) Диаметр образца, закаливающегося насквозь с получением в центре микроструктуры из 95 % мартенсита и 5 % троостита.

ххх) Стали могут быть использованы для изготовления деталей с еще большим

поперечным размером. Следует иметь в виду, что в этом случае изделия получают

пониженные по сравнению с табличными значениями механических свойств в связи с

недостаточной прокаливаемостью по сечению деталей большого поперечного диаметра.

## 2. МАТЕРИАЛЬНО – ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ

В работе используется информационный блок по данной тематике, схемы установок для проведения термической обработки

Так, для нагрева образцов применяются электрические лабораторные камерные или муфельные печи. Примером камерной печи является печь СНОЛ-1.6.2. 5. I/II-M1<sup>X</sup>) мощностью 3 кВт. Рабочая камера, в которой проводится нагрев, выполнена из жаростойкой керамики. Нагревательные элементы в виде спиралей расположены в углублениях по боковым стенкам, на поду и в своде печи. Для предохранения спиралей от повреждений и расположения нагреваемых образцов имеется на поду печи плоская керамическая плитка. С целью измерения температуры в рабочую зону печи вставляется термопара. Рабочая камера печи спереди закрывается крышкой. Максимальная температура в рабочей зоне составляет 1100°С. Печь снабжена милливольтметром типа МП-64-02.

Для точного измерения и автоматического поддержания заданной температуры применен особый прибор - автоматический электромеханический *потенциометр* типа КСП4, к которому с помощью электрических проводов присоединена термопара. Прибор может автоматически записывать данные о температуре в печи на ленточную бумажную диаграмму в прямоугольных координатах.

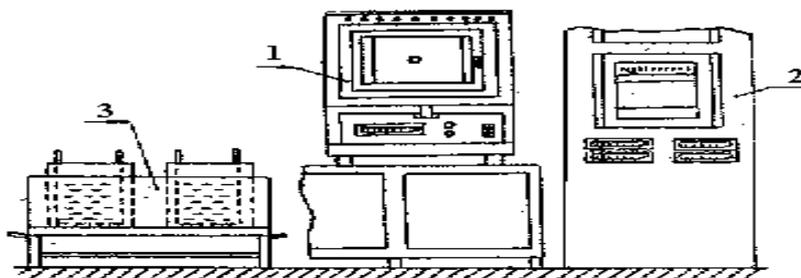


Рис.1 Схема установки для проведения термической обработки:

1 – печь; 2 – шкаф с потенциометрами; 3 – бачки с охлаждающими жидкостями.

Рядом с печами располагаются на подставке бачки с водой и минеральным маслом. Бачки имеют "корзинки" с отверстиями, посредством которых образцы после завершения охлаждения вынимаются из охлаждающей среды. Схема установки для термической обработки показана на рис. 1.

Оценка механических свойств образцов проводится в данной работе по численному значению твердости. **Твердость** - свойство материала оказывать сопротивление пластической деформации при вдавливании под постоянной нагрузкой в плоскую поверхность материала шарика из закаленной твердой стали, алмазного конуса или пирамиды. Имеются различные методы измерения твердости: метод Бриннеля, Роквелла, Виккерса и др.

## 3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

Первая часть работы выполняется в следующем порядке:

1. Группе студентов до 3-4 человек преподаватель указывает номер выполняемого задания. Текст задания каждый студент записывает себе в отчет.

2. В соответствии с заданием преподаватель назначает марку стали, определяется ее структурный класс.

3. Определяется по заданию вид термической обработки: закалка, отжиг, закалка с отпуском.

4. Далее переходят к назначению режимов термической обработки: температуры нагрева, времени нагрева и выдержки, охлаждающей среды. Некоторые показатели режима в зависимости от конкретного задания указываются преподавателем.

Температура нагрева подсчитывается по формулам, приведенным в табл. 10. Численные значения температур фазовых превращений  $A_{c1}$  и  $A_{c3}$  принимаются по данным табл. 11. При этом вычисляют два численных значения температуры: минимальное  $t_{min}$  и максимальное  $t_{max}$ . Эти значения температуры характеризуют оптимальный интервал температуры нагрева. Фактическая величина температуры в печи должна находиться в этом интервале (не ниже  $t_{min}$ ).

Пример. Закалка стали У12 ( $A_{c1}=730^{\circ}C$ ):  $t_{min} = 730 + 70 = 800^{\circ}C$ ;  
 $t_{max} = 730 + 100 = 830^{\circ}C$ .

Таблица 10. Температуры нагрева и охлаждающие среды при термической обработке стали

Вид термической обработки стали	Температура нагрева, $^{\circ}C$		Типовая охлаждающая среда
	Стали доэвтектоидные (менее 0,8 %С)	Стали эвтектоидные и заэвтектоидные (от 0,7...0,8 до 2,14%)	
Отжиг	$t_{отж} = t_{Ac3} + (30...50^{\circ}C)$	$t_{отж} = t_{Ac1} + (30...70^{\circ}C)$	С печью
Нормализационный отжиг	$t_{н.о.} = t_{Ac3} + (50...80^{\circ}C)$	$t_{н.о.} = t_{Acм} + (30...50^{\circ}C)$	На спокойном воздухе
Закалка	$t_{зак} = t_{Ac3} + (30...50^{\circ}C)$	$t_{зак} = t_{Ac1} + (70...100^{\circ}C)$	Углеродистые стали – в воде, легированные – в масле
Отпуск закаленной стали	Ниже $A_{c1}$ (в зависимости от заданных свойств при 160...650 $^{\circ}C$ )		Для большинства сталей – на воздухе

Таблица 11. Температуры критических точек  $A_{c1}$ ,  $A_{c3}$ ,  $A_{cm}$  некоторых сталей

Марка стали	30	35	40	45	50	40Х	45Г2	35ХГСА	60С2
$A_{c1}$ , $^{\circ}C$	735	730	727	725	750	743	711	750	750
$A_{c3}$ , $^{\circ}C$	812	802	788	770	760	762	765	830	820
Марка стали	У7	У8	У10		У12	ШХ15	9ХС	ХВГ	Х12М
$A_{c1}$ , $^{\circ}C$	730	730	730		730	750	770	750	810
$A_{cm}$ , $^{\circ}C$	-	-	800		820	900	870	940	-

Время нагрева образцов до заданной температуры вычисляют по следующей эмпирической зависимости:  $\tau_n = 1,5 D$ , мин,

где  $D$  - диаметр или толщина образца мм.

Время выдержки при заданной температуре  $\tau_b = 0,2 \tau_n$ , мин. Общее время от загрузки образцов в рабочую камеру печи до их выгрузки из печи составляет сумму времени нагрева и выдержки:

$$\tau = \tau_n + \tau_b$$

Пример. Диаметр образца равен 12 мм:  
 $\tau_n = 1,5 \cdot 12 = 18$  мин;  $\tau_b = 0,2 \cdot 18 = 3,6$  мин;  $\tau = 18,0 + 3,6 = 21,6$  мин.

Охлаждающая среда при термической обработке стали назначается по табл.10. По данным литературы устанавливается и измеряется твердость образцов до термообработки методом Роквелла по шкале HRB. Полученное число твердости переводится по таблице в шкалу HB. Величину твердости записывают в таблицу.

После условного охлаждения устанавливается твердость в зависимости от вида термической обработки по шкале HRC или HRB (по данным литературы). Полученные числа твердости переводятся по таблице в шкалу HB. Величины твердости записывают в таблицу. Форма таблицы для записи результатов термической обработки по всему заданию дана ниже:

Влияние термической обработки на твердость стали

Марка стали. Вид термообработки (т.о.)	Режим термообработки			Твердость стали					
	t, °C	$\tau$ , мин	Среда охлаждения	до т.о.		после т.о.			
				HRB	HB	HRB	HRC	HB	

## 5. ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К РАБОТЕ

1. Понятие термической обработки.
2. Какие основные виды термической обработки применяются в машиностроении?
3. Какое влияние оказывают полный отжиг и полная закалка с отпуском на механические свойства конструкционной стали?
4. Какие печи применяются для термической обработки в лаборатории материаловедения?
5. Для каких целей применяются потенциометры?
6. Понятие твердости материалов.
7. Как определяется температура нагрева при закалке и отжиге?
8. Какая охлаждающая среда применяется в случае нормализационного отжига?

Литература: [1- 19-27; 1- 8-27]

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

### МИКРОСТРУКТУРА ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ

**Цель работы:** изучить классификацию, микроструктуру, свойства и назначение типовых цветных сплавов машиностроения.

#### 3. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

К цветным относится обширная группа металлов следующих классов:

- *легкие* металлы являются основой сплавов для машиностроения, судостроения, самолетостроения. Это преимущественно алюминий и титан, реже магний;
- *легкоплавкие* металлы преимущественно используются для изготовления антифрикционных сплавов: это свинец, олово, цинк. Такие сплавы часто в виде тонкого слоя наносятся на рабочую поверхность стальной основы подшипников скольжения машин и механизмов;
- *редкоземельные* металлы применяются в качестве добавок к различным сплавам (сталям и др.) с целью улучшения их свойств;
- *благородные* металлы (золото, серебро, платина и др.) используются в электротехнике, электронике, радиотехнике;

- *урановые* металлы получили применение в атомной энергетике;  
 - *тугоплавкие* металлы (ниобий, тантал, молибден, вольфрам) применяются для изготовления изделий, работающих при особо высоких температурах до 1500...2000 °С.

Из цветных металлов наибольшее использование имеет **алюминий**, содержание которого в земной коре равно 8,8 %. Алюминиевые сплавы применяют для кузовов, рам, элементов дверей, радиаторов, колес автомобилей, блоков цилиндров, головок блоков, поршней двигателей внутреннего сгорания и других деталей машин.

Алюминиевые сплавы остаются одним из основных конструкционных материалов в производстве летательных аппаратов. Из них изготавливают элементы конструкций самолетов, воспринимающие действие механических сил: шпангоуты, лонжероны, нервюры и др. Сплавы в виде листов применяют для обшивки корпусов ракет и самолетов, изготовления топливных и масляных баков (сплав алюминий-магний, дуралюмин, алюминий - литейные сплавы и др.). Поковки и штамповки получают из ковочных сплавов марок 1360 (АК6) и 1380 (АК8). В серийном производстве освоены новые алюминиевые сплавы, имеющие в два раза меньшее содержание вредных примесей и повышенное сопротивление к образованию трещин. Из этих сплавов промышленность производит листы длиной до 9 метров и плиты длиной до 25 метров.

Расширяется применение титановых сплавов преимущественно в судостроении и авиационной технике. Сплавы обычно получают способом вакуумно-дуговой плавки с расходуемым электродом. Выплавляемые титановые слитки имеют диаметр 500...800 мм, массу 5...8 тонн и далее подвергаются обработке давлением: ковке на молотах, прокатке на станах и др. Основными видами деформируемых титановых полуфабрикатов являются поковки, штамповки, прутки, профили, трубы.

На основе алюминия, меди, магния, титана и некоторых других цветных металлов разработаны сплавы, перечень основных видов которых по государственным стандартам приведен в табл. 16.

Таблица 16. Перечень основных разновидностей промышленных цветных материалов по государственным стандартам

№ ГОСТа	Наименование стандарта
493-79	Бронзы безоловянные литейные. Марки
613-79	Бронзы оловянные литейные. Марки
1320-74	Баббиты оловянные и свинцовые. Технические условия
1583-89Е	Сплавы алюминиевые литейные. Марки
2856-79	Сплавы магниевые литейные. Марки
4784-74	Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки
5017-74	Бронзы оловянные, обрабатываемые давлением. Марки
14957-76	Сплавы магниевые деформируемые. Марки
15527-70	Сплавы медноцинковые (латуни), обрабатываемые давлением. Марки
17711-80	Сплавы медно-цинковые (латуни) литейные. Марки
18175-78	Бронзы безоловянные, обрабатываемые давлением. Марки
19807-91	Титан и сплавы титановые деформируемые. Марки
28873-90	Сплавы на основе тяжелых цветных металлов, обрабатываемые давлением. Унифицированные марки.

Описание микроструктур цветных сплавов лабораторной коллекции шлифов дано в табл. 17, а схемы микроструктур приведены на рис. 14. Применяемые в современной технике цветные материалы на основе алюминия, меди, титана и других металлов подразделяются на деформируемые и литейные. Из *деформируемых сплавов* получают различными способами горячей и холодной обработки давлением кованные и штампованные заготовки, прутки, листы и прочие полуфабрикаты. Основу их структуры составляют твердые растворы.

Детали из *литейных сплавов* не обрабатываются давлением и ставятся в конструкцию машин в литом состоянии в виде фасонных отливок. Для изготовления из них отливок они должны обладать хорошими литейными технологическими свойствами: высокой способностью жидких сплавов к заполнению полостей литейной формы (жидкотекучестью), малой усадкой, небольшой склонностью к образованию трещин и др.

Таблица 17. Перечень лабораторной коллекции микрошлифов цветных сплавов

№ шлифа	Наименование	Марка	ГОСТ	Химический состав, %	Обработка сплава	Структурные составляющие
42	Дуралюмин	1160	4784-74	Al-основа; 3,8...4,8Cu; 1,2...1,8Mg; 0,3... 0,9Mn.	Отжиг	$\alpha$ -раствор и частицы интерметаллидов
43	Медно-цинковый сплав (латунь)	Л68	15527-70	Cu – основа 30-33 Zn	Холодная деформация и отжиг	Зерна $\alpha$ -раствора с двойниковыми кристаллами (светлые и темные)
44	Титановый сплав	BT3-1	19807-91	Ti-основа; 5,5...7Al; 2...3Mo;1; 2...5Cr; 0,15...0,4 Si; 0,2...0,7 Fe.	Отжиг	$\alpha$ -раствор (светлый) и $\beta$ -раствор (темный)
45	Силумин	AK12	1583-89E	Al-основа; 10...13 Si	Литьё без модифицирования	Эвтектика ( $\alpha$ +Si) и крупные кристаллы Si.
46	Силумин	AK12	1583-89E	Al-основа; 10...13 Si	Литьё с модифицированием	Дисперсная эвтектика ( $\alpha$ +Si) и $\alpha$ -раствора (светлый)
47	Магниевого сплава	MJ15	2856-79	Mg – основа 7,5...9 Al; 0,2...0,8 Zn; 0,15...0,5 Mn.	Литьё и закалка	Перенасыщенный $\alpha$ -раствор и $Mg_4Al_3$
48	Бронза	BrO10	-	Cu – основа	Литьё	Дендриты $\alpha$ -

	оловянная	Ф1		9...11 Sn; 0,8...1,2 P		раствора (темные), эвтектид (светлый) и Cu <sub>3</sub> P
49	Баббит	Б83	1320- 74	Sn – основа; 10...12 Sb; 5,5...6,5 Cu	Литьё	α-раствор, светлые крупные кристаллы β и мелкие Cu <sub>3</sub> Sn

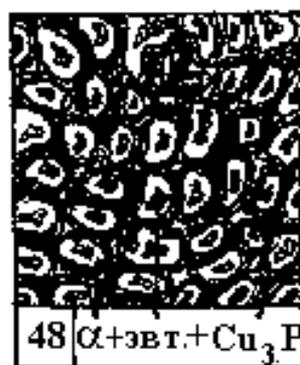
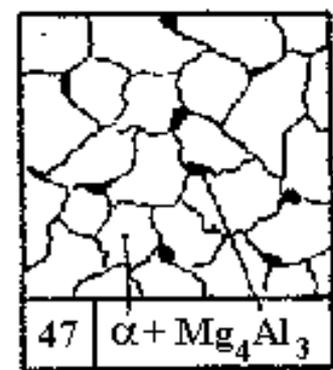
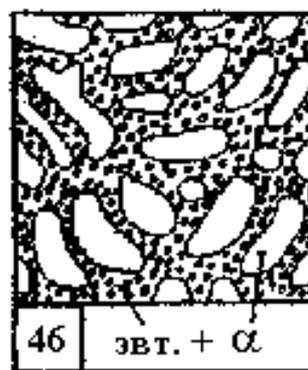
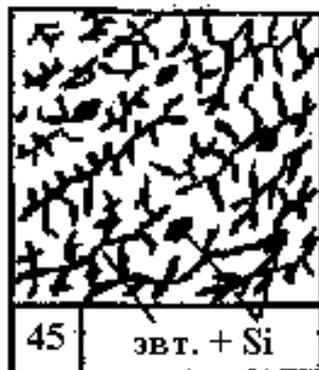
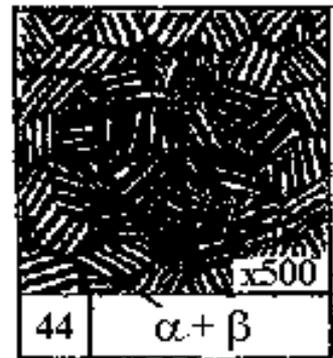
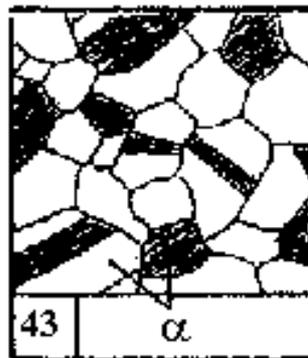
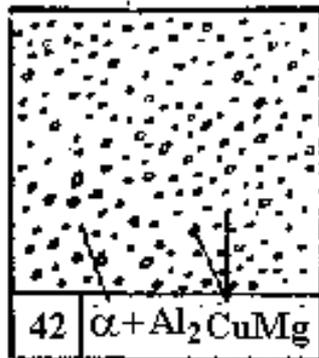


Рис. 14. Схемы микроструктур цветных сплавов.

Широкое использование получили материалы алюминий – медь – магний, дополнительно легированные марганцем (*дуралюмины*). В отожженном состоянии при содержании 3,8...4,8 % меди микроструктура дуралюминов состоит из α - твердого

раствора меди в алюминии и вторичных дисперсных включений интерметаллических соединений  $\text{CuAl}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{CuMg}$  (S-фазы).

Наиболее распространенными деформируемыми медными сплавами являются **медно-цинковые сплавы** (латуни). Двухкомпонентные сплавы медь-цинк при содержании до 39 % цинка имеют микроструктуру из одного  $\alpha$ -твердого раствора цинка в меди (латунь Л68). Микроструктура образца, подвергнутого холодной деформации и рекристаллизационному отжигу, состоит из равновесных зерен твердого раствора  $\alpha$ , имеющих вследствие анизотропии (зависимости свойств от направления) различный цвет от светлого до разных оттенков темного. Эти латуни применяются для получения ленты, трубок.

У латуней с содержанием 39...46 % цинка микроструктура состоит из зерен  $\alpha$ -твердого раствора и фазы  $\beta'$  (упорядоченный твердый раствор на основе соединения  $\text{CuZn}$ ). Такие двухфазные латуни имеют повышенную прочность при пониженной пластичности и изготавливаются в виде прутков и других полуфабрикатов.

Большинство деформируемых промышленных **титановых сплавов** получают после отжига микроструктуры из  $\alpha$ -раствора или  $\alpha+\beta$ -растворов на основе титана. Твердый раствор  $\alpha$  на основе  $\text{Ti}\alpha$  имеет гексагональную кристаллическую решетку,  $\beta$ -раствор на основе  $\text{Ti}\beta$  - решетку объемно-центрированного куба. Титановые сплавы характеризуются высокой удельной прочностью, хорошей сопротивляемостью коррозии.

Широкое применение имеют литейные сплавы алюминий-кремний (**силумины**). У заэвтектического сплава микроструктура состоит из эвтектики и первичных более крупных кристаллов кремния, например, у силумина АК12. Эвтектика представляет собой смесь  $\alpha$ -твердого раствора кремния в алюминии и грубых игольчатых кристаллов кремния, играющих роль внутренних надрезов (концентраторов напряжения). При модифицировании жидкого силумина натрием в количестве 0,05...0,08 % эвтектика измельчается и состоит из  $\alpha$  раствора и мелких зерен кремния. Микроструктура модифицированного доэвтектического силумина имеет первичные светлые дендриты твердого раствора  $\alpha$  и мелкозернистую эвтектику. Измельчение эвтектики и отсутствие в микроструктуре грубых кристаллов первичного хрупкого кремния позволяет несколько повысить прочность и пластичность силумина. Силумины применяют для изготовления фасонных отливок сложной формы.

Из литейных сплавов меди используются наиболее широко **бронзы**. Литая оловянная бронза с содержанием олова до 5...6 % имеет структуру  $\alpha$ -твердого раствора олова в меди с развитой дендритной ликвацией. Микроструктура литой бронзы, содержащей более 6 % олова, состоит из дендритов твердого раствора  $\alpha$  и извилистых светлых включений хрупкого эвтектоида (дисперсной смеси двух фаз:  $\alpha$ -раствора и  $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$  ( $\delta$ -фазы)).

Оловянная бронза, раскисленная фосфором, дополнительно имеет в микроструктуре небольшие включения химического соединения  $\text{Cu}_3\text{P}$  светло-голубого цвета, например, бронза марки БрО10Ф1. Оловянные бронзы применяются для изготовления сложных по форме отливок, подшипников скольжения, арматуры.

Из **магниевого** литейных сплавов наиболее широко используются сплавы магний – алюминий – цинк, например, марки МЛ5. В литом состоянии микроструктура сплава МЛ5 состоит из  $\alpha$ -твердого раствора алюминия и цинка в магнии и включений хрупкого химического соединения  $\text{Mg}_4\text{Al}_3$ . Применение длительного нагрева отливок при 400 °С приводит к растворению части включений химического соединения в твердом растворе, что позволяет повысить пластические свойства. Охлаждение в воде дает перенасыщенный  $\alpha$ -раствор с частицами  $\text{Mg}_4\text{Al}_3$  (закалка). Магниевого сплавы характеризуются небольшой плотностью (1,7 г/см<sup>3</sup>).

Для заливки вкладышей подшипников скольжения широкое применение получили сплавы олово – сурьма – медь, например, **оловянный баббит** Б83.

Микроструктура баббита состоит из мягкого  $\alpha$  -твердого раствора сурьмы в олове и крупных светлых кристаллов упорядоченной  $\beta'$ -фазы на основе химического соединения SnSb с высокой твердостью. Введение небольшого количества меди обеспечивает кристаллизацию в жидком растворе олова с сурьмой разветвленных дендритов ранее затвердевающего химического соединения  $Cu_{31}Sn_8$ , которые препятствуют ликвации в сплаве по плотности ("всплыванию") кристаллов  $\beta'$ - фазы.

Наличие в микроструктуре баббита мягкой, пластичной основы из раствора  $\alpha$  и включений кристаллов химических соединений с высокой твердостью обеспечивает сочетание прирабатываемости подшипника к валу с износостойкостью и небольшой коэффициент трения между валом и подшипником при наличии жидкостного трения.

## **2. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ**

В работе используются схемы рисунков микрошлифов.

## **3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ**

Практическая часть работы заключается в изучении микроструктуры типовых цветных сплавов машиностроения: алюминиевых, медных, титановых, магниевых, баббита. Студентам предоставляется схемы микрошлифов, подготовленных для анализа.

При изучении микроструктуры с помощью описания в табл. 17 и схем микроструктур (рис. 14) устанавливают, какие структурные составляющие имеет каждый образец, наименование и марку сплава, химический состав и обработку.

Зарисовка схем микроструктур всех цветных сплавов коллекции шлифов; наименование сплава, марка, химический состав, обработка, структурные составляющие.

### **ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К РАБОТЕ**

1. Теоретические положения: перечень классов цветных металлов; краткие сведения о типовых литейных и деформируемых цветных сплавах машиностроения.
2. Как классифицируются цветные металлы?
3. Где применяются редкоземельные, благородные, урановые, тугоплавкие, легкие, легкоплавкие металлы?
4. Какие типичные цветные металлы используются в качестве основы для создания конструкционных материалов машиностроения?
5. Какие цветные металлы применяются в качестве основы для антифрикционных сплавов подшипников скольжения?
6. Какое применение находят алюминий и его сплавы в машиностроении?
7. Какие требования предъявляются к микроструктуре деформируемых и литейных цветных сплавов?
8. Какую микроструктуру должны иметь антифрикционные сплавы?
9. Что представляет собой твердый раствор  $\alpha$  в дуралюминах?

*Литература:* [2-61-68]

## **ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5**

### **ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

**Цель работы:** изучить влияние закалки и режимов старения на свойства алюминиевых сплавов.

#### **1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ**

Из цветных сплавов конструкционного назначения широко используются алюминиевые сплавы. У них отсутствуют мартенситные превращения, как в сплавах железо-углерод. Поэтому типовая упрочняющая термическая обработка стальных деталей, заключающаяся в проведении закалки с получением мартенситной структуры и последующего отпуска, для алюминиевых сплавов неприменима. Такие сплавы обычно

характеризуются ограниченной переменной растворимостью легирующих элементов в алюминии в твердом состоянии. Для них разработан особый вид двухэтапной упрочняющей термической обработки

1. Закалка с получением перенасыщенного, термодинамически неустойчивого твердого раствора легирующих элементов в алюминии.

2. Старение путем повторного нагрева закаленного сплава до невысоких температур (в некоторых сплавах проводится без нагрева путем выдержки в течение нескольких суток при комнатных температурах).

При проведении старения в результате диффузии атомов легирующих элементов в зависимости от температуры нагрева происходит образование в твердом растворе особых малых микрообъемов, называемых зонами, обогащенных атомами легирующих элементов до 50 % и более, или мелкодисперсных частиц метастабильных промежуточных химических соединений. Такие структурные изменения создают повышенные препятствия движению дислокаций, что и упрочняет сплав.

Применительно к алюминиевым сплавам закалка и старение используются как для деформируемых (дуралюмины марок 1110, 1380), так и для литейных сплавов (АК7ч, АК9ч и др.). Данные о химическом составе, обработке и механических свойствах некоторых сплавов алюминия приведены в табл. 18 и 19.

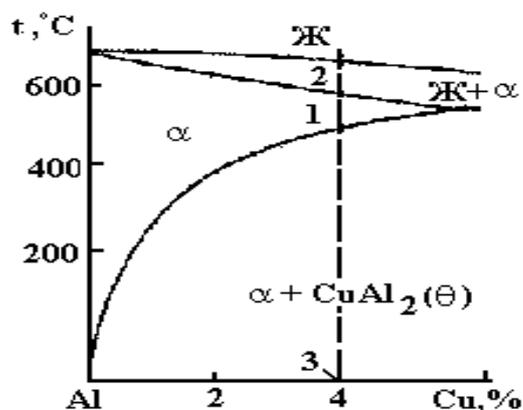
Таблица 18. Химический состав некоторых алюминиевых сплавов

Марка сплава		Химический состав, мас. %				
цифровая	буквенная	медь	магний	марганец	кремний	железо
1160	Д16	3,8...4,5	1,2... 1,8	0,3...0,9	0,5	0,5
1360	АК6	1,8...2,6	0,4... 0,8	0,4...0,8	0,7...1,2	0,6
-	АК7ч	-	0,2...0,4	-	6,0...8,0	0,3... 1,0

Таблица 19. Механические свойства полуфабрикатов из алюминиевых сплавов

Марка сплава		Полуфабрикат и обработка	Механические свойства		
цифровая	буквенная		$\sigma_{в}$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %
1160	Д16	Отжиг	220	110	18
		Закалка	300	-	23
		Закалка и старение: прутки пресованные, листы	540 440	400 330	11 18
1360	АК6	Закалка и старение: Штамповка: вдоль детали поперек детали	400 370	290 280	12 10
		-	АК7ч	Закалка	200
-	-	Закалка и старение: отливки	240	210	2

Процессы закалки и старения подробно изучены для сплавов алюминий-медь, которые можно рассматривать как основу дуралюминов (рис. 15).



Содержание меди таких сплавов назначается в интервале переменной растворимости меди в алюминии. Закалку, например, сплава  $X_1 = 4\%$  меди проводят путем нагрева выше температуры  $t_1$ , но ниже  $t_2$ . В процессе нагрева и выдержки должно

происходить полное растворение относительно крупных частиц химического соединения  $\text{CuAl}_2$  в твердом растворе  $\alpha$  меди в алюминии.

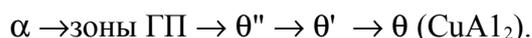
После выдержки при температуре нагрева под закалку и получения  $\alpha$  – твердого раствора ведется охлаждение со скоростью больше критической скорости закалки ( $V_{\text{охл}} > V_{\text{крит}}$ ).

В результате полной закалки высокотемпературное состояние твердого раствора  $\alpha$  с содержанием  $X_1 = 4\%$  меди сохраняется до комнатных температур  $t_3$ . При температуре  $t_3$  сплав получает структуру  $\alpha$  – твердого раствора меди в алюминии, который перенасыщен медью по сравнению с равновесным состоянием, когда растворимость составляет  $0,5\%$  меди. Получаемое в результате закалки состояние раствора  $\alpha$  ( $4\% \text{ Cu} > 0,5\% \text{ Cu}$ ) является термодинамически неустойчивым.

При повторном нагреве закаленного сплав не выше  $t_1$  т.е. при старении происходит распад перенасыщенного твердого раствора и изменение структуры. Процесс распада развивается в несколько стадий в зависимости от температуры и времени старения. В случае пониженных температур старения (в том числе и комнатных) путем диффузии атомов меди в твердом растворе образуются тонкопластинчатые дискообразные зоны с повышенной концентрацией меди. Эти зоны имеют кристаллическую решетку гранецентрированного куба, как и твердый раствор  $\alpha$ . Между зонами и окружающим их твердым раствором нет границ раздела (когерентные «границы»). Такие высоколегированные по составу зоны в твердом растворе получили название зон Гинье - Престона (сокращенно: зоны ГП).

При повышенных температурах старения образуются мелкодисперсные частицы метастабильных промежуточных фаз  $\theta''$  и  $\theta'$ , по составу соответствующих химическому соединению  $\text{CuAl}_2$  ( $\theta$ -фаза). Кристаллические решетки фаз  $\theta''$  и  $\theta'$  тетрагональные, а границы с твердым раствором  $\alpha$  у фазы  $\theta''$  полностью когерентные, а у фазы  $\theta'$  частично когерентные.

Следовательно, в случае двухкомпонентных сплавов алюминий-медь происходят следующие стадии распада закаленного перенасыщенного твердого раствора  $\alpha$ :



Величина достигаемого упрочнения материала при термической обработке зависит преимущественно от структурных факторов: типа выделяющихся фаз, размера, формы и др. Большое влияние на повышение твердости и прочности материала оказывает температурный фактор, обеспечивающий соответствующие изменения структуры выделяющихся фаз.

## 2. МАТЕРИАЛЬНО – ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ

В работе используется информационный блок по данной теме.

## 3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Задание 1** . Изучение влияния термической обработки на твердость алюминиевого сплава .Используя данные литературы заполнить таблицу

Таблица.

Марка алюминиевого сплава. Вид термообработки (ТО)	Режим термообработки			Твердость HRF	
	t, °C	t, мин	среда охлаждения	до ТО	после ТО
Дуралюмин 1160: Закалка Старение					

**Задание 2.** Изложить теоретические положения: понятия о закалке и старении сплавов.

Зарисовать диаграммы состояния алюминий-медь. Описание структурных изменений при старении закаленных сплавов алюминий-медь,

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К РАБОТЕ

1. Какая упрочняющая термическая обработка применяется для алюминиевых сплавов?
2. Какие структурные изменения происходят в процессе закалки алюминиевых сплавов?
3. Какие стадии распада пересыщенного твердого происходят при разных температурах старения в сплавах алюминий-медь?
4. Что представляют собой зоны Гинье - Престона (зоны ГП)?
5. Как изменяется твердость дуралюмина в зависимости от температуры старения?
6. Какое влияние оказывает время старения на твердость дуралюмина?

*Литература:* [2-61-68]

### ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6

#### ИЗУЧЕНИЕ ПРОКАЛИВАЕМОСТИ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ

**Цель работы:** Изучить методику испытания стали на прокаливаемость способом торцевой закалки с определением критического диаметра.

##### ***1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ***

Большинство деталей машин подвергается улучшению, т.е. закалке на мартенсит с последующим высоким отпуском. Такая термическая обработка обеспечивает оптимальное сочетание предела прочности, предела текучести и ударной вязкости. Однако, не всегда учитывается то обстоятельство, что различные марки стали имеют разную прокаливаемость, т.е. при закалке дают разную толщину закаленной зоны. Неправильный выбор марки стали для детали какого-либо сечения может привести к тому, что после высокого отпуска вследствие недостаточной прокаливаемости оптимальные механические свойства будут обеспечены только на незначительной части рассчитанного при конструировании детали сечения. При работе такое изделие может не выдержать заданной механической нагрузки и разрушиться.

**Прокаливаемость стали** - способность получать в процессе закалки микроструктуру мартенсита или мартенсита с трооститом на определенном расстоянии от поверхности детали. За глубину закаленного слоя принимают расстояние от поверхности детали до слоя с полумартенситной микроструктурой из 50 % мартенсита и 50 % троостита по ГОСТ 5657 или до слоя с 95 % мартенсита и 5 % троостита.

Несквозная прокаливаемость деталей объясняется тем, что при закалке изделие охлаждается быстрее с поверхности и медленнее в сердцевине. Если скорость охлаждения во внутренних слоях детали будет меньше критической скорости закалки, то в сердцевине не получится 100 %-я мартенситная структура. Сталь, не получившая сквозной закалки, будет иметь в сердцевине структуру, состоящую из троостита и мартенсита, троостита, сорбита и даже феррит + перлит, а в слоях близ поверхности - мартенситную структуру. Поэтому сталь с несквозной прокаливаемостью имеет во внутренних слоях пониженные механические свойства.

Легированные элементы Cr, Mn, Ni и другие (кроме Co) уменьшают критическую скорость закалки. Поэтому легированные стали закаляются на большую глубину от поверхности или даже по всему сечению при значительных поперечных размерах.

Сталь со сквозной прокаливаемостью после закалки и высокого отпуска имеет по всему сечению детали структуру сорбита отпуска и одинаковые механические свойства.

## 2. МАТЕРИАЛЬНО – ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ

В работе используется информационный блок по данной теме.

## 3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Задание.** Ознакомиться со схемой номограммы для определения критического диаметра, т.е. диаметра максимального сечения, прокаливающегося в данной охлаждающей среде насквозь.

Для этого на верхней шкале номограммы находят полученное условно-опытным путем по графику расстояние от закаливаемого торца до полумартенситной зоны.

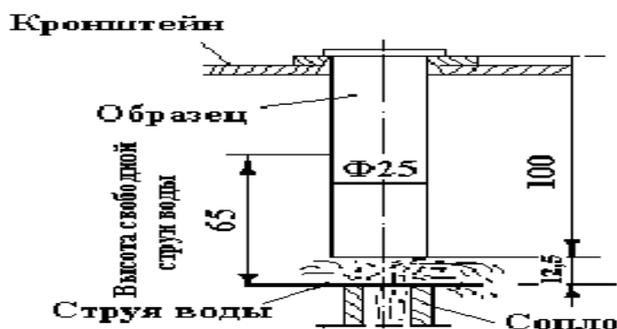


Рис. 16. Схема установки образца при испытании на прокаливаемость методом торцевой закалки

Далее устанавливается твердость полумартенситной зоны данной стали, которая зависит от содержания углерода (для сталей с содержанием 0,4 % С твердость полумартенситной зоны равна HRC 40).

По графику определяется расстояние в мм от закаленного торца образца до сечения, имеющего твердость полумартенситной зоны. Зная расстояние от закаливаемого торца до полумартенситной зоны, можно по специальной номограмме определить критические диаметры для деталей с различным отношением длины к диаметру.

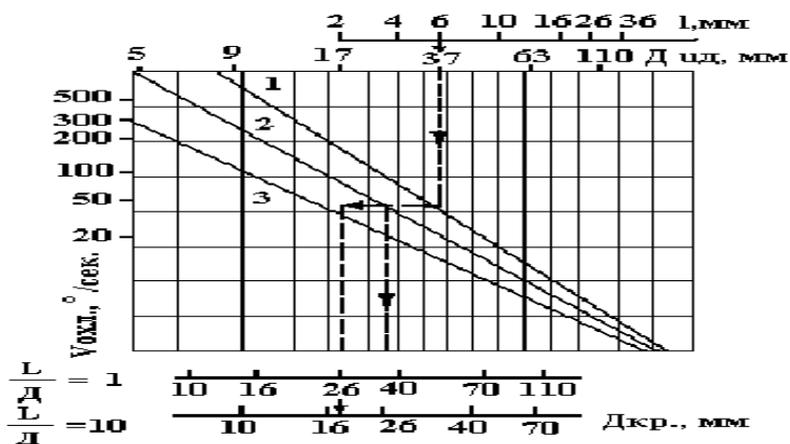


Рис. 17. Схема номограммы для определения критического диаметра

Для определения *критического диаметра*, т.е. диаметра максимального сечения, прокаливающегося в данной охлаждающей среде насквозь, на верхней шкале номограммы находят полученное опытным путем по графику расстояние от

закаливаемого торца до полумартенситной зоны. Из этой точки опускают перпендикуляр до пересечения с линией 1 «идеального охлаждения» с бесконечно большой скоростью охлаждения, затем проводят горизонтальную линию до пересечения с линиями 2 (охлаждение в воде) или 3 (охлаждение в масле) в зависимости от задания. Из точки пересечения опускают перпендикуляр на шкалу критических диаметров  $D_{кр.}$ , и при заданном  $L/D$  получают ответ (рис. 17).

Таким образом, используя данные торцевой закалки стандартного образца, можно определять прокаливаемость стали в деталях геометрически разных форм и при использовании различных охлаждающих жидкостей.

Студенты определяют по номограмме критический диаметр для случая закалки цилиндрической детали в предположении охлаждения в воде или минеральном масле при отношении длины к диаметру  $L/D=10$  (длинный вал) и  $L/D=1$  (плоская шайба). Путем сопоставления данных таблицы выявляется влияние легирования стали на прокаливаемость.

Поскольку прокаливаемость разных плавок одной стали имеет несколько отличающиеся значения, принято прокаливаемость стали характеризовать полосой прокаливаемости для совокупности разных плавок данной марки стали.

Форма таблицы:

Критические диаметры деталей для углеродистой и легированной сталей				
Марка стали	Содержание углерода, %	Охлаждающая среда	Критический диаметр, мм	
			$L/D=1$	$L/D=10$
		Вода		
		Минеральное масло		

**Задание 1.** Теоретические положения: понятие и значение прокаливаемости стали.

**Задание 2.** Методика проведения работы. График зависимости твердости от расстояния от торца для обеих сталей в одной системе координат. Таблица с данными о критических диаметрах для углеродистой и легированной стали при охлаждении в воде и минеральном масле.

Вывод о влиянии легирования на прокаливаемость стали.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К РАБОТЕ

1. Как определяется экспериментально прокаливаемость стали?
2. Почему легирование увеличивает прокаливаемость стали?
3. Как по номограмме определяется реальный критический диаметр?
4. Что понимается под критическим диаметром?

*Литература:* [2-19-25]

## ПЛАНЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

### (МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ - НА КАФЕДРЕ)

Лабораторная работа № 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООВОГО ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ МЕТАЛЛА

*Литература:* [3, с. 4-6]

Лабораторная работа № 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ЮНГА ПО ИЗГИБУ СТЕРЖНЯ

*Литература:* [3, с. 7-12]

Лабораторная работа № 3. ВЫЧИСЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ ИОННОЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ

*Литература:* [3, с. 13-18]

Лабораторная работа № 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА

*Литература:* [3, с. 19-22]

Лабораторная работа № 5. ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

*Литература:* [3, с. 23-25]

Лабораторная работа № 6. ВЫЯВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ ТРАВЛЕНИЯ

*Литература:* [3, с. 26-27]

Лабораторная работа № 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ ПОЛУПРОВОДНИКА

*Литература:* [3, с. 28-31]

Лабораторная работа № 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ И ХОЛЛОВСКОЙ ПОДВИЖНОСТИ ОСНОВНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА

*Литература:* [3, с. 32-33]

Лабораторная работа № 9. СВЯЗЬ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ СО СВОЙСТВАМИ СПЛАВА

*Литература:* [3, с. 34-35]