

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»  
Многопрофильный колледж



УТВЕРЖДАЮ  
Директор  
С.А. Махновский  
«23» марта 2017 г.

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**

**по учебной дисциплине  
ОП.06 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

**для студентов специальности 08.02.09 Монтаж, наладка и эксплуатация  
электрооборудования промышленных и гражданских зданий  
базовой подготовки**

**Магнитогорск, 2017**

## **ОДОБРЕНО**

Предметно-цикловой комиссии  
Монтажа и эксплуатации  
электрооборудования  
Председатель: С.Б. Меняшева  
Протокол №7 от 14.03.2017

Методической комиссией МпК  
Протокол №4 от 23.03.2017 г.

## **Составитель:**

преподаватель ФГБОУ ВПО МГТУ МпК

Т.А.Степанова

Методические указания по выполнению практических работ разработаны на основе рабочей программы ОП06 Материаловедение. Содержание практических работ ориентировано на формирование общих и профессиональных компетенций по программе подготовки специалистов среднего звена по специальности 08.02.09 Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования промышленных и гражданских зданий базовой подготовки, очной формы обучения

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ.....	4
Практическое занятие №1. Определение видов металлов по внешним признакам и макроструктуре.....	6
Практическое занятие №2. Определение видов металлов по микроструктуре .....	12
Практическое занятие №3. Определение степени изменения объема металлов при нагревании .....	18
Практическое занятие №4. Изучение и анализ диаграммы состояния сплавов с использованием метода термического анализа.....	20
Практическое занятие №5. Изучение технологического процесса получения сплавов черных металлов .....	28
Практическое занятие №6. Определение вида, химического состава и назначения стали по маркировке .....	29
Практическое занятие №7. Определение вида, химического состава и назначения сплавов цветных металлов по маркировке .....	33
Практическое занятие №8. Выбор способа термообработки стали для конкретных деталей в зависимости от условий эксплуатации.....	34
Практическое занятие №9. Выбор марки легированной стали для конкретных деталей в зависимости от условий эксплуатации .....	39
Практическое занятие №10. Изучение методов борьбы с коррозией.....	44
Практическое занятие №11. Определение твердости металла по методу Бринелля .....	49
Практическое занятие №12. Определение ударной вязкости материалов.....	53
Практическое занятие №13. Определение удельного веса материалов .....	59
Практическое занятие №14. Механические испытания материалов на растяжение и сжатие .....	62
Практическое занятие №15. Определение вязкости жидких диэлектриков .....	67
Практическое занятие №16. Изучение конструкции и маркировки проводов и кабелей.....	71
Практическое занятие №17. Выбор марки припоя и определение его назначения и химического состава .....	74
Практическое занятие №18. Приготовление электролитов для аккумуляторов и определение плотности электролита.....	78

## ВВЕДЕНИЕ

Важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки студентов составляют практические и лабораторные занятия. Являясь частью изучения учебной дисциплины, они призваны экспериментально подтвердить теоретические положения и формировать общие и профессиональные компетенции, практические умения.

Состав и содержание практических и лабораторных работ направлены на реализацию Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования.

Ведущей дидактической целью практических занятий является формирование профессиональных практических умений (умений выполнять определенные действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности).

Ведущей дидактической целью лабораторных работ является экспериментальное подтверждение и проверка существенных теоретических положений (законов, зависимостей).

В соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Электротехника» предусмотрено проведение практических и лабораторных работ.

В результате их выполнения, обучающийся должен:

### **уметь:**

У1 определять свойства конструкционных и сырьевых материалов, применяемых в производстве, по маркировке, внешнему виду, происхождению, свойствам, составу, назначению и способу приготовления и классифицировать их;

У2 определять твердость материалов;

У3 определять режимы отжига, закалки и отпуска стали;

У4 подбирать конструкционные материалы по их назначению и условиям эксплуатации;

У5 подбирать способы и режимы обработки металлов (литьем, давлением, сваркой, резанием) для изготовления различных деталей;

Содержание практических и лабораторных работ ориентировано на подготовку студентов к освоению программы подготовки специалистов среднего звена по специальности и овладению **профессиональными компетенциями:**

ПК 1.1. Организовывать и осуществлять эксплуатацию электроустановок промышленных и гражданских зданий.

ПК 1.2. Организовывать и производить работы по выявлению неисправностей электроустановок промышленных и гражданских зданий.

ПК 1.3. Организовывать и производить ремонт электроустановок промышленных и гражданских зданий.

ПК 2.1. Организовывать и производить монтаж силового электрооборудования промышленных и гражданских зданий с соблюдением технологической последовательности.

ПК 2.2. Организовывать и производить монтаж осветительного электрооборудования промышленных и гражданских зданий с соблюдением технологической последовательности.

ПК 2.3. Организовывать и производить наладку и испытания устройств электрооборудования промышленных и гражданских зданий.

ПК 2.4. Участвовать в проектировании силового и осветительного электрооборудования.

ПК 3.1. Организовывать и производить монтаж воздушных и кабельных линий с соблюдением технологической последовательности.

ПК 3.2. Организовывать и производить наладку и испытания устройств воздушных и кабельных линий.

ПК 3.3. Участвовать в проектировании электрических сетей.

ПК 4.1. Организовывать работу производственного подразделения.

ПК 4.2. Контролировать качество выполнения электромонтажных работ.

ПК4.3 Участвовать в расчетах основных технико-экономических показателей

ПК 4.4. Обеспечивать соблюдение правил техники безопасности при выполнении

**А также формированию общих компетенций:**

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

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

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

ОК 5 Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

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

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

Выполнение студентами практических и лабораторных работ по учебной дисциплине «Материаловедение» направлено на:

- обобщение, систематизацию, углубление, закрепление, развитие и детализацию полученных теоретических знаний по конкретным темам учебной дисциплины;
- формирование умений применять полученные знания на практике,
- реализацию единства интеллектуальной и практической деятельности;
- формирование и развитие умений: наблюдать, сравнивать, сопоставлять, анализировать, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследования, пользоваться различными приемами измерений, оформлять результаты в виде таблиц, схем, графиков;
- приобретение навыков работы с различными приборами, аппаратурой, установками и другими техническими средствами для проведения опытов;
- развитие интеллектуальных умений у будущих специалистов: аналитических, проектировочных, конструктивных и др.;
- выработку при решении поставленных задач профессионально значимых качеств, таких как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

Практические и лабораторные занятия проводятся после соответствующей темы, которая обеспечивает наличие знаний, необходимых для ее выполнения.

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

## Тема 1.1.Строение и свойства металлов

### Практическое занятие №1. Определение видов металлов по внешним признакам и макроструктуре

#### Цель работы

— ознакомиться со способами определения вида металла по внешним признакам

#### Теоретические сведения

**Макроанализ** дает представление об общем строении металла и позволяет оценить его качество после различных видов обработки: литья, обработки давлением, сварки, термической и химико-термической обработки.

Не выявляя подробностей строения, макроанализ позволяет определить участки металла, требующие дальнейшего микроскопического исследования. Макроанализом можно определить:

1. Нарушения сплошности металла: центральную пористость, свищи, подкорковые пузыри, трещины, непровары и газовые пузыри при сварке;
2. Дендритное строение, размеры и ориентацию зерен в литом состоянии;
3. Химическую неоднородность литого металла – ликвацию (исследуется макрошлиф);
4. Волокнистое строение деформированного металла;
5. Вид излома: вязкий, хрупкий, нафталинистый, камневидный и т.д.;
6. Глубину слоя после химико-термической обработки (исследуется излом).

Макроанализ проводят на продольных и поперечных макрошлифах (темплетах) и изломах. Для успешного выполнения макроанализа необходим выбор наиболее характерного для изучаемого изделия сечения или излома. Вырезанные темплеты подвергают механической обработке, химическому травлению и исследованию.

Методы макротравления подразделяют на три группы: глубокого травления; поверхностного травления; отпечатков. Структура, выявляемая глубоким травлением, слабо зависит от подготовки поверхности образца; поверхностное травление или метод отпечатков требует более тщательной подготовки поверхности. Способы макроанализа различны в зависимости от состава сплава и задач, стоящих перед исследователем. Для многих марок стали, с целью выявления дефектов, нарушающих сплошность, применяют горячий (60-80 °С) 50% водный раствор соляной кислоты. Темплеты травят в течение 5-45 мин. до четкого выявления макроструктуры – это глубокое травление.

Химическую неоднородность стали, например, ликвацию фосфора, серы, свинца определяют методом поверхностного травления и отпечатков.

При необходимости полного макроскопического исследования, а также определения нарушений сплошности металла и дефектов строения целесообразно придерживаться следующей последовательности; сначала травить образец реактивом поверхностного травления, затем снова шлифовать и определять распределение серы по отпечатку на

фотобумаге, после чего производить глубокое травление для определения нарушений сплошности.

Макроанализ применяют для выявления в металле дендритного строения, осадочной рыхлости, газовых пузырей, трещин, пустот, плен, шлаковых включений, расположения волокон в поковках и штамповках, ликвации серы и фосфора, структурной неоднородности, качества сварного соединения.

При макроанализе проводится исследование макроструктуры.

Макроструктура может быть исследована непосредственно на поверхности заготовки или детали; в изломе или, что делается чаще, на вырезанном образце (темплете) после его шлифования и травления специальным реактивом.

Образец (темплет) металла, поверхность которого подготовлена для макроанализа, называется макрошлифом.

### Приготовление макрошлифа

Место и способ вырезки образца. Образец для макроанализа вырезают в определенном месте и в определенной плоскости в зависимости от того, что подвергают исследованию—отливку, поковку, штамповку, прокат, сварную или термически обработанную деталь и что требуется выявить и изучить:

- первичную кристаллизацию,
- дефекты, нарушающие сплошность металла,
- неоднородность структуры.

В связи с этим образцы вырезают из одного или нескольких мест слитка, заготовки или детали как в продольном, так и в поперечном направлении.

Получение плоской поверхности образца. Поверхность образца для макроанализа обрабатывают на фрезерном или строгальном станке(если материал с невысокой твердостью) или на плоскошлифовальном станке(если материал твердый). Для получения более гладкой поверхности образец шлифуют вручную.

При шлифовании по поверхности образца водят шлифовальной шкуркой, обернутой вокруг деревянного бруска. Шлифование начинают шкуркой с наиболее грубым абразивным зерном, затем постепенно переходят на шлифование шкуркой с более мелким зерном. При переходе с одного номера шкурки на другой направление шлифования меняют на 90 градусов. После шлифования образцы протирают ватой и подвергают травлению.

### Выявление неоднородности распределения (ликвации) серы и фосфора

Выявление ликвации серы. Для выявления в стали ликвации серы применяют метод Баумана, для выполнения которого необходимо:

1) макрошлиф хорошо протереть ватой, смоченной спиртом, и положить на стол шлифованной поверхностью вверх;

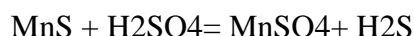
2) лист глянцевой бромосеребряной фотографической бумаги вымочить на свету в течение 5–10 мин в 5 %-м водном растворе серной кислоты, слегка просушить между двумя листами фильтровальной бумаги для удаления избытка раствора, наложить эмульсионной

стороной на макрошлиф и, приглаживая сверху рукой или резиновым валиком, удалить образующиеся пузырьки газов, выдержать на макрошлифе в течение 2–3 мин и осторожно снять с него;

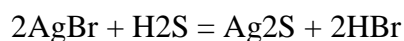
3) полученный отпечаток промыть в воде, зафиксировать в 25 %-м водном растворе гипосульфита, снова промыть в воде и просушить.

Полученные на фотобумаге участки коричневого цвета указывают на места, обогащенные серой (скопления сульфидов). Если фотобумага имеет равномерную окраску, следовательно, сера распределена равномерно.

Появление темных участков в местах, обогащенных серой, объясняется тем, что сначала между серной кислотой, впитанной в фотобумагу, и включениями  $MnS$ , в виде которых сера находится в стали, происходит следующая реакция:



Образующийся сероводород действует на бромистое серебро эмульсионного слоя, в результате получается сернистое серебро, имеющее темно-коричневый цвет:



На рис. 1.1 дана фотография отпечатка, характеризующего неравномерное распределение серы в образце рельса.

#### Выявление ликвации фосфора.

Ликвацию фосфора в стали выявляют травлением отшлифованного образца в реактиве состава: 85 г хлорной меди, 53 г хлористого аммония в 1 000 см<sup>3</sup> воды.

Для выявления ликвации необходимо:

- 1) отшлифованную поверхность образца протереть ватой, смоченной спиртом;
- 2) образец погрузить в указанный реактив и выдержать в нем 1–2 мин; при выдержке образца в реактиве железо растворяется и вытесняет медь, которая осаждается на поверхности образца;
- 3) после выдержки образец вынуть из реактива; вся поверхность образца должна быть покрыта медью;
- 4) струей воды смыть с поверхности слой меди и протереть макрошлиф мокрой ватой;
- 5) просушить образец.

Более темные, т. е. глубоко протравленные участки, – это места, обогащенные фосфором, так как чем больше в железе фосфора, тем быстрее оно растворяется; светлые участки – места с меньшим содержанием фосфора (рис. 1.2).



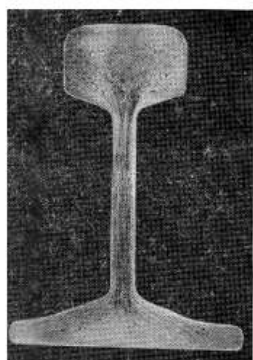


Рис. 1.1. Ликвация серы в стали

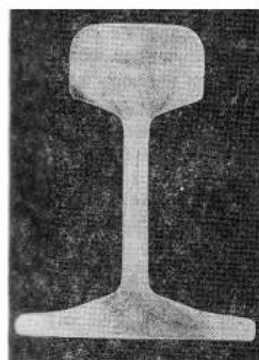


Рис. 1.2. Ликвация фосфора в стали

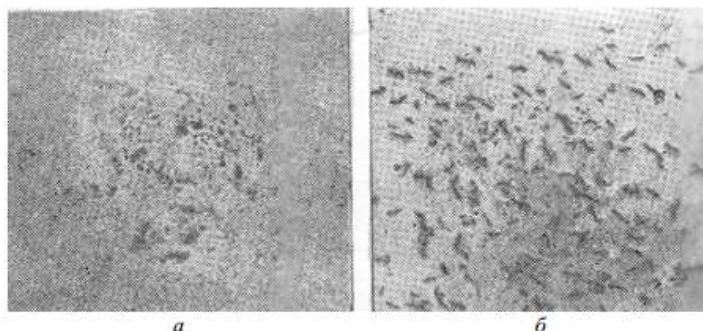


Рис. 1.3. Дефекты, нарушающие сплошность металла: а – поры; б – трещины

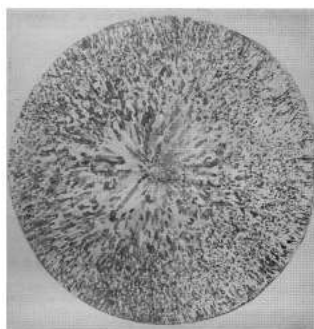


Рис. 1.4. Макроструктура литой стали

#### Выявление дефектов, нарушающих сплошность металла

Для выявления в стали дефектов, нарушающих сплошность металла (трещин, пор, раковин), проводится глубокое травление отшлифованного образца водным раствором соляной кислоты ( $50 \text{ см}^3 \text{ HCl}$ ,  $50 \text{ см}^3$  воды).

Работу выполняют следующим образом:

1. Отшлифованную поверхность образца протерают ватой, смоченной спиртом.
2. В водяную баню, установленную в вытяжном шкафу (так как при травлении выделяются ядовитые газы), помещают фарфоровую ванну, вливают в неё реактив и нагревают до температуры  $60\text{--}70 \text{ }^\circ\text{C}$ .
3. Образец при помощи щипцов погружают в горячий реактив и выдерживают в нём  $10\text{--}45$  мин.
4. После выдержки образец при помощи щипцов вынуть из реактива.

5. Образец промывают водой, затем 10–15 %-м водным раствором азотной кислоты и высушивают.

При глубоком травлении раствором кислоты высокой концентрации происходит растравливание дефектов, нарушающих сплошность металла— они становятся видимыми невооруженным глазом (рис. 1.3).

#### Выявление строения литой стали

Строение литой стали (дендритной структуры) выявляют травлением отшлифованного образца в 15 %-м водном растворе персульфата аммония.

Для выявления дендритной структуры необходимо:

- 1) отшлифованную поверхность образца протереть ватой, смоченной спиртом;
- 2) в водяную баню поместить фарфоровую ванну, налить в неё реактив и нагреть до 80–90 °С;
- 3) образец при помощи щипцов погрузить в горячий реактив и выдержать в нём 5–10 мин;
- 4) после выдержки в реактиве образец при помощи щипцов вынуть из реактива;
- 5) образец промыть водой и просушить.

На рис. 1.4 дана макроструктура литой стали.

#### Изучение изломов

Внутренние дефекты, которые могут привести к разрушению изделия, выявляются при изучении изломов.

Изломом называется поверхность, образующаяся вследствие разрушения металлов. Изломы металлов могут существенно отличаться по цвету.

Так, стали и белые чугуны, в которых весь углерод связан в цементите, имеют излом светло-серого цвета. У графитизированных сталей и чугунов, в которых углерод находится преимущественно в виде графита, излом черного цвета.

На поверхности изломов можно видеть дефекты, которые способствовали разрушению. В зависимости от состава, строения металла, наличия дефектов, условий обработки и эксплуатации изделий изломы могут иметь вязкий, хрупкий или усталостный характер.

Вязкий (волокнистый) излом (рис. 1.5, а) имеет бугристо-сглаженный рельеф и свидетельствует о значительной пластической деформации, предшествующей разрушению. По виду вязкого излома нельзя судить о форме и размерах зерен металла.

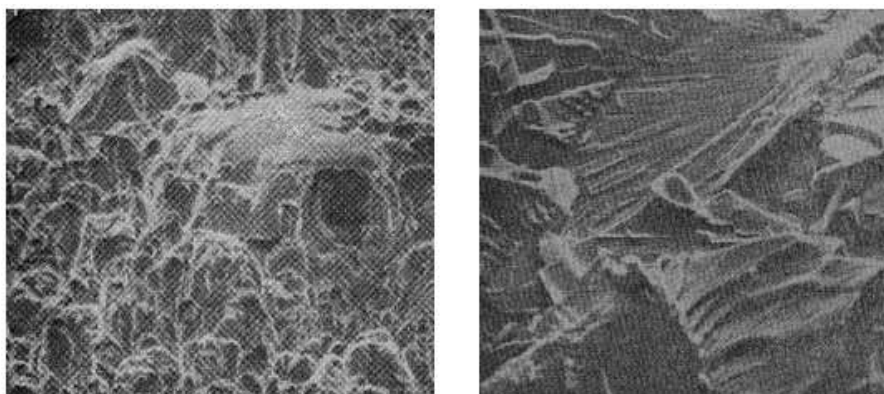


Рис. 1.5 Изломы стали: а– вязкий; б– хрупкий, x400

Хрупкий (кристаллический) излом (рис. 1.5, б) характеризуется наличием на поверхности плоских блестящих участков (фасеток). Так как разрушение протекает без заметной пластической деформации и форма зерна не искажается, то на хрупком изломе видны исходная форма и размер зерен металла. При этом разрушение может происходить через зерна (транскристаллический излом) либо по границам зерен (интеркристаллический, или межкристаллический, излом). Разрушение по границам зерен имеет место при наличии на границах неметаллических включений (фосфиды, сульфиды, оксиды) или других выделений, ослабляющих прочность границ зерна.

Хрупкое разрушение наиболее опасно, так как происходит чаще всего при напряжениях ниже предела текучести материала. Его возникновению способствуют наличие поверхностных дефектов, конструкционные просчеты (резкое изменение сечения, толстостенность деталей), низкая температура и ударные нагрузки при работе, крупнозернистость металла, выделение по границам зерен хрупких фаз, межзеренная коррозия. Разновидностями хрупкого излома являются нафталинистый, камневидный, фарфоровидный и др.

Нафталинистый излом – транскристаллический с крупным зерном и избирательным блеском, подобным блеску кристаллов нафталина. Он свидетельствует о повышенной хрупкости стали и наблюдается в легированных, преимущественно быстрорежущих сталях. Причиной возникновения такого излома является перегрев стали, вызывающий укрупнение зерен и образование определенной ориентации структурных составляющих (текстура). Внешне в изломе текстура проявляется как одно крупное зерно. Нафталинистый излом устраняется путем многократных повторных фазовых перекристаллизаций металла.

Хрупкий излом называют камневидным, если металл имеет крупно-зернистое строение, а разрушение носит преимущественно межкристаллический характер. Причина образования такого излома – перераспределение примесей при перегреве металла с выделением их в приграничных участках зерен. Камневидный излом можно устранить путем гомогенизирующего отжига.

Обычно изломы бывают смешанными. При смешанном изломе на его поверхности наблюдаются участки вязкого и хрупкого разрушения.

Фарфоровидный излом характерен для правильно закаленной стали, вид излома матовый, мелкозернистый.



Рис. 1.6. Усталостный излом штока компрессора

Усталостный излом (рис. 1.6) образуется в результате длительного воздействия на металл циклических напряжений и деформаций. Излом состоит из трех зон: зарождения трещины, собственно усталостного распространения трещины и долома. Механизм усталостного разрушения следующий: усталостная трещина возникает в местах, где имеются концентраторы напряжений или дефекты. Первая зона плоская и гладкая. Увеличиваясь при работе детали, трещина образует зону собственного усталостного распространения с характерными концентрическими бороздками или дугами и мелкозернистым, фарфоровидным изломом. Зачастую она имеет отдельные участки гладкой притертой поверхности. Долом происходит внезапно, когда ослабленное трещиной сечение детали не способно выдержать прикладываемой механической нагрузки. Долом бывает вязким или хрупким.

#### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с методикой приготовления макрошлифов.
2. Изучить коллекцию образцов с основными дефектами, наблюдаемыми на их поверхности. Зарисовать эти дефекты.
3. Исследовать и зарисовать макроструктуру макрошлифов с химической неоднородностью (сварные детали, детали, упрочненные термической, химико-термической обработкой или наплавкой), деталей, изготовленных резанием и обработкой давлением.
4. Оценить ликвацию на микрошлифе по методу Баумана.
5. Изучить и зарисовать основные виды изломов (вязкий, хрупкий, усталостный).
6. Сделать выводы и составить отчет по работе в соответствии с заданиями (в отчете обязательно должны быть указаны тема, цель работы, пояснения к каждой рассмотренной макроструктуре).

#### Контрольные вопросы и задания

1. Как выявить ликвацию серы в стали?
2. Как выявить ликвацию фосфора в стали?
3. Как выявить дендритную структуру в литых образцах?
4. Какие бывают изломы?
5. Назвать характерные признаки хрупкого и вязкого изломов.
6. Каков механизм усталостного разрушения?

## **Практическое занятие №2. Определение видов металлов по микроструктуре**

### Цель работы

- ознакомиться с методами макроскопического анализа и изучить виды макроструктур на образцах железоуглеродистых сплавов

### Теоретические сведения

**Микроскопический анализ** заключается в исследовании структуры специально подготовленных образцов (микрошлифов) при увеличениях от 30-50 до 1500-1800 крат.

Микроанализ проводят с целью определения:

1. Количества, размеров и типа структурных составляющих;
2. Фазового состава сталей и сплавов;
3. Связи химического состава, условий производства и обработки сплава с его микроструктурой и свойствами.

Для проведения высококвалифицированного микроанализа необходимы знания не только в области металлографии, но и в методике приготовления микрошлифов, в устройстве микроскопов и методах микроскопического анализа.

Приготовление микрошлифа обычно включает следующие основные операции:

1. Вырезку образцов и подготовку поверхности;
2. Шлифование;
3. Полирование;
4. Травление.

Выбор числа образцов, места вырезки и сечения материала, по которому проходит плоскость микрошлифа, определяется целью металлографического исследования, размерами, формой и особенностями структуры изучаемого объекта.

Наиболее удобны простые формы образцов следующих размеров: цилиндр или параллелепипед с диаметром или стороной основания 10-20 мм и высотой 10-15 мм. Образцы малых размеров (лента, проволока) или сложной конфигурации после вырезки для изготовления шлифов помещают в пластмассы или легкоплавкие сплавы, используя заливку или запрессовку в цилиндрические обоймы. Наиболее часто для холодной заделки шлифов используют эпоксидные смолы. Они обладают достаточной твердостью, малой объемной усадкой при отверждении и хорошо соединяются с большинством металлических образцов.

Обработку шлифа на плоскость производят с помощью напильника или наждачного круга. Затем производят шлифовку ручную или на шлифовальных станках. Шлифование осуществляют на 4-5 номерах наждачной бумаги, последовательно уменьшая размер абразива. Направление движения образца по наждачной бумаге при смене номера бумаги следует изменять на 90°, а шлифование на одном номере вести до исчезновения рисок от предыдущей шлифовальной бумаги. При смене номера бумаги следует удалять со шлифа частички абразива. После шлифования на последней бумаге шлиф тщательно промывают в воде, чтобы частички абразива не попали на полировальный круг.

При шлифовании очень мягких металлов в ряде случаев шкурку предварительно смачивают в керосине или натирают парафином (например, при изготовлении микрошлифов из алюминия), чтобы свести к минимуму вдавливание абразивных частиц в поверхность шлифов.

Полирование служит для удаления мелких рисок, оставшихся после шлифования, и получения гладкой зеркальной поверхности шлифа. Применяют механическое или электрохимическое полирование.

Механическое полирование производят на вращающемся круге с натянутым полировальным материалом (фетр, сукно, драп), на который непрерывно или периодически наносят очень мелкий абразив в виде суспензии в воде. В качестве абразивов применяют оксид хрома, оксид алюминия и оксид железа. Все более широкое использование находят полировальные алмазные пасты, которые наносят на специальную ткань или бумагу.

Основные характеристики алмазных паст приведены в таблице 1.

Полирование ведут до получения зеркальной поверхности, и оно считается законченным, когда на поверхности шлифа под микроскопом не наблюдаются риски или царапины. После полировки шлиф промывают в воде или спирте и сушат полированную поверхность фильтровальной бумагой.

Табл. 1. Основные характеристики полировальных алмазных паст

Обозначение зернистости по ГОСТ 9206-70	Размеры абразивных частиц, мкм	Концентрация порошка, %		Цвет пасты и этикетки
		нормальная Н	повышенная П	
60/40	60-40	10	20	красный
40/28	40-28	7	14	красный
28/20	28-20	7	14	голубой
20/14	20-14	5	10	голубой
14/10	14-10	5	10	голубой
10/7	10-7	3	6	зеленый
7/5	7-5	3	6	зеленый
5/3	5-3	2	4	зеленый
3/2	3-2	2	4	желтый
2/1	2-1	1	2	желтый
1/0	1-0	1	2	желтый

Электрохимическое полирование основано на использовании процесса анодного растворения металла, который при определенных условиях протекает с образованием гладкой блестящей поверхности. Образец после механического шлифования погружают в качестве анода в электролизную ванну и выдерживают при заданном режиме (напряжении, плотности тока и температуре электролита) определенное время. Катодом обычно служит пластинка, изготовленная из нержавеющей стали.

Преимуществом электрополировки является отсутствие на поверхности шлифа деформированного слоя, образующегося при шлифовании или механическом полировании. Этот метод особенно подходит для полирования шлифов из мягких и легко наклепывающихся сплавов. К недостаткам электрополирования относятся: чувствительность к неоднородности химического состава, преимущественное растворение металла вокруг пустот и неметаллических включений, краевые эффекты и др.

Для выявления структуры отполированную поверхность образца подвергают травлению реактивами, различающимися по своему воздействию на поверхность металла. В приложении 1 приведены наиболее употребляемые реактивы для выявления микроструктуры

различных сплавов. Под воздействием реактива происходит растворение одних фаз, окисление и окрашивание других. В результате созданной различной отражающей способности фаз, самих зерен и их границ можно увидеть под микроскопом очертания зерен и различных фаз, определить их взаимное расположение; по цвету, форме и размерам определить присутствующие в сплаве фазы, т.е. выявить микроструктуру сплава.

Качество травления проверяют под микроскопом при том же увеличении, при котором предполагается изучение шлифа. Если поверхность шлифа, видимая под микроскопом, очень светлая, нет четкости контура структуры, то шлиф недотравлен; тогда проводят повторное травление. Если поверхность шлифа темная, с широкими темными границами структурных составляющих, то шлиф перетравлен; тогда его необходимо переполлировать с повторным травлением. После окончания травления шлиф промывают проточной водой, спиртом и высушивают прикладыванием фильтровальной бумаги.

Изучение микроструктуры осуществляют с помощью световых металлографических микроскопов.

Впервые микроскоп для исследования строения металлов был применен в 1831 г. русским инженером П.П. Аносовым, изучавшим булатную сталь.

Металлографический микроскоп позволяет рассматривать непрозрачные тела в отраженном свете. В этом его основное отличие от биологического микроскопа.

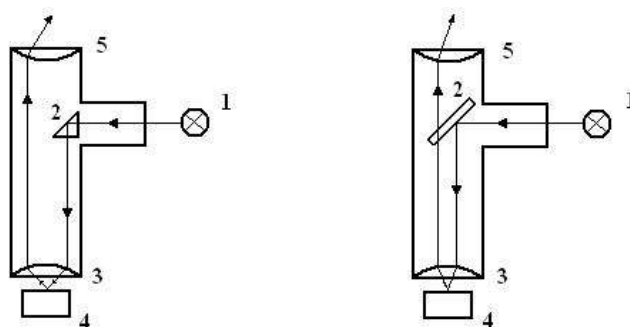


Рис. 1. Схема освещения шлифа в металлографических микроскопах

На рис. 1 показаны две принципиальные схемы освещения шлифа. В металлографических микроскопах освещение объекта осуществляется через объектив. Лучи света от источника света 1 попадают на призму полного внутреннего отражения 2 (рис. 1, а) или полупрозрачную плоско-параллельную пластинку 2 (рис. 1, б). Их назначение направить поток света в объектив 3 и через него – на шлиф 4.

Отраженные от шлифа лучи попадают в объектив 3, далее в окуляр 5 и от него в глаз человека.

Если шлиф металла не травлен, то практически весь световой поток отражается от шлифа и попадает в окуляр микроскопа (рис. 2, а). На травленном шлифе образуется микрорельеф из-за различной способности к растворению и окислению границ зерен, основы зерна и различных фаз (рис. 2, б). В результате различные участки шлифа по-разному отражают лучи света, что и позволяет наблюдать в микроскоп структуру металлов и сплавов (рис. 2, в, г).

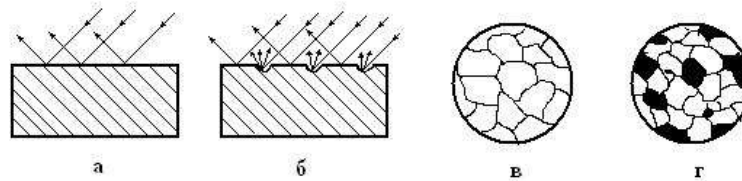


Рис. 2. Формирование изображения структуры шлифа в металлографическом микроскопе: а – отражение лучей от полированной поверхности; б – отражение лучей от травленной поверхности; в – вид в микроскопе травленной поверхности однофазного шлифа; г – вид в микроскопе травленной поверхности двухфазного шлифа

Основными характеристиками микроскопа являются его разрешающая способность и увеличение. Разрешающая способность характеризуется минимальным расстоянием между двумя соседними частицами, при котором они еще видны отдельно. Например, разрешающая способность невооруженного глаза составляет около 0,2 мм. Разрешаемое расстояние  $\mu$  объектива микроскопа определяется соотношением:

$$\mu = \lambda/2A,$$

где  $\lambda$  – длина волны света ( $\lambda = 0,55$  мкм для белого света),

$A$  – числовая апертура объектива (выгравирована на оправе объектива). Если учесть, что числовая апертура у лучших объективов равна 1,4, то минимальное разрешаемое расстояние светового микроскопа равно 0,2 мкм. Окуляр в микроскопе только увеличивает промежуточное изображение объекта, которое дает объектив, и не повышает разрешающую способность микроскопа.

Общее увеличение микроскопа равно произведению увеличения объектива на увеличение окуляра, так как изображение предмета увеличивается в объективе и окуляре. Увеличение современных металлографических микроскопов может быть от 60 крат до 1500 при визуальном наблюдении и до 2000 крат при фотографировании. Увеличение микроскопа при фотографировании легко определить с помощью объект-микрометра – металлической пластинки с полупрозрачным стеклом в центре. На стекло нанесена шкала длиной 1 мм, разделенная на 100 частей, т.е. цена деления 0,01 мм. Установив объект-микрометр на столик микроскопа и добившись четкого изображения делений на матовом стекле фотографического устройства, определяют увеличение, соотнося расстояние на стекле с истинным расстоянием по объект-микрометру.



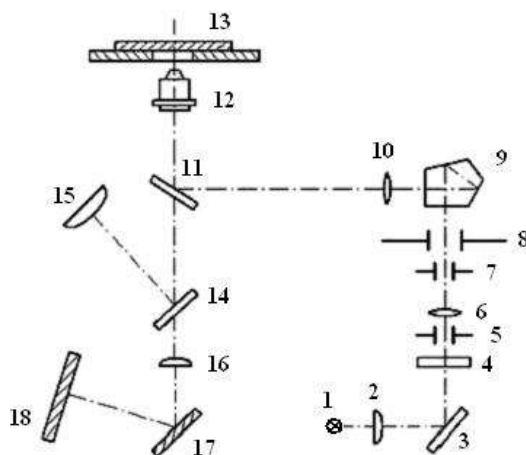


Рис. 3. Оптическая схема микроскопа МИМ-7

Большинство металлографических исследований проводят с применением светлопольного (вертикального) освещения. Для дополнительного повышения контрастности применяют другие методы и виды освещения, например, косое освещение, поляризованное освещение, метод фазового контраста, метод интерференционного контраста. Следует, однако, отметить, что в большей части выпускаемых в стране металлографических микроскопов используется лишь 2-3 дополнительных вида освещения.

Наиболее широко в металлографических лабораториях применяют микроскопы МИМ-7, МИМ-8, ММУ-3, ММР-4. На рис. 3 приведена оптическая схема микроскопа МИМ-7. Световые лучи от источника света 1 проходят через собирательную линзу (коллектор) 2, отражаются от зеркала 3, проходят через светофильтр 4, апертурную диафрагму 5, линзу 6, фотозатвор 7, полевую диафрагму 8 и, претерпев полное внутреннее преломление в поворотной призме 9, попадают на полупрозрачную плоско-параллельную пластинку 11. Часть светового потока проходит через нее и рассеивается в микроскопе, а часть лучей отражается вверх от пластинки, проходит через объектив 12 и через отверстие в предметном столике попадает на шлиф 13. Отраженные от шлифа лучи проходят через объектив 12, через прозрачную плоско-параллельную пластинку 11 и, отразившись от зеркала 14, через окуляр 15 попадают в глаз человека. В случае фотографирования зеркало 14 выдвигается в сторону вместе с окулярным тубусом, и лучи света проходят через фотоокуляр 16, отражаются от зеркала 17 и попадают на матовое стекло фотокамеры или на фотопластинку в кассете, вставленной вместо матового стекла.

#### Порядок выполнения работы

1. Изучить назначение и принцип микроскопического анализа
2. Изучить структуру шлифа. Зарисовать изображения структуры шлифа в металлографическом микроскопе.
3. Описать принцип исследования шлифа с помощью микроскопа
4. Сделать выводы и составить отчет по работе в соответствии с заданиями (в отчете обязательно должны быть указаны тема, цель работы)

#### **Тема 1.2. Железоуглеродистые сплавы**

### Практическое занятие №3. Определение степени изменения объема металлов при нагревании

— Цель работы ознакомиться с методами макроскопического анализа и изучить степени объема металлов при нагревании на образцах железоуглеродистых сплавов

#### Теоретические сведения

Неравновесная структура, созданная холодной деформацией, у большинства металлов устойчива при температуре 25°C. Переход металла в более стабильное состояние происходит при нагреве.

Процессы, происходящие при нагреве, подразделяют на две основные стадии: возврат и рекристаллизацию.

Снятие искажений решетки, как результат многочисленных субмикропроцессов (уменьшение плотности дислокаций в результате их взаимного уничтожения – аннигиляции, уменьшения внутренних напряжений, уменьшения количества вакансий и т.д.) в процессе нагрева деформированного металла называется возвратом, или отдыхом. При возврате не наблюдаются заметных изменений структуры, видимой в световом микроскопе, по сравнению с деформированным состоянием. Возврат происходит при относительно низких температурах (около 0,3  $t$  плавления).

Рекристаллизацией называют зарождение и рост новых зерен с меньшим количеством дефектов строения; в результате рекристаллизации образуются совершенно новые, чаще всего равноосные зерна. Температура рекристаллизации составляет некоторую долю от температуры плавления металла:  $t_{\text{рекр}} = 0,4, 0,45 T_{\text{пл}}$  и является наименьшей температурой нагрева, которая обеспечивает возможность зарождения новых зерен.

Температура рекристаллизации может колебаться и зависит:

- от степени деформации (чем меньше деформация, тем выше температура рекристаллизации);
- от времени выдержки при нагреве (чем длительнее выдержка, тем ниже температура рекристаллизации);
- от чистоты сплава (чем больше в сплаве примесей, тем выше температура рекристаллизации).

Зарождение новых зерен при рекристаллизации происходит в участках с наибольшей плотностью дислокаций, обычно на границах деформированных зерен. С течением времени образовавшиеся центры новых зерен увеличиваются в размерах вследствие перехода атомов от деформированного окружения к более совершенной решетке. Эта стадия рекристаллизации называется первичной рекристаллизацией или рекристаллизацией обработки. Первичная рекристаллизация заканчивается при полном замещении новыми зернами всего объема деформированного металла (рис. 5в).

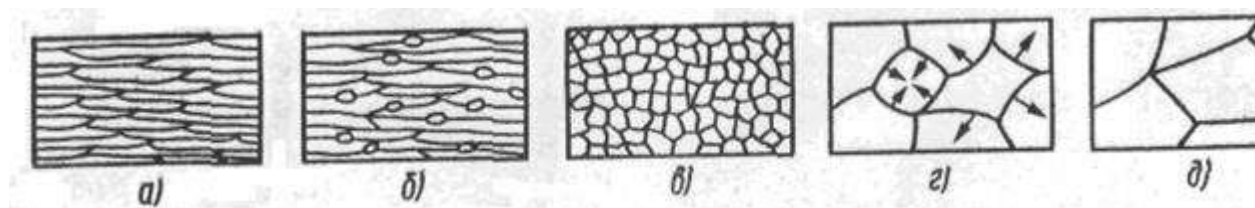


Рис. 5. Схема изменения микроструктуры наклепанного металла при нагреве:

- а) наклепанный металл; б) начало первичной рекристаллизации; в) завершение первичной рекристаллизации; г, д) стадии собирательной рекристаллизации

По завершении первичной рекристаллизации происходит рост образовавшихся зерен при увеличении времени выдержки или температуры; эта стадия рекристаллизации называется собирательной рекристаллизацией. Чем выше температура нагрева, тем более крупными окажутся рекристаллизованные зерна.

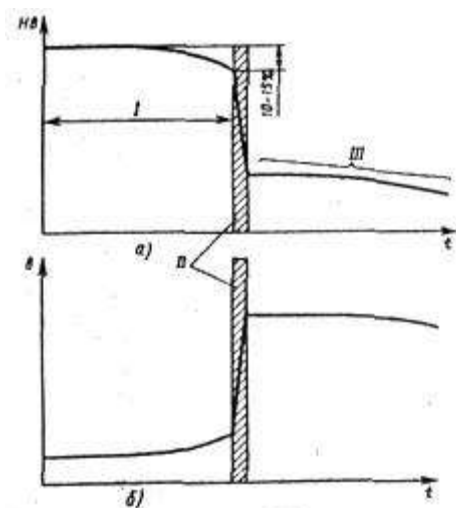


Рис. 6. Схемы изменения твердости (а) и пластичности (б), наклепанного металла при нагреве: I – возврат, II – первичная рекристаллизация, III – рост зерна

Первичная рекристаллизация полностью снимает наклеп, созданный при пластической деформации; металл приобретает равновесную структуру с минимальным количеством дефектов кристаллического строения. Свойства металла после рекристаллизации близки к свойствам отожженного металла (рис. 6).

Пластичность и вязкость металлов и сплавов зависят от размера зерен. С уменьшением размера зерен вязкость повышается. Размер зерен, образующихся при рекристаллизации, зависит в основном от степени пластической деформации, от температуры, при которой происходит рекристаллизация, и от времени выдержки (рис. 7).

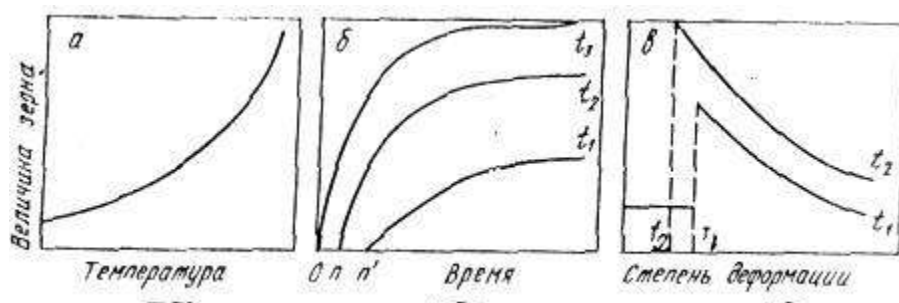


Рис. 7. Влияние температуры (а), продолжительности нагрева (б) и степени деформации (в) на величину рекристаллизованного зерна.  $t_3 > t_2 > t_1$  – температура рекристаллизационного отжига;  $f_2, f_1$  – критическая степень деформации

Увеличение времени выдержки при нагреве способствует росту зерен, но этот эффект значительно меньше, чем при повышении температуры нагрева.

Из рис.7в видно, что при определенной степени деформации, так называемой критической деформации (3,5%) и рекристаллизации можно получить аномально крупное зерно. Критической степени деформации следует избегать, так как образующаяся крупнозернистая структура обладает пониженной пластичностью и ударной вязкостью.

При больших степенях деформации возникает множество центров новых зерен и после рекристаллизации образуется мелкозернистый поликристалл с хорошими механическими свойствами.

#### Порядок выполнения работы

1. Измерить толщину образцов до и после деформации.
2. Произвести холодную пластическую деформацию на машине при усилиях 6, 8, 10 т.
3. Измерить твердость образцов после деформации на приборе Роквелла по шкале В (HRB), внести в таблицу.
4. Рассчитать степень пластической деформации образцов:

$$\varepsilon = \frac{h_{уст} - h_{деф}}{h_{уст}} \times 100\%$$

5. Рассчитать предел прочности деформированных образцов, используя эмпирическое соотношение  $\sigma \sim 0,35HB$
6. Отжечь деформированные образцы при температурах 250, 400°C, с выдержкой 15 мин.
7. Измерить твердость образцов после рекристаллизационного отжига.
8. Изучить структуры образцов после деформации и рекристаллизации, зарисовать и определить номер зерна (альбом, С.19, шкала № 1).

### **Практическое занятие №4. Изучение и анализ диаграммы состояния сплавов с использованием метода термического анализа**

#### Цель работы:

Изучить основные разновидности диаграмм состояния двойных сплавов.

Научиться определять по диаграмме состояния возможность проведения термической обработки сплавов, их упрочнения.

#### Порядок выполнения работы

Прочитайте внимательно основные сведения о диаграммах состояния сплавов, о возможностях термической обработки сплавов, особенно с целью упрочнения.

Проанализируйте полученный материал и сделайте выводы о возможностях использования диаграмм состояния для практической работы со сплавами.

Поясните, какие сплавы металлических систем могут подвергаться упрочняющей термической обработке.

#### Теоретические сведения

Для практической работы с двойными сплавами необходимо знать их структуру, возможность ее изменения с изменением температуры и состава сплава и, таким образом, судить о свойствах сплавов и о возможностях изменения свойств в нужном направлении. Необходимость изменить структуру и свойства сплавов может возникнуть, если при получении детали методом литья произошла внутрикристаллическая ликвация, если нужно упрочнить сплав термической обработкой, и в некоторых других случаях. Для определения возможности проведения термической обработки и назначения ее температурного режима нужно знать закономерности изменения фазового состава в зависимости от температуры и химического состава сплава в данной системе. Графическая зависимость, содержащая эту информацию, и является диаграммой состояния. Диаграммы состояния позволяют получать разностороннюю информацию о сплавах. С их помощью можно судить о литейных свойствах сплавов и, соответственно, о возможности получения из них отливок, о склонности сплавов к внутрикристаллической ликвации и ликвации по удельному весу при кристаллизации, о пластичности различных сплавов и возможности их пластического деформирования при изготовлении изделий.

Чаще всего для построения диаграмм состояния металлических систем используют термический анализ, основанный на том, что плавление, кристаллизация и все структурные изменения сплавов в твердом состоянии происходят с тепловыми эффектами (с поглощением или выделением тепла). Следовательно, снимая кривые нагрева или охлаждения сплавов разного состава какой-либо системы, можно зафиксировать температуры, при которых происходят те или иные изменения в структуре. Если затем эту информацию представить графически в координатах «температура - состав сплава», то получится диаграмма состояния системы.

В зависимости от характера взаимодействия компонентов в сплаве, соответствия или различия в их атомно-кристаллическом строении возможно образование различных фаз: твердых растворов, механической смеси кристаллов отдельных компонентов, химических соединений и др. Это взаимодействие описывается различными видами диаграмм состояния с разными возможностями изменения структуры и проведения термической обработки сплавов.

Основные разновидности таких диаграмм рассматриваются в общем виде ниже.

*Диаграмма с полной нерастворимостью компонентов в твердом состоянии*

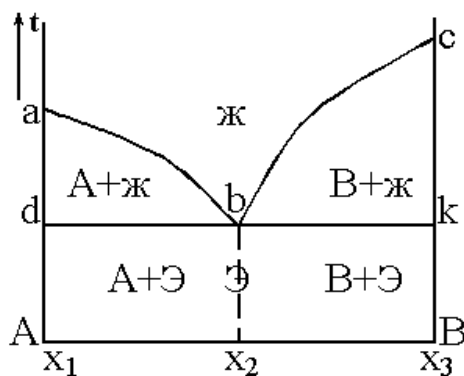


Рис. 1

В этой системе в жидком состоянии компоненты А и В растворяются друг в друге, а в твердом не растворяются. По вертикальной оси на диаграммах всегда откладывается температура, а по горизонтальной - состав сплава в процентах. На приведенной диаграмме (рис. 1) в точке «x1» содержится 100 % компонента А, вправо от этой точки увеличивается количество компонента В в сплавах, и в точке «x3» содержится 100% В. Точка «а» соответствует температуре плавления компонента А, а точка «с» - компонента В.

Если рассматривать диаграмму при понижении температуры (сверху вниз), то пересечение каждой линии соответствует изменению фазового состояния, строения сплавов данной системы. На рис. 1 линия abc является геометрическим местом температур начала кристаллизации сплавов и называется линией ликвидус. Выше этой линии все сплавы системы А-В находятся в жидком состоянии.

Линия dbk является геометрическим местом температур конца кристаллизации и называется линией солидус. Ниже нее все сплавы находятся в твердом состоянии. Следовательно, между линиями ликвидус и солидус сплав находится в двухфазном состоянии (и жидком, и твердом), т.е. в областях abda и bckb идут процессы кристаллизации (при охлаждении) и плавления (при нагревании).

При охлаждении из жидкого состояния на линиях ab и bc начинается процесс кристаллизации. Поскольку компоненты этой системы не растворяются друг в друге и химически не взаимодействуют, то при кристаллизации образуются кристаллы чистых компонентов. Причем, в области abda более благоприятные условия для образования в жидкости зародышей компонента А и роста из них кристаллов, а в области bckb - компонента В. Поэтому на линии ab начинается кристаллизация компонента А, а на линии bc – компонента В. При последующем понижении температуры эти процессы продолжаются до линии солидус dbk.

Точка «b» на диаграмме называется эвтектической, она принадлежит одновременно линии ab и линии bc. При кристаллизации сплава эвтектического состава (x2) в точке «b» одновременно формируются кристаллы компонентов А и В, в результате чего образуется мелкая механическая смесь кристаллов А и В, которая называется эвтектикой. Эвтектика сохраняется в этом сплаве и при последующем охлаждении в твердом состоянии.

При кристаллизации компонентов А и В в областях abda и bckb состав оставшейся жидкости непрерывно меняется. В первом случае она обедняется компонентом А, во втором - В. Когда охлаждение доходит до линии dbk, состав оставшейся жидкости становится равным эвтектическому (x2). Поэтому на линии dbk, так же как и в точке «b», кристаллизуется эвтектика.

В твердом состоянии (ниже линии dbk) структура доэвтектических сплавов (в интервале концентраций x1-x2) будет состоять из кристаллов компонента А и эвтектики, структура эвтектического сплава (состава x2) - из одной эвтектики, структура заэвтектических сплавов (в интервале концентраций x2-x3) - из кристаллов компонента В и эвтектики. Дальнейшее охлаждение в твердом состоянии не приводит к каким-либо изменениям в структуре, т.к. никаких линий в нижней части диаграммы нет.

Оценим возможность термической обработки сплавов системы с полной нерастворимостью компонентов в твердом состоянии.

Термической обработкой называют изменение структуры и свойств сплавов путем нагрева их до определенной температуры, выдержки и охлаждения с необходимой скоростью. Если посмотреть на диаграмму на рис. 1, то видно, что нагрев и охлаждение сплавов данной системы в твердом состоянии не приводят к изменению структуры, а следовательно - и свойств. Это значит, что упрочняющая термическая обработка сплавов подобных систем невозможна.

*Диаграмма с полной растворимостью компонентов в твердом состоянии*

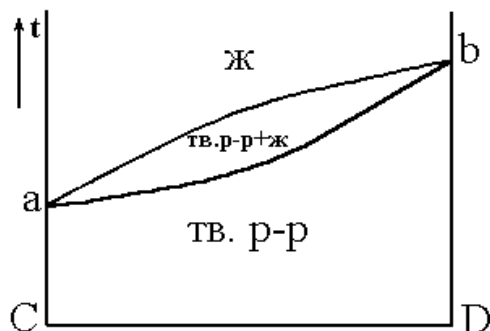


Рис. 2

В данном случае компоненты С и D растворяются друг в друге в твердом состоянии во всем интервале концентраций (от 0 до 100 %) (рис. 2). С учетом этого следует рассматривать диаграмму системы сплавов С–D. На рис. 2 точки «а» и «b» - температуры плавления (кристаллизации) компонентов С и D соответственно. Верхняя линия является линией ликвидус, следовательно выше нее все сплавы данной системы находятся в жидком состоянии. Нижняя линия – линия солидус, ниже которой все сплавы находятся в твердом состоянии. Кристаллизация при охлаждении жидкости начинается на линии ликвидус, при этом образуются кристаллы твердого раствора С в D (или D в С), заканчивается этот процесс на линии солидус. Ниже солидуса, т.е. в твердом состоянии, структура сплавов – это кристаллы твердого раствора замещения. При дальнейшем охлаждении до комнатной температуры изменений в структуре не происходит. Поскольку нагрев и охлаждение сплавов данной системы в твердом состоянии не приводят к изменению структуры, упрочняющая термическая обработка сплавов подобных систем невозможна.

Если в процессе кристаллизации произошла внутрикристаллическая ликвация, то устранить или уменьшить неоднородность по составу в сплаве можно термической обработкой – диффузионным отжигом (или гомогенизацией). Для этого необходимо нагреть сплав до высоких температур с целью ускорения диффузионных процессов, выдержать при этих температурах достаточно длительное время (часы или десятки часов) и затем медленно охладить. Режим диффузионного отжига показан на рис. 3 (заштрихованный интервал температур).

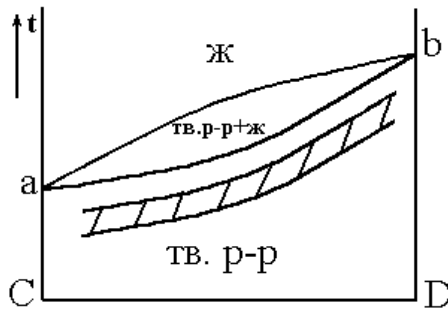


Рис. 3

3. Диаграмма состояния с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии

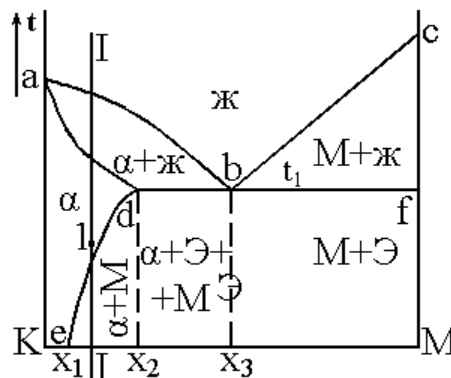


Рис. 4

В этой системе (рис. 4) компонент К в компоненте М в твердом состоянии не растворяется, а М в К растворяется в ограниченных количествах. Обозначим твердый раствор компонента М в К буквой  $\alpha$ . Такой твердый раствор с ограниченной растворимостью может образоваться как по типу замещения, так и по типу внедрения. При температуре  $t_1$  в твердом растворе  $\alpha$  может раствориться  $x_2$  компонента М, а при комнатной температуре -  $x_1$ , т.е. с понижением температуры растворимость М в твердом растворе  $\alpha$  уменьшается.

Линия abc - ликвидус диаграммы, следовательно, при более высоких температурах все сплавы данной системы будут в жидком состоянии.

Линия adbf – солидус, ниже нее сплавы находятся в твердом состоянии.

При охлаждении доэвтектических сплавов (с концентрацией компонента М до  $x_3$ ) в области abda будет происходить кристаллизация твердого раствора  $\alpha$ , а в заэвтектических сплавах (с концентрацией М больше  $x_3$ ) в области bcfb - кристаллизация компонента М. При этом в сплавах с концентрацией М до  $x_2$  кристаллизация заканчивается на линии ad формированием структуры, полностью состоящей из кристаллов твердого раствора  $\alpha$ , которая сохраняется и при дальнейшем охлаждении. Точка «b» на диаграмме – эвтектическая. В сплаве эвтектического состава ( $x_3$ ) в точке «b» при постоянной температуре  $t_1$  происходит кристаллизация эвтектики, которая представляет собой смесь мелких кристаллов твердого раствора  $\alpha$  и компонента М. Если проанализировать процессы, идущие при кристаллизации в областях abda и bcfb, то можно увидеть, что состав жидкости здесь непрерывно меняется, и при температуре  $t_1$  (на линии dbf) становится эвтектическим. Таким образом, на линии dbf из



жидкости эвтектического состава кристаллизуется эвтектика, сохраняющаяся в сплавах при дальнейшем охлаждении.

Линия  $de$  на диаграмме (рис. 4) показывает предельную растворимость компонента  $M$  в твердом растворе  $\alpha$ , понижающуюся с уменьшением температуры от  $x_2$  до  $x_1$ . Поэтому при охлаждении доэвтектических сплавов ниже линии  $de$  из твердого раствора  $\alpha$  будут выделяться избыточные атомы компонента  $M$  с образованием мелких кристаллов (частиц) этого компонента. Эти частицы при медленном охлаждении будут расти, укрупняться. Точно такой же процесс будет происходить и в сплавах состава  $x_2$ – $x_3$ . Это значит, что в них при температурах ниже линии  $db$  тоже будут выделяться частицы компонента  $M$ .

Для систем с твердыми растворами с ограниченной растворимостью компонентов, зависимой от температуры (подобных системе на рис. 4), возможна упрочняющая термическая обработка.

Сущность ее заключается в следующем. Если взять сплав состава  $I$ – $I$  со структурой, состоящей из кристаллов  $\alpha$  и частиц  $M$ , нагреть его до температуры точки  $1$  (выше линии  $de$ ), выдержать при этой температуре, чтобы все частицы  $M$  растворились в твердом растворе  $\alpha$ , и быстро охладить, то компонент  $M$  не успеет выделиться из твердого раствора. После охлаждения структура сплава будет представлять собой пересыщенный твердый раствор  $\alpha'$ . Этот процесс называется закалкой. При выдержке закаленного сплава при комнатной или несколько повышенной температуре из пересыщенного твердого раствора будет выделяться избыточный компонент  $M$  с образованием дисперсных (очень мелких) частиц:  $\alpha' \rightarrow \alpha + M_{\text{дисп}}$ . Такой процесс называется старением (при комнатной температуре – естественное старение, а при повышенных температурах – искусственное старение).

Образующиеся при старении мелкодисперсные частицы являются эффективными препятствиями для движения дислокаций и тем самым упрочняют сплав, повышают его прочностные характеристики. Таким образом, упрочняющая термическая обработка сплавов подобных систем заключается в закалке и старении.

В реальных сплавах могут встречаться варианты, когда оба компонента ограниченно растворяются друг в друге в твердом состоянии. В этом случае в системе будет 2 твердых раствора. Пример такой диаграммы показан на рис. 5.

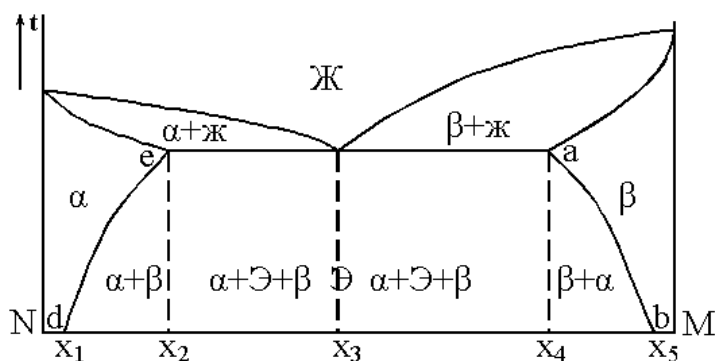


Рис. 5

Здесь есть твердый раствор  $M$  в  $N$  ( $\alpha$ ) и твердый раствор  $N$  в  $M$  ( $\beta$ ). Линии  $de$  и  $ab$  показывают, соответственно, предельную растворимость компонентов  $M$  и  $N$  в твердых

растворах  $\alpha$  и  $\beta$  в зависимости от температуры. Сплавы такой системы также могут подвергаться упрочняющей термической обработке (закалке и старению).

Если растворимость компонента в твердом растворе не зависит от температуры, то термическая обработка (закалка) становится невозможной, т.к. нельзя получить пересыщенный твердый раствор, необходимый для образования при последующем старении дисперсной упрочняющей фазы. Пример такой диаграммы показан на рис. 6.

Здесь концентрация компонента P в твердом растворе  $\alpha$  постоянна и равна  $x_1$ .

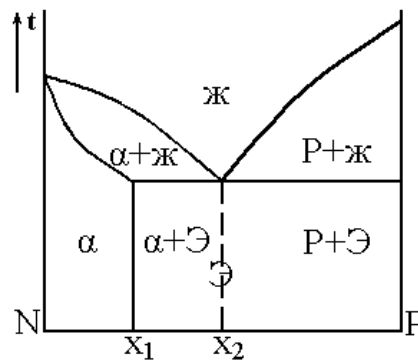


Рис. 6

#### 4. Диаграмма состояния с образованием химического соединения между компонентами

Если в процессе кристаллизации компоненты образуют устойчивое химическое соединение, то оно играет роль самостоятельного компонента в системе. С учетом этого, любую диаграмму с химическим соединением можно анализировать, разложив ее условно на более простые диаграммы, аналогичные рассмотренным выше.

На рис. 7 показана диаграмма с образованием химического соединения  $A_mD_n$  между компонентами A и D.

Эту диаграмму условно можно разделить на 2 простых диаграммы: A– $A_mD_n$  и  $A_mD_n$ –D (линии ликвидус abc и cdf, линии солидус kbm и ndef). Первая из них - типичная диаграмма с полной нерастворимостью компонентов в твердом состоянии, а вторая – диаграмма с ограниченной растворимостью компонентов. С учетом этого и указаны фазы в областях диаграммы на рис. 7.

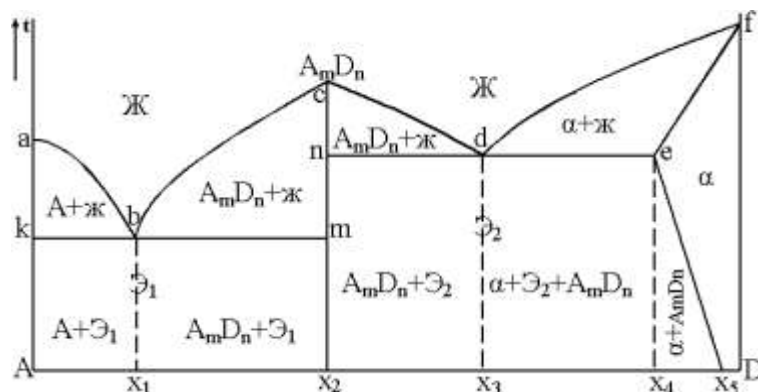


Рис. 7

В этой системе 2 эвтектики (точки «b» и «d»); одна из них - Э1 - состоит из кристаллов A + AmDn, а другая - Э2 - из кристаллов AmDn + α. Компонент A ограниченно растворяется в D с образованием твердого раствора α. Как видно из рис. 7, для сплавов в правой части системы возможна упрочняющая термическая обработка (закалка и старение).

### 5. Диаграмма состояния с фазовым превращением в твердом состоянии

Если один или оба компонента при нагревании и охлаждении в твердом состоянии меняют свое кристаллическое строение, то это сказывается на виде диаграммы. На ней появляются дополнительные линии, характеризующие изменение кристаллической решетки компонентов и их взаимодействие после такого изменения с образованием новых фаз в твердом состоянии.

Такая диаграмма показана на рис.8.

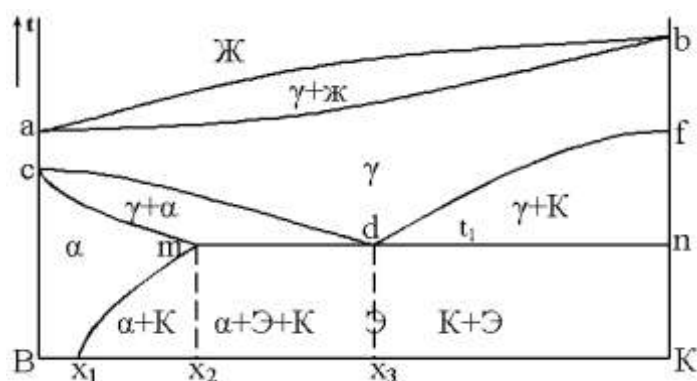


Рис. 8

Для удобства рассмотрения эту диаграмму условно можно разделить на две, первая из которых – верхняя часть диаграммы, показывающая процессы, идущие при кристаллизации жидкости (сверху и до линии cdf). Это диаграмма с полной растворимостью компонентов в твердом состоянии. Вторая условная диаграмма – это нижняя часть системы В-К, показывающая процессы, идущие в сплавах в твердом состоянии (ниже линии солидус ab). Это диаграмма с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии.

При рассмотрении этих условных простых диаграмм следует использовать знания по вышеизложенному материалу. В системе В-К имеются 2 типа твердых растворов: γ - твердый раствор с неограниченной растворимостью компонентов и α – твердый раствор с ограниченной растворимостью компонента К в В. Предел растворимости составляет x2 при температуре t1 и x1 при комнатной температуре. Отличаются эти твердые растворы кристаллическим строением.

В точке «с» происходит изменение кристаллической решетки компонента В, а в точке «f» - компонента К. При охлаждении сплавов на линии cdf начинается превращение твердого раствора γ в другие фазы (в связи с изменением кристаллической решетки компонентов). При этом в сплавах с концентрацией до x3 (левая часть диаграммы) образуются кристаллы твердого раствора α, а в сплавах с концентрацией К больше x3 - кристаллы компонента К. Заканчивается это превращение γ на линии mnd при температуре t1 образованием механической смеси типа эвтектической (такая смесь называется эвтектоидной) из кристаллов

твердого раствора  $\alpha$  и компонента К. Линия  $me$  показывает предельную растворимость К в твердом растворе  $\alpha$  в зависимости от температуры.

Как видно из рис. 8, для сплавов таких систем можно проводить упрочняющую термическую обработку.

#### Задание для выполнения работы

1. Запишите название работы и ее цель.
2. Запишите что такое диаграмма состояния.
3. Рассмотреть подробно диаграмму состояния сплава (с анализом процессов, идущих при охлаждении или нагревании сплавов, разбором фаз, образующихся во всех областях диаграммы, объяснением значения линий на диаграмме).

#### Контрольные вопросы:

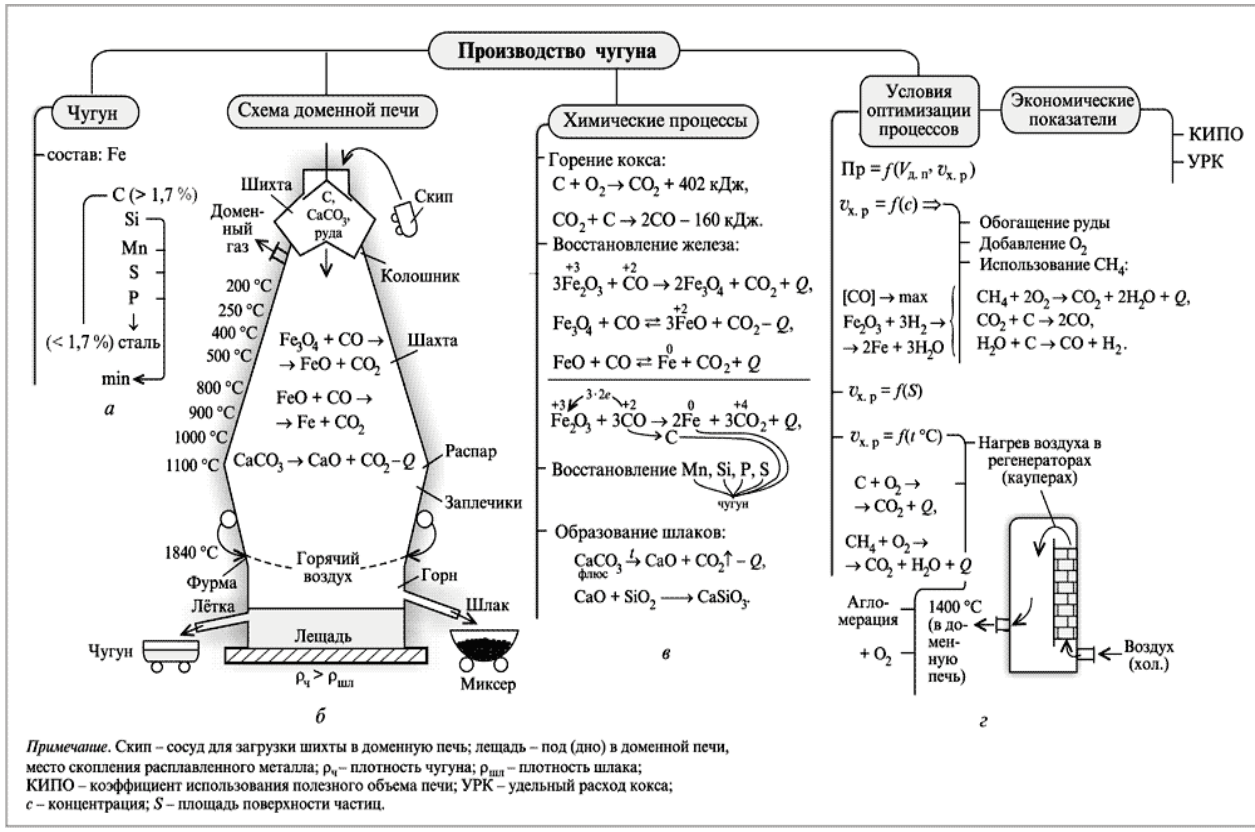
1. Как строится диаграмма состояния?
2. Что можно определить по диаграмме состояния?
3. Какие названия имеют основные точки диаграммы?
4. Что указывается на диаграмме по оси абсцисс? Оси ординат?
5. Как называются основные линии диаграммы?

### **Практическое занятие №5. Изучение технологического процесса получения сплавов черных металлов**

Цель работы: изучить схему производства чугуна и основные понятия темы.

#### Порядок выполнения работы

1. Зарисовать в тетрадь схему доменной печи, ее основные части, температурные режимы, выписать химические процессы в печи.



2. Выписать определения:

- Чугун-
- Металлургия -
- Доменная печь -
- Руда -
- Шихта -
- Шахта -
- Летка -
- Горн -
- Распар -
- Шлак -
- Флюс

3. Сделайте вывод по итогам работы.-

Контрольные вопросы

1. Какой химический состав имеет чугун?
2. Что входит в состав шихты?
3. В какой части доменной печи осуществляется плавка чугуна?
4. Какие металлургические предприятия есть в Магнитогорске?

**Практическое занятие №6. Определение вида, химического состава и назначения стали по маркировке**

Цель работы: ознакомление студентов с маркировкой и областью применения конструкционных сталей; формирование умения расшифровки маркировки конструкционных сталей.

### Теоретическая часть

Сталь – это сплав железа с углеродом, в котором углерода содержится в количестве 0-2,14%. Стали являются наиболее распространенными материалами. Обладают хорошими технологическими свойствами. Изделия получают в результате обработки давлением и резанием. Достоинством является возможность, получать нужный комплекс свойств, изменяя состав и вид обработки. В зависимости от назначения стали делятся на 3 группы: конструкционные, инструментальные и стали специального назначения.

Качество в зависимости от содержания вредных примесей: серы и фосфора стали подразделяют на:

- Стали обыкновенного качества, содержание до 0,06% серы и до 0,07% фосфора.
- Качественные - до 0,035% серы и фосфора каждого отдельно.
- Высококачественные - до 0,025% серы и фосфора.
- Особовысококачественные, до 0,025% фосфора и до 0,015% серы.

Раскисление – это процесс удаления кислорода из стали, т. е. по степени её раскисления, существуют: спокойные стали, т. е., полностью раскисленные; такие стали обозначаются буквами "сп" в конце марки (иногда буквы опускаются); кипящие стали – слабо раскисленные; маркируются буквами "кп"; полуспокойные стали, занимающие промежуточное положение между двумя предыдущими; обозначаются буквами "пс".

Сталь обыкновенного качества подразделяется еще и по поставкам на 3 группы: сталь группы А поставляется потребителям по механическим свойствам (такая сталь может иметь повышенное содержание серы или фосфора); сталь группы Б – по химическому составу; сталь группы В – с гарантированными механическими свойствами и химическим составом.

Конструкционные стали предназначены для изготовления конструкций, деталей машин и приборов. Наличие широкого сортамента выпускаемых сталей и сплавов, изготавливаемых в различных странах, обусловило необходимость их идентификации, однако до настоящего времени не существует единой системы маркировки сталей и сплавов, что создает определенные трудности для металлоторговли.

Так в России и в странах СНГ (Украина, Казахстан, Белоруссия и др.) принята разработанная ранее в СССР буквенно-цифровая система обозначения марок сталей и сплавов, где согласно ГОСТу, буквами условно обозначаются названия элементов и способов выплавки стали, а цифрами — содержание элементов. До настоящего времени международные организации по стандартизации не выработали единую систему маркировки сталей.

Маркировка конструкционных углеродистых сталей обыкновенного качества

- Обозначают по ГОСТ 380-94 буквами "Ст" и условным номером марки (от 0 до 6) в зависимости от химического состава и механических свойств.
- Чем выше содержание углерода и прочностные свойства стали, тем больше её номер.
- Буква "Г" после номера марки указывает на повышенное содержание марганца в стали.

- Перед маркой указывают группу стали, причем группа "А" в обозначении марки стали не ставится.
- Для указания категории стали к обозначению марки добавляют номер в конце соответствующий категории, первую категорию обычно не указывают.

Например:

- Ст1кп2 - углеродистая сталь обыкновенного качества, кипящая, № марки 1, второй категории, поставляется потребителям по механическим свойствам (группа А);
- ВСт5Г - углеродистая сталь обыкновенного качества с повышенным содержанием марганца, спокойная, № марки 5, первой категории с гарантированными механическими свойствами и химическим составом (группа В);
- ВСт0 - углеродистая сталь обыкновенного качества, номер марки 0, группы Б, первой категории (стали марок Ст0 и Бст0 по степени раскисления не разделяют).

Маркировка конструкционных углеродистых качественных сталей.

- В соответствии с ГОСТ 1050-88 эти стали маркируются двухзначными числами, показывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента: 05 ; 08 ; 10 ; 25 ; 40, 45 и т.д.
- Для спокойных сталей буквы в конце их наименований не добавляются. Например, 08кп, 10пс, 15, 18кп, 20 и т.д.
- Буква Г в марке стали указывает на повышенное содержание марганца. Например: 14Г, 18Г и т.д.

- Самая распространенная группа для изготовления деталей машин (валы, оси, втулки, зубчатые колеса и т.д) Например: 10 – конструкционная углеродистая качественная сталь, с содержанием углерода около 0,1 %, спокойная; 45 – конструкционная углеродистая качественная сталь, с содержанием углерода около 0,45%, спокойная; 18 кп – конструкционная углеродистая качественная сталь с содержанием углерода около 0.18%, кипящая; 14Г – конструкционная углеродистая качественная сталь с содержанием углерода около 0,14%, спокойная, с повышенным содержанием марганца.

Маркировка легированных конструкционных сталей.

- В соответствии с ГОСТ 4543-71 наименования таких сталей состоят из цифр и букв.
- Первые цифры марки обозначают среднее содержание углерода в стали в сотых долях процента.
- Буквы указывают на основные легирующие элементы, включенные в сталь.
- Цифры после каждой буквы обозначают примерное процентное содержание соответствующего элемента, округленное до целого числа, при содержании легирующего элемента до 1.5% цифра за соответствующей буквой не указывается.
- Буква А в конце марки указывает на то, что сталь высококачественная (с пониженным содержанием серы и фосфора)
- Н – никель, Х – хром, К – кобальт, М – молибден, В – вольфрам, Т – титан, Д – медь, Г – марганец, С – кремний.

Например:

- 12Х2Н4А – конструкционная легированная сталь, высококачественная, с содержанием углерода около 0,12%, хрома около 2%, никеля около 4%
- 40ХН – конструкционная легированная сталь, с содержанием углерода около 0,4%, хрома и никеля до 1,5%

Маркировка других групп конструкционных сталей.

Рессорно-пружинные стали.

- Основной отличительный признак этих сталей – содержание углерода в них должно быть около 0.8% (в этом случае в сталях появляются упругие свойства)
- Пружины и рессоры изготавливают из углеродистых (65,70,75,80) и легированных (65С2, 50ХГС, 60С2ХФА, 55ХГР) конструкционных сталей
- Эти стали легируют элементами которые повышают предел упругости кремнием, марганцем, хромом, вольфрамом, ванадием, бором. Например: 60С2 – сталь конструкционная углеродистая рессорно-пружинная с содержанием углерода около 0,65%, кремния около 2%.

Шарикоподшипниковые стали.

- ГОСТ 801-78 маркируют буквами "ШХ", после которых указывают содержание хрома в десятых долях процента.
- Для сталей, подвергнутых электрошлаковому переплаву, буква Ш добавляется также и в конце их наименований через тире. Например: ШХ15, ШХ20СГ, ШХ4-Ш.
- Из них изготавливают детали для подшипников, также их используют для изготовления деталей, работающих в условиях высоких нагрузок. Например: ШХ15 – сталь конструкционная шарикоподшипниковая с содержанием углерода 1%, хрома 1,5%

Автоматные стали.

- ГОСТ 1414-75 начинаются с буквы А (автоматная).
- Если сталь при этом легирована свинцом, то ее наименование начинается с букв АС.
- Для отражения содержания в сталях остальных элементов используются те же правила, что и для легированных конструкционных сталей. Например: А20, А40Г, АС14, АС38ХГМ. Например: АС40 – сталь конструкционная автоматная, с содержанием углерода 0,4%, свинца 0,15-0,3% (в марке не указывается)

Порядок выполнения работы

1. Запишите название работы, ее цель.
2. Запишите основные признаки маркировки всех групп конструкционных сталей (обыкновенного качества, качественных сталей, легированных конструкционных сталей, рессорно-пружинных сталей, шарикоподшипниковых сталей, автоматных сталей), с примерами.



### 3. Задание по вариантам:

Расшифруйте марки сталей и запишите область применения конкретной марки (т.е. для изготовления чего она предназначена)

	Задание для 1 варианта	Задание для 2 варианта
1.	Ст0	Ст3
2.	БСт3Гпс	ВСт3пс
3.	08	10
4.	40	45
5.	18Х2Н4МА	12ХН3А
6.	30ХГСА	38ХМЮА
7.	70	85
8.	55С2А	60С2Х2
9.	50ХФА	55С2
10.	ШХ4-Ш	ШХ20
11.	А40	А11

### Тема 1.3 Цветные металлы и сплавы

#### Практическое занятие №7 Определение вида, химического состава и назначения сплавов цветных металлов по маркировке

##### Цель работы

- научиться различать свойства цветных металлов и сплавов ,
- маркировать их и закрепить умения и навыки через расшифровку марок.

##### Теоретическая часть

Цветные металлы составляют не более 10% всех применяемых в промышленности. Они встречаются реже в природе, труднее добываются и дороже стоят, чем черные. Цветные металлы обладают очень ценными свойствами:

- высокой электро- и теплопроводностью;
- высокой коррозионной стойкостью;
- высокой пластичностью;
- низкой температурой плавления;
- высокой температурой плавления;
- низкой плотностью.

Цветные металлы способны образовывать сплавы, обладающие более высокими свойствами, чем входящие в них элементы. Именно этим объясняется их использование в электро- и радиотехнике, космической технике, самолетостроении , в судостроении и т. д.

Маркировка цветных металлов и их сплавов показывает содержание химических элементов, которые влияют на свойства, в зависимости от которых и применяют их в судостроении. Например: Л070-1- латунь специальная, содержит 70% меди, 1% олова, 29% цинка- применяется в трубных досках теплообменных аппаратов, крепежных деталях турбонасосов; деталях, работающих в морской воде и т. д. БрОЦС8-4-3- бронза оловянная, содержит 8% олова, 4% цинка, 3% свинца и 85% меди- применяют в деталях подогревателей, конденсаторов и холодильников опреснительных установок. 15

#### Порядок выполнения работы

1. Запишите название работы, ее цель.
2. Пользуясь справочными данными расшифровать марки цветных металлов и сплавов и примерное назначение по вариантам:

1 вариант	2 вариант	3 вариант	4 вариант
ЛС59-1 НМцАК2-2-1 А0 МНЖМц30-0,8-1 МЗ	БК2 ВТ3 М00 ЛК80-3Л БрКМц3-1	АВ МА9 МНМц43-0,5 ЛО62-2 БрАЖ9-4	ПОС30 АМг5п ВТ1-00 Л90 ЛМцЖ55-3-1

3. Ответить на контрольные вопросы

#### Контрольные вопросы:

1. Какова роль цветных металлов?
2. Как влияют на свойства меди ее примеси?
3. Как классифицируют медь и ее сплавы?
4. Каковы свойства алюминия и его сплавов?
5. Каковы свойства магния, титана и их сплавов?

### Тема 1.4. Способы обработки материалов

#### **Практическое занятие №8. Выбор способа термообработки стали для конкретных деталей в зависимости от условий эксплуатации**

Цель работы — приобрести навыки в соответствии ПК1.1-ПК1.6; ПК2.1-ПК2.3: выбор марки сплава, режима термической и химико-термической обработки металлов в зависимости от назначения изделий.

Задание: Согласно задания своего варианта:

- 1) изучить условия работы заданной детали и требования, предъявляемые к ней;
- 2) выбрать марку стали для изготовления заданной детали, изучить ее химический состав и механические свойства;
- 3) разработать в зависимости от условий работы детали, необходимый вид и режим термической или химико-термической обработки;
- 4) дать обоснование выбранного вида и режима обработки детали.

№ варианта	№ задачи	№ варианта	№ задачи
------------	----------	------------	----------

1	1,6,15	16	7,14,5
2	2,7,14	17	8,10,3
3	3,8,13	18	9,11,7
4	4,9,12	19	10,5,13
5	5,10,15	20	11,9,1
6	6,12,2	21	12,6,4
7	7,14,5	22	13,10,5
8	8,10,3	23	14,6,9
9	9,11,7	24	15,4,10
10	10,5,13	25	1,6,15
11	11,9,1	26	2,7,14
12	12,6,4	27	3,8,13
13	13,10,5	28	4,9,12
14	14,6,9	29	5,10,15
15	15,4,10	30	3,9,14

### Методические указания

Практическое занятие предусматривает обосновать выбор металла для изготовления заданной детали и выбор вида и режима термической и химико-термической обработки, которая обеспечит надежность детали в условиях эксплуатации, указанных в каждой задаче.

Для решения задачи необходимо прежде всего определить материал, обладающий свойствами, близкими к требуемым. Для этой цели рекомендуется ознакомиться с классификацией, составом и назначением основных материалов, используемых в технике.

Если для улучшения свойств выбранного материала нужны термическая или химико-термическая обработка, то необходимо указать их режимы, получаемую структуру и свойства. При рекомендации режимов обработки необходимо также указать наиболее экономичные и производительные способы. Например, для деталей, изготавливаемых в больших количествах, — обработку с индукционным нагревом, газовую цементацию и др.; для деталей, работающих в условиях переменных нагрузок, например для валов, зубчатых колес многих типов, необходимо рекомендовать обработку, повышающую предел выносливости (в зависимости от рекомендуемой стали к ним относятся цементация, цианирование, азотирование, закалка с индукционным нагревом, обработка дробью).

При решении задач рекомендуется использовать учебные пособия, ГОСТы, справочники.

В помощь учащимся при выполнении практического занятия приведено подробное решение одной типовой задачи.

Задачи по выбору сплавов и режимов термической обработки в зависимости от условий работы деталей и конструкций.

1. Завод изготавливает коленчатые валы диаметром 35 мм; сталь в готовом изделии должна иметь предел прочности не ниже 750 МПа и ударную вязкость не ниже 50 МПа. Кроме того, вал должен обладать повышенной износостойкостью не по всей поверхности, а только в шейках, т. е. в участках, сопряженных с подшипниками и работающих на истирание.

Подберите марку стали, рекомендуйте режим термической обработки всего вала для получения заданных свойств и режим последующей термической обработки, повышающей твердость только в отдельных участках поверхности вала.

Приведите структуру и твердость стали в поверхностном слое шейки вала и структуру и механические свойства в остальных участках.

2. Стаканы цилиндров мощных двигателей внутреннего сгорания должны обладать высоким сопротивлением износу на поверхности. Для повышения износостойкости применяют азотирование.

Подберите сталь, пригодную для азотирования, приведите химический состав, рекомендуйте режим термической обработки и режим азотирования. Укажите твердость поверхностного слоя и механические свойства низлежащих слоев в готовом изделии.

3. Станкостроительный завод изготавливает шпиндели токарных станков. Шпиндели работают с большой скоростью в условиях повышенного износа, поэтому твердость в поверхностном слое должна быть HRC 58—62.

Подберите сталь для изготовления шпинделя, рекомендуйте режим термообработки, обеспечивающий получение заданной твердости в поверхностном слое. Укажите структуру стали в поверхностных слоях и в сердцевине шпинделя, механические свойства сердцевины после окончательной термической обработки.

4. Червяк редукторов диаметром 35 мм можно изготовить из цементируемой и нецементируемой стали. Предел прочности в сердцевине детали должен быть 580—686 МПа.

Выберите марку цементируемой и нецементируемой углеродистой качественной стали. Обоснуйте, в каких случаях целесообразно применять цементируемую и в каких случаях — нецементируемую сталь.

Укажите химический состав, рекомендуемый режим химико-термической и термической обработки и сопоставьте механические свойства стали обоих типов в готовом изделии.

5. Палец шарнира диаметром 30 мм работает на изгиб и срез и должен обладать высокой износостойкостью на поверхности и высокой вязкостью в сердцевине.

Подберите углеродистую сталь, укажите ее состав и марку, рекомендуйте режим химико-термической и термической обработки, укажите структуру, механические свойства в сердцевине и твердость на поверхности после окончательной обработки. Укажите желаемую толщину твердого поверхностного слоя.

6. Выберите марку стали для изготовления топоров. Лезвие топора не должно сминаться или выкрашиваться в процессе работы; поэтому оно должно иметь твердость в пределах HRC 50—55 на высоту не более 30—40 мм; остальная часть топора не подвергается закалке и имеет более низкую твердость.

Укажите химический состав стали, режим термической обработки, обеспечивающий указанную твердость, а также способ закалки, позволяющий получить эту твердость только на лезвии топора.

7. Выберите марку стали для изготовления продольных пил по дереву и укажите режим термической обработки, микроструктуру и твердость готовой пилы.

Режимы термической обработки выберите таким образом, чтобы предупредить деформацию пилы при закалке и отпуске, а также обеспечить получение в стали высоких упругих свойств после отпуска (пила должна спружинить»).

8. Автосцепки вагонов на железнодорожном транспорте изготавливаются литыми. Для повышения механических свойств отливки подвергаются термической обработке.

Выберите марку стали и обоснуйте термическую обработку, если предел прочности должен быть не ниже 343 МПа.

Укажите структуру и механические свойства стали после литья и после термической обработки.

9. Завод изготавливает зубчатые колеса диаметром 60 мм и высотой 80 мм. Предел текучести должен быть не ниже 530—540 МПа.

Выберите сталь для изготовления зубчатых колес и приведите состав и марку, учитывая технологические особенности термической обработки и необходимость предотвратить деформацию и образование трещин при закалке.

Рекомендуйте режим термической обработки и укажите механические свойства в готовом состоянии.

10. Многие измерительные инструменты плоской формы (шаблоны, линейки, штангенциркули) изготавливают из листовой стали; они должны обладать высокой износостойкостью в рабочих кромках. Приведите режимы обработки, обеспечивающей получение этих свойств, если инструменты изготавливают большими партиями из сталей 15 и 20.

11. Выберите марку стали для изготовления рабочих колес центробежного насоса. Рабочие колеса должны обладать высокой коррозионной стойкостью, укажите режим Т. О. и механические свойства колес в готовом состоянии.

12. Выберите марку стали для изготовления гаечного ключа и укажите режим термообработки и твердость готового ключа. Ключ не должен сминаться или выкрещиваться в процессе работы, а это возможно если твердость ключа будет HRC 40/50.

13. Выберите марку сплава из цветных металлов для изготовления поршней авиационных двигателей.

Укажите механические свойства, химический состав данного сплава, учитывая требования к условиям работы (высокая вязкость и прочность). Обоснуйте свой выбор.

14. Выберите марку стали для изготовления рессор железнодорожного вагона и укажите режим Т. О. и твердость готовых рессор.

Режимы Т. О. выберите таким образом, чтобы предупредить : деформацию рессор, а также обеспечить получение в стали упругих свойств.

15. Выберите марку стали для изготовления червячного вала редуктора. Вал должен обладать высокой жесткостью и прочностью. Укажите режим Т. О. и механические свойства валов в готовом состоянии.

*Пример решения типовой задачи по выбору сплавов и режимов термообработки*

Задача. Завод имеет сталь двух марок: 45 и 20ХНЗА, из которых можно изготовить вал диаметром 70 мм для работы с большими нагрузками. Какую из сталей следует применить для изготовления вала, если сталь должна иметь предел текучести не ниже 740 МПа?

Решение. Химический состав стали, %

Сталь	С	Мп	* Si	Cr	Ni	S	P
Сталь 45	0,42-0,50	0,50—0,80	0,17-0,37	0,25	0,25	0,045	0,040-
20ХНЗА	0,17—0,23	0,3 —0,6	0,17—0,37	0,6-0,9	2,75- 3,15	0,025	0,025

Сталь 45 согласно ГОСТу в состоянии поставки (после прокатки и отжига) имеет твердость не более НВ 207. При твердости НВ 190—200 сталь имеет предел прочности не выше 588—608 МПа. Предел текучести стали 45 не превышает 265—314 МПа.

Сталь 20ХНЗА согласно ГОСТу в состоянии поставки (после прокатки и отжига) имеет твердость не более НВ 250. Предел прочности не превышает 735 МПа и может быть ниже 588 МПа для плавок с более низкой твердостью. Предел текучести стали не превышает 343— 392 МПа.

Таким образом, для получения заданного предела текучести вал необходимо подвергнуть термической обработке.

Для такого ответственного изделия, как вал двигателя, поломки которого нарушают работу машины, необходимо применить сталь качественную. Сталь 45 относится к классу качественной углеродистой, а сталь 20ХНЗА — к классу высококачественной легированной. Они содержат соответственно 0,42—0,50 и 0,17—0,23% углерода и принимают закалку. Для повышения прочности можно принимать нормализацию или закалку с высоким отпуском.

Так как вал двигателя воспринимает в работе динамические нагрузки, а также вибрацию, более целесообразно применить закалку и отпуск.

После закалки в воде углеродистая сталь 45 получает структуру мартенсита. Однако вследствие небольшой прокаливаемости углеродистой стали эта структура в изделиях диаметром более 20—25 мм образуется только в сравнительно тонком поверхностном слое толщиной 2—4 мм. Последующий отпуск вызовет превращение мартенсита и троостита в сорбит только в поверхностном слое, но не влияет на структуру и свойства перлита и феррита в основной массе изделия. Сорбит отпуска обладает более высокими механическими свойствами, чем феррит и перлит.

Наибольшие напряжения от изгиба, кручения и повторно переменных нагрузок воспринимают наружные слои. Однако в сопротивлении динамическим нагрузкам, которые воспринимает вал, участвуют не только поверхностные, но и нижележащие слои металла.

Сталь 20ХНЗА легирована никелем и хромом для повышения прокаливаемости и закаливаемости. Она получает после закалки однородную структуру и механические свойства в сечении диаметром до 75мм.

Таким образом, свойствами, которые обеспечат требования для изготовления вала диаметром 70мм для работы с большими нагрузками, обладает сталь 20ХНЗА, которую необходимо применять для изготовления валов с соответствующей термодинамической обработкой( закалка с 820-835 град. в масле и отпуск 520-530 град. в масле)

Контрольные вопросы:

1. Дать определение стали
2. Перечислить основные компоненты стали, примеси.
3. Классификация углеродистых сталей по назначению.
4. Расшифровать марки сталей: У8А, ВСтЗкп, 65, А20
5. Дать определение закалки
6. Назначение закалки.
7. Виды отпуска
8. Поверхностное упрочнение стали, виды.

### Практическое занятие №9. Выбор марки легированной стали для конкретных деталей в зависимости от условий эксплуатации

Цель работы — приобрести навыки в соответствии с ПК1.1-ПК1.6;ПК2.1-ПК2.3: работа со справочной литературой по выбору легированной стали для деталей в зависимости от условий работы.

Задание: Согласно задания своего варианта:

- 1) изучить условия работы по заданной детали или инструмента и требования, предъявляемые к ней;
- 2) выбрать марку легированной стали для изготовления детали или инструмента, изучить ее химический состав и механические свойства;
- 3) дать обоснование выбора материала для заданной детали или инструмента;
- 4) составить отчет о практическом занятии.

№ варианта	№ задачи	№ варианта	№ задачи
1	1,6,15	16	7,14,5
2	2,7,14	17	8,10,3
3	3,8,13	18	9,11,7
4	4,9,12	19	10,5,13
5	5,10,15	20	11,9,1
6	6,12,2	21	12,6,4
7	7,14,5	22	13,10,5
8	8,10,3	23	14,6,9
9	9,11,7	24	15,4,10
10	10,5,13	25	1,6,15
11	11,9,1	26	2,7,14
12	12,6,4	27	3,8,13
13	13,10,5	28	4,9,12
14	14,6,9	29	5,10,15

15	15,4,10	30	3,9,14
----	---------	----	--------

### Методические указания

Легированные стали после термической обработки (закалки и отпуска) обладают лучшими механическими свойствами, которые сравнительно мало отличаются от механических свойств углеродистой стали в изделиях малых сечений, а в изделиях крупных сечений (Диаметром свыше 15—20 мм) механические свойства легированных сталей значительно выше, чем углеродистых. Особенно сильно повышаются предел текучести, относительное сужение и удельная вязкость. Это объясняется тем, что легированные стали обладают меньшей критической скоростью закалки, а следовательно, лучшей прокаливаемостью. Из-за большей прокаливаемости и меньшей критической скорости закалки замена углеродистой стали легированной позволяет производить закалку деталей в менее резких охладителях (масло, воздух), что уменьшает деформации изделий и опасность образования трещин. Поэтому легированные стали применяют не только для крупных изделий, но и для изделий небольшого сечения, имеющих сложную форму. Чем выше в стали концентрация легирующих элементов, тем выше ее прокаливаемость.

Инструментальные стали, как имеющие высокие твердость, износостойкость и прочность, используют для режущих инструментов, штампов холодного и горячего деформирования, измерительных инструментов, различных размеров и форм.

Для характеристики и выбора инструментальных сталей следует учитывать прежде всего главное свойство этих сталей — теплостойкость, поскольку рабочая кромка инструментов в зависимости от условий эксплуатации может нагреваться до температуры 500—700°С у режущих инструментов и до 800°С — у штампов.

Стали для резания или горячего деформирования должны сохранять при нагреве высокие твердость, прочность и износостойкость, т. е. обладать теплостойкостью (красностойкостью). Это свойство создается легированием и термической обработкой. В связи с этим стали различают:

- нетеплостойкие, сохраняющие высокую твердость (HRC 60) при нагреве не выше 190—225°С и используемые для резания мягких металлов с небольшой скоростью, а также для деформирования в холодном состоянии. Это углеродистые и легированные стали (с относительно невысоким содержанием легирующих элементов). Карбидная фаза их — цемент;
- полутеплостойкие, преимущественно штамповые, рабочая кромка которых нагревается до 400—500°С. Это стали, легированные хромом и дополнительно вольфрамом, молибденом и ванадием. Карбидные фазы — легированный цементит и карбид хрома;
- теплостойкие для резания с повышенной скоростью. Нагрев рабочей кромки до 500—650°С (быстрорежущие стали); штамповка стали при повышенном нагреве до 600—800°С. Основная карбидная фаза — карбид вольфрама (молибдена). Твердость HRC 60—62 у быстрорежущих сталей после нагрева до 600—680°С и HRC 45—52 у штамповых — 650—700°С.

При решении задач рекомендуется использовать учебные пособия, ГОСТы, справочники.



Для получения навыков в выборе легированной стали в зависимости от условий их работы приводится примерное решение задачи.

Задачи по выбору марки легированной стали в зависимости от условий их работы

1. Щеки и шары машин для дробления руды и камней работают в условиях повышенного износа, сопровождаемого ударами.

Подберите сталь для изготовления щек и шаров, укажите ее химический состав и свойства.

2. Лопатки реактивных и турбореактивных двигателей работают в окислительной среде при высоких температурах (800—900°C). Металл должен обладать повышенной коррозионной стойкостью и прочностью при указанной температуре.

Подберите металл и сплав, укажите его состав и свойства.

3. Рессоры грузового автомобиля изготавливают из качественной легированной стали; толщина рессоры до 10 мм. Сталь должна обладать высокими пределами прочности, выносливости и упругости.

Подберите сталь, укажите ее состав и свойства в зависимости от термической обработки.

4. Сталь, применяемая для пароперегревателей котлов высокого давления, должна сохранять повышенные механические свойства при длительных нагрузках при температурах 500°C и иметь достаточно высокую пластичность для возможности выполнения холодной деформации (гибки, завальцовки и т.п.) при сборке котла

Подберите сталь, укажите ее состав и механические свойства при комнатной и повышенной температурах.

5. Детали приборов и оборудования, которые устанавливают на морских судах, должны быть устойчивыми не только против действия воды, водяных паров и атмосферы воздуха, но и более сильного корродирующего действия морской воды.

Подберите сталь, укажите химический состав и механические свойства.

6. Крупные пневматические долота, применяемые при разработке горных пород, обладают относительно высокой твердостью и износостойкостью, но вместе с тем должны иметь достаточную вязкость, так как они испытывают в работе ударные нагрузки.

Подберите легированную сталь, укажите химический состав и режим термической обработки.

7. Завод выполняет токарную обработку чугуновых и стальных деталей с большой скоростью резания.

Выберите сплавы для резцов, обеспечивающие высокую производительность обработки стали и чугуна.

Приведите химический состав, структуру, твердость, прочность и теплостойкость и способ изготовления этих сплавов и сравните их с аналогичными характеристиками быстрорежущей стали.

8. Подберите сталь для червячных фрез, обрабатывающих конструкционные стали твердостью НВ 230.

Объясните причины, по которым для этого назначения нецелесообразно использовать углеродистую инструментальную сталь У12 с высокой твердостью (HRC 63-64)

Укажите режимы термической обработки фрез из выбранной легированной стали.

9. Получение заготовок горячей деформации является производительным способом обработки.

Выберите марку стали для изготовления крупного молотового штампа; рекомендуйте режим термической обработки штампа, укажите микроструктуру и механические свойства после отпуска.

Объясните, почему подобные штампы не следует изготавливать из углеродистой стали.

10. Пружины приборов при нагреве даже в области критических температур могут изменять свои характеристики в связи с изменением модуля упругости. Это снижает точность работы приборов.

Подберите сталь для изготовления пружин, модуль упругости которого не изменяется при температурах до -220С.

Укажите режим упрочнения стали.

11. Выберите марку стали для изготовления насосно-компрессорных труб. Металл должен обладать коррозионной стойкостью, прочностью.

Укажите его состав и механические свойства.

12. Выбрать сталь для изготовления рабочих колес центробежного насоса.

Указать механические свойства и обосновать выбор.

13. Выбрать сталь для изготовления пружин, работающих в агрессивной среде.

Указать механические свойства, обосновать выбор данной марки.

14. Выбрать сталь для изготовления хирургического скальпеля.

Указать механические свойства, химический состав и обосновать выбор.

15. Выберите марку стали для изготовления кулачковой муфты. Кулачки, муфты должны обладать высокой твердостью, износостойкостью поверхностей и общей прочностью.

Указать механические свойства, химический состав выбранной марки, дать обосновани

*Пример решения типовой задачи по выбору марки легированной стали*

**З а д а ч а.** Подберите легированную инструментальную сталь повышенной теплостойкости, пригодную для решения жаропрочных сталей, уважите ее марку и химический состав, термическую обработку и микро-структуру в готовом инструменте. Сопоставьте теплостойкость стали P12 и выбранной стали.

Решение. При резании сталей и сплавов с аустенитной структурой (нержавеющих, жаропрочных и др.), получающих все более широкое применение в промышленности, стойкость инструментов и предельная скорость резания могут сильно снижаться по сравнению с получаемыми при резании обычных конструкционных сталей и чугунов с относительно невысокой твердостью (до HB 220—250). Это связано главным образом с тем, что теплопроводность аустенитных сплавов пониженная.

Вследствие этого теплота, выделяющаяся при резании, лишь в небольшой степени поглощается сходящей стружкой и деталью и в основном воспринимается режущей кромкой. Кроме того, эти сплавы сильно упрочняются под режущей кромкой в процессе резания, из-за чего заметно возрастают усилия резания.

Для резания подобных материалов, называемых труднообрабатываемые, малопригодны быстрорежущие стали умеренной теплостойкости типа P12, сохраняющие высокую твердость (HRC 60) и мартенситную структуру после нагрева не выше 615—620 °C.

Химический состав сталей, %

Марка стали	C	Mn	Si	Cr	W	Mo	V	Co
P18	0,85	0,3	0,3	3,6	12,5	1	1,7	-
P12Ф4К5	1,3	0,3	0,3	3,8	12,5	1	3,5	5,5
P8МЗК6С	1,1	0,9	0,3	3,8	8	3,6	1,7	6

Для обработки аустенитных сплавов необходимо выбирать быстрорежущие стали повышенной теплостойкости, а именно кобальтовые стали сохраняют твердость HRC 60 после более высокого нагрева до 640—645 °C.

Кроме того, кобальт заметно повышает теплостойкость быстрорежущей стали, а следовательно, снижает температуру режущей кромки из-за лучшего отвода тепла в тело инструмента. Стали с кобальтом имеют высокую твердость — до 68.

Для сверл и фрез, применяемых для резания аустенитных сплавов, рекомендуются кобальтовые сплавы марок P12Ф4К5 или P8МЗК6С.

Термическая обработка кобальтовых сталей принципиально не отличается от обработки других быстрорежущих сталей.

Закалка до 1240-1250 °C (P13Ф4К5) и 1210-1220 °C (P8МЗК6С), что необходимо для растворения большого количества карбидов и насыщения аустенита (мартенсита) легирующими элементами.

Более высокий нагрев недопустим: он вызывает рост зерна, что снижает прочность и вязкость. Структура после закалки: мартенсит, остаточный аустенит (15-30%) и избыточные карбиды, не растворяющиеся при нагреве и задерживающие рост зерна. Твердость HRC 60-62.

Затем инструменты отпускают при 550-560 °C ( 3 раза по 60 минут). Отпуск:

а) вызывает выделение дисперсных карбидов мартенсита, что повышает твердость до HRC66-69

б) превращает мягкую составляющую- остаточный аустенит в мартенсит

в) снимает напряжения, вызываемые мартенситным превращением.

После отпуска инструмент шлифуют, а затем подвергают цианированию, чаще всего жидкому с выдержкой 15-30 минут в зависимости от сечения инструмента.

Твердость цианирования слоя на глубину 0,02-0,03мм достигает HRC69-70. Цианирование повышает стойкость инструмента на 50-80%.

После цианирования возможен кратковременный нагрев при 450-500°C с охлаждением в масле, поверхность инструмента приобретает синий цвет и несколько улучшает стойкость против воздушной коррозии.

#### Контрольные вопросы:

1. Легированные стали, Дать определение.
2. Влияние легирующих элементов на свойства стали.
3. Классификация легированных сталей по назначению.
4. Расшифровать марки сталей: Р6М5Ф2К8, 12Х18Н12Т, ШХ20СГ, 50ХГФА, Н18К9М5Т
5. Особенности термической обработки легированных сталей.
6. Прокаливаемость. Дать определение.
7. Закаливаемость. Дать определение.

### **Тема 1.5. Защита металлов от коррозии**

#### **Практическое занятие №10. Изучение методов борьбы с коррозией**

Цель работы: Исследование химической и электрохимической коррозии металлов, влияния различных факторов на ее протекание и изучение методов защиты от коррозии.

#### Теоретические сведения

##### *Коррозия и ее значение*

Коррозия – это процесс изменения поверхности металла под действием окружающей его среды (воздуха, влаги, растворов, электролитов или неэлектролитов).

Коррозия металлов – это химический процесс окисления, в результате чего металлы из чистого состояния переходят в соединения. Продуктами коррозии могут быть оксиды, сульфиды, карбонаты, сульфаты и т.д., которые обладают существенно иными физическими свойствами. А ведь именно физические свойства металлов, такие как твердость, упругость, пластичность, электропроводность, магнитные свойства и т. д. делают металлы пригодными для использования в качестве конструкционных материалов для изготовления орудий труда, машин, предметов обихода. Таким образом, следует вывод, что коррозия разрушает металлические предметы.

Больше всего от коррозии страдают железо, и его сплавы. Более 25% всей продукции черной металлургии идет на то, чтобы возместить ущерб, нанесенный коррозией. Также велики потери и других металлов (цветных) – ежегодно около 10% всего производства

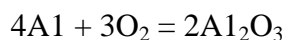
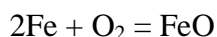
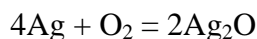
металлов тратится на их возмещение. Поэтому защита металлов от коррозии – сложная, но очень важная задача. Для успешной борьбы с коррозией необходимо знать причины ее возникновения, механизм протекания, факторы, стимулирующие и замедляющие коррозию.

Итак, коррозия – это результат окисления металлов. Причиной этого процесса является большая химическая активность металлов (химическое сродство) по отношению к кислороду и другим неметаллическим элементам (сере, фосфору, хлору и др.) Это свидетельствует о том, что свободная энергия Гиббса ( $\Delta G$ ) соединений металлов меньше, чем у элементов металлов и неметаллов в элементарном состоянии. Таким образом, движущей силой коррозии является уменьшение энергии Гиббса системы ( $\Delta G < 0$ ) при переходе металла в окисленное состояние (оксиды, гидроксиды, соли). Например, при образовании  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  из элементов свободная энергия уменьшается на 740 кДж/моль,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – на 1576 кДж/моль. Следовательно, в большинстве случаев состояние металлов в виде оксидов более стабильное, чем чисто металлическое состояние.

### *Типы коррозии*

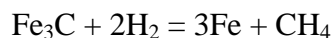
По механизму протекания процесса коррозии различают химическую и электрохимическую коррозию.

*Химическая коррозия* – это окисление металла, которое не сопровождается возникновением электрического тока в системе (коррозия в сухих агрессивных газах, в жидких неэлектролитах, таких, как нефть, масла, органические растворители). Например:



Если образуется хорошо пристающая к поверхности сплошная пленка, то доступ кислорода к металлу затрудняется – коррозия замедляется, а потом прекращается совсем ( $\text{Ag}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Пористая, плохо пристающая пленка не обеспечивает защиты от коррозии ( $\text{FeO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ).

Стальные изделия могут корродировать не только в среде окислителя, но и под воздействием восстановителя. При нагревании стали до нескольких сот градусов в атмосфере водорода при высоком давлении  $\text{H}_2$  будет диффундировать в сталь и соединяться с углеродом стали:



Кроме того, водород будет частично растворяться в железе, делая его более жестким и хрупким. Все это приводит к уменьшению первоначальной прочности и упругости, в конечном итоге к разрушению.

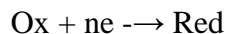
*Электрохимическая коррозия* – это процесс, сопровождающийся возникновением в системе электрического тока. Эта коррозия обычно происходит на поверхности, соприкасающейся с электропроводной жидкостью.

Вследствие неоднородности металлической поверхности, наличия примесей в металле, неоднородности сплава по составу и структуре и прочих факторов, при контакте с каким – либо электролитом, или даже с водой, возникают микрогальванические элементы. Те участки поверхности металла, которые имеют более отрицательный электродный потенциал, являются

анодными участками, а с более положительным потенциалом – катодными . Окисление основного металлического изделия происходит на анодных участках:



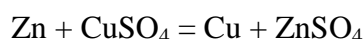
а на катодных – восстановление окислителя:



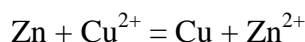
где Ox – окислитель; Red – образовавшийся восстановитель.

Для понимания основных явлений электрохимической коррозии рассмотрим один из ее случаев.

Опустим цинковую пластинку (или стержень) в раствор сульфата меди. Цинк будет растворяться, замещаясь медью:

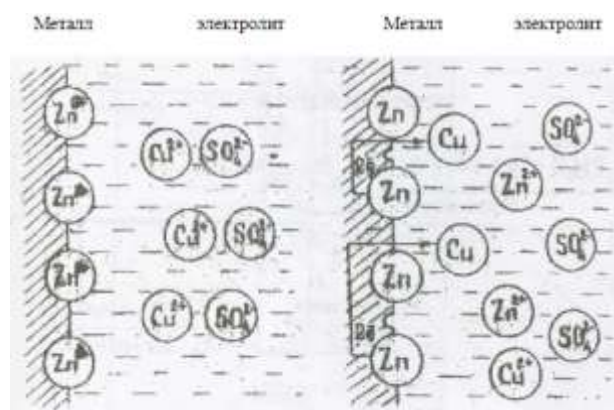


или



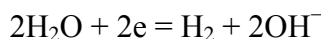
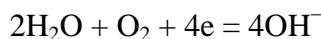
В рассмотренном процессе коррозия цинка вызывается сульфатом меди. Электроны переходят от атомов цинка к ионам меди, восстанавливая их до микроскопически маленьких кристалликов, прилипающих к поверхности цинка (см. рис. 1).

Рис . 1. Коррозия цинка в растворе сульфата меди. а – перед коррозией; б – после начала коррозии



Таким образом, атомы цинка, окисляясь, переходят в раствор, т.е. происходит коррозия металла: цинковая пластина (либо стержень) все более разъедается и, в конце концов, может полностью разрушиться (раствориться). Подобный процесс доходит до конца, если металл соприкасается с раствором ионов более благородного металла, т.е. металла имеющего более положительное значение электродного потенциала.

Часто в процессе коррозии за катодные реакции отвечают вода и растворенный в ней кислород (O<sub>2</sub>) – они присоединяют электроны, образуя, OH<sup>-</sup> - групп :



Иногда катодный процесс обусловлен восстановлением ионов водорода:



Рассмотрим случай, когда с электролитом соприкасаются одновременно два металла, например, на железной трубе или железном резервуаре имеются медные детали.

В этом случае образуется гальванический элемент:



При образовании такого элемента атомы железа, окисляясь, переходят в раствор в виде ионов  $\text{Fe}^{2+}$ , а электроны железа идут на образование на поверхности меди гидроксид - ионов (рис.2):

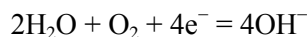
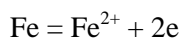
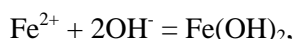


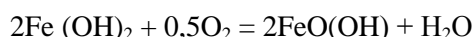
Рис . 2. Коррозия, возникающая вследствие образования гальванического элемента при соприкосновении железа и меди

Таким образом, железо играет роль анода, а медь – катода. Ионы  $\text{Fe}^{2+}$  диффундируют вглубь раствора и образуют гидроксид



который в виде пористого осадка выделяется на катоде.

Так как электролит содержит растворенный кислород, то  $\text{Fe}^{2+}$  окисляется до  $\text{Fe}^{3+}$ .

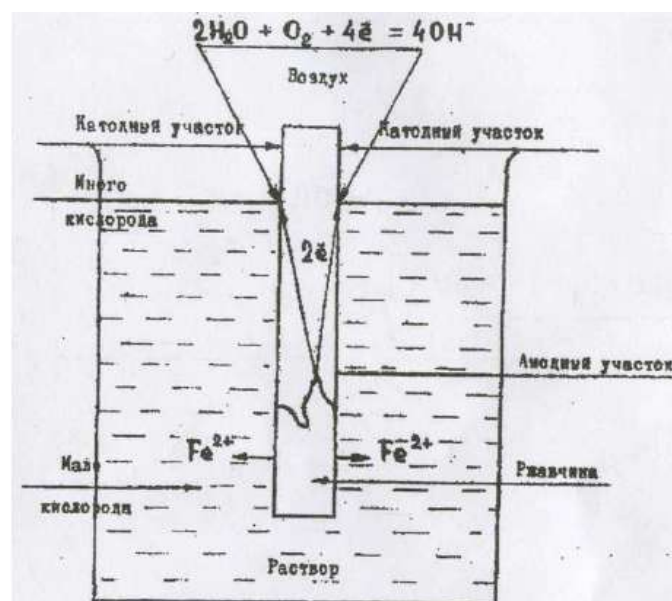
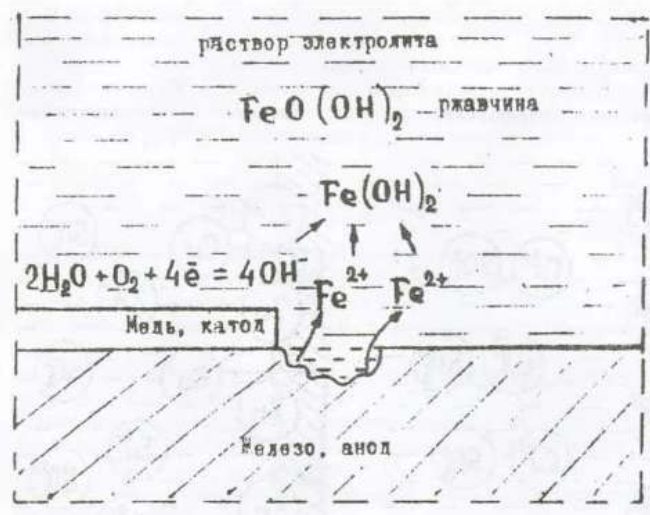


Образовавшаяся так называемая ржавчина  $\text{FeO}(\text{OH})$  представляет собой рыхлый, пористый осадок, который слабо сцеплен с поверхностью металла и не препятствует дальнейшему функционированию гальванического элемента и, следовательно, коррозии металлического изделия.

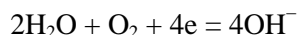
Такой механизм коррозии имеет место в тех случаях, когда электролит не содержит анионы, способные образовать с  $\text{Fe}^{2+}$  на поверхности защитную пленку из нерастворимого соединения. Гальваническая пара возникает не только при соприкосновении двух металлов с различными значениями электродных потенциалов, но и в тех случаях, когда происходит повреждение защитной пленки, например, оксидной.

Механизм коррозии аналогичен рассмотренному выше (см. также рис . 2). В этом случае роль катода играет неповрежденный участок защитной пленки, а анода – металл. Явление коррозии часто бывает весьма удивительным и на первый взгляд непонятным. Например, если в сосуд с водой или раствором соли опустить железную пластинку, то ржаветь начнет тот участок металла, который погружен в воду. Та же часть пластины, которая находится над поверхностью воды и хорошо снабжена кислородом воздуха, не корродирует (рис. 3).

Рис . 3. Коррозия железа, погруженного в воду (или раствор какой-либо соли)



Это объясняется следующим образом. Железо при окислении быстро поглощает растворенный в воде (или растворе) кислород. Соприкасающаяся с воздухом поверхность воды (раствора) довольно хорошо снабжена кислородом из окружающего воздуха, что вызывает катодную реакцию на поверхности воды:



А в глубине воды железо разрушается:  $\text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}$

Образующиеся  $\text{OH}^-$  - ионы диффундируют внутрь раствора. При взаимодействии с  $\text{Fe}^{2+}$  они образуют  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , который под действием  $\text{O}_2$  переходит в  $\text{FeO}(\text{OH})$ , т.е. в ржавчину.

### Защита от коррозии

Сущность защиты от коррозии состоит в том, чтобы отделить (оградить) металл от воздействия окружающей среды. Хорошее надежное защитное покрытие должно удовлетворять многим требованиям. Это способность противостоять химическому воздействию окружающей среды. Покрытие должно быть сплошным, хорошо держаться на металлической основе, как в стационарном состоянии, так и при нагрузках в процессе эксплуатации (изгибах, сотрясениях, изменениях температуры и т.д.).

Различают химические покрытия: *оксидные* –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , *фосфатные* – пленки ( $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ ), *боридные* – ( $\text{Fe}_2\text{B}$ ,  $\text{NiB}$ ,  $\text{CrB}$ ), *нитридные* – ( $\text{AlN}$ ,  $\text{Fe}_2\text{N}_3$ ), *металлические* – ( $\text{Cr}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Sn}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Pt}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Pd}$ ,  $\text{Rh}$ ), *неметаллические* – краски, лаки, эмали.

Металлические защитные покрытия могут быть анодные и катодные. Анодные покрытия – это такие, которые имеют более отрицательный электродный потенциал, чем потенциал защищаемого металла. Например, цинковое покрытие на железе:

$$E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}}^0 = -0,763\text{В}; \quad E_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}}^0 = -0,44\text{В}$$

При нарушении такого покрытия железо не корродирует, так как оно является катодом в образовавшейся гальванической паре.



Катодное покрытие – это такое, которое имеет в данной среде более положительный электродный потенциал, чем потенциал основного металла. Например, никель (олово или медь) на железе. При нарушении покрытия возникает гальванический элемент, в котором защищаемый металл становится анодом, а покрытие катодом:



В данном случае корродирует основной металл – железо. Большое значение приобретают в последние годы так называемые ингибиторы (замедлители) коррозии. Это вещества, которые, адсорбируясь на поверхности металла, влияют на электродные процессы микрогальванических пар, обуславливающих электрохимическую коррозию, тормозя их дальнейшее действие. Либо вследствие окисляющего воздействия образуют на поверхности плотную оксидную пленку.

Защитить металл можно также, связывая его проводником с другим металлом, корродирующим более сильно, т.е. имеющим более отрицательное значение электродного потенциала. Эти два металла, соединенные между собой, представляют гальваническую пару,



катодом которой является железо (сталь), а анодом – магний, который называется протектором, а сам процесс защиты – протекторной защитой.

### Контрольные вопросы

Какой процесс называется коррозией металлов ?

В чем сущность химической и электрохимической коррозии ?

Какие покрытия называются катодными и анодными ?

Почему химически чистые металлы более коррозионно устойчивы, чем технические ?

Какая часть корабля в большей степени подвергается коррозии: над - водная, или та, которая погружена в воду? Почему ?

Почему нарушение катодного покрытия более опасно, чем анодного?

Какие вещества называются ингибиторами коррозии ?

Каков принцип их действия ?

На каких участках поверхности металла легче протекает анодный процесс, на каких – катодный? Ответы подтвердите конкретными примерами.

### **Тема 1.6. Методы исследований и испытаний материалов**

#### **Практическое занятие №11. Определение твердости металла по методу Бринелля**

Цель работы - практическое освоение измерения твердости стали по методу Бринелля

#### Теоретические сведения

Твердость можно определить как механическое свойство металла сопротивляться местной пластической деформации под воздействием другого более твердого тела.

Твердость измеряют при помощи воздействия на поверхность наконечника, изготовленного из малодеформируемого материала (закаленная сталь, алмаз или твердый сплав) и имеющего форму шарика, конуса или пирамиды.

При испытании металлов значения твердости определяют значительно чаще, чем другие механические свойства. Это объясняется следующими преимуществами, которые имеет метод измерения твердости:

- 1) Измерение твердости не влечет за собой разрушения испытываемой детали;
- 2) Измерение твердости выполняется быстро на твердомере Бринелля за 1-3 мин;
- 3) Измерение твердости по технике выполнения значительно проще, чем определение предела прочности.

Знание твердости стали по Бринеллю позволяет провести ориентировочную оценку ее прочностных показателей: предела прочности в  $\sigma_{01}$  и предела текучести  $\sigma_{02}$ . Так, для горячекатаной стали:

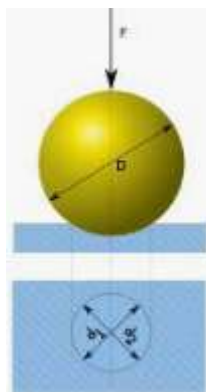
$$\sigma_s = 0,33HB \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2} (\text{кН} / \text{см}^2)$$

$$\sigma_{02} = 0,20HB \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2} (\text{кН} / \text{см}^2)$$

Такая зависимость объясняется тем, что твердость по Бринеллю и прочность есть сопротивление пластической деформации, т.е. природа этих деформаций одна и та же.

## ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ НА ТВЕРДОМЕРЕ БРИНЕЛЛЯ (ГОСТ9012-59)

Измерение твердости по Бринеллю состоит в том, что в испытываемый металл под определенной нагрузкой  $P$  вдавливается стальной закаленный шарик диаметром  $D$ , и по величине диаметра  $d$ , полученного отпечатка, судят о твердости металла (рис.1).



Число твердости по Бринеллю определяется отношением нагрузки, действующей на шарик, к поверхности полученного отпечатка, т.е.

$$HB = \frac{P}{F} \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$$

Однако, определять каждый раз площадь полученного отпечатка довольно трудоемко, поэтому на практике пользуются таблицами, указывающими число твердости  $HB$  в зависимости от диаметра отпечатка  $d$ , с учетом прикладываемой нагрузки  $P$  и диаметра  $D$  вдавливаемого шарика.

Диаметр  $D$  вдавливаемого шарика берется в зависимости от толщины  $h$  испытываемого образца: при:  $h > 6 \text{ мм}$   $D = 10 \text{ мм}$

$$h = 3 - 6 \text{ мм} \quad D = 5 \text{ мм}$$

$$h < 3 \text{ мм} \quad D = 2,5 \text{ мм}$$

Соотношение между нагрузкой  $P$  и диаметром шарика  $D$  берется в зависимости от испытываемого материала.

Для стали и чугуна  $P = 30D^2 \text{ кгс}$

Для меди и ее сплавов  $P = 10D^2 \text{ кгс}$

Для алюминия и его сплавов  $P = 2,5D^2 \text{ кгс}$

Например, чтобы определить твердость стального листа толщиной 8 мм необходимо взять шарик  $D = 10 \text{ мм}$ , а нагрузку:  $P = 30 \cdot 10^2 = 3000 \text{ кгс}$ .

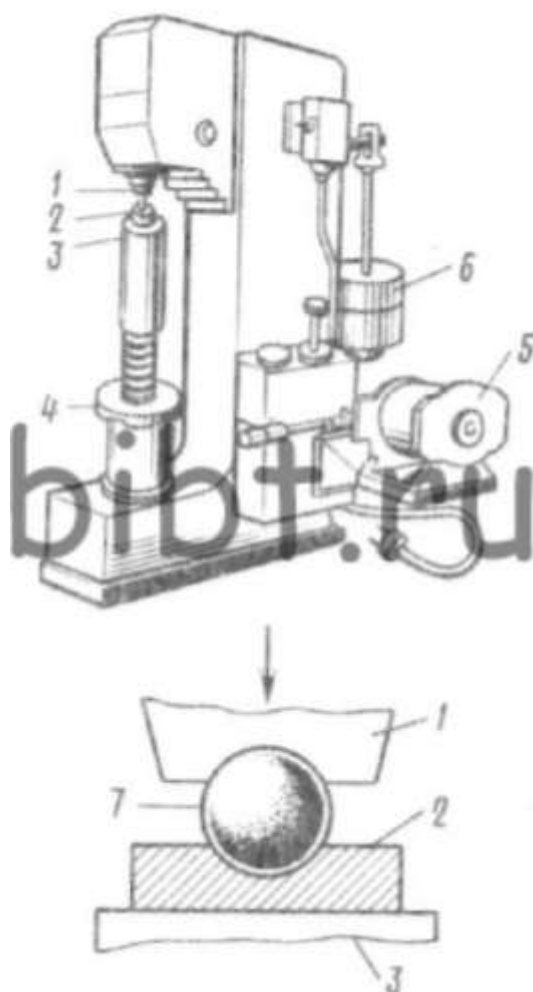
Немаловажным фактором, влияющим на полученный результат, является время выдержки образца под нагрузкой. Для стали и чугуна выдержка образца под нагрузкой берется 10 – 15 с, для цветных металлов 30 с.

Твердость по Бринеллю обозначают символом НВ, которому предшествует числовое значение твердости из трех значащих цифр, и после символа указывают диаметр шарика, значение приложенного усилия (в кгс), продолжительность выдержки, если она отличается от 10 до 15 с.

Примеры обозначения: 250НВ5/750—твердость по Бринеллю 250, определенная при применении стального шарика диаметром 5 мм, при усилии 750 кгс и продолжительности выдержки от 10 до 15 с.

При определении твердости стальным шариком диаметром 10 мм при усилии 3000 кгс и продолжительностью выдержки от 10 до 15с твердость по Бринеллю обозначают только числовым значением твердости и символом НВ: например 185НВ.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛА НА СТАЦИОНАРНОМ ТВЕРДОМЕРЕ ТИПА ТШ ПО МЕТОДУ БРИНЕЛЛЯ (рис.2)



1. Перед началом испытания в соответствии с ГОСТом устанавливают нагрузку  $P$ , диаметр шарика  $D$ , время выдержки образца под нагрузкой. Подбором грузов 2, можно установить следующие нагрузки: 3000 кгс, 1000кгс, 750 кгс, 500 кгс, 250 кгс, 187,5 кгс.

2. Испытываемый образец 1 помещается на столике 3 и при помощи винта 4, приводимого в движение маховиком 5, поджимается в шарик 2 до упора 6, создавая этим предварительную нагрузку в 100 кгс.

3. Нажатием кнопки 7 включить твердомер. Время выдержки образца под нагрузкой контролирует реле времени 8.

4. После автоматического отключения твердомера вращением маховика 5 в обратную сторону опускают столик 3 и снимают с него испытываемый образец.

5. С помощью специальной лупы измеряют на образце диаметр отпечатка  $d$  в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Значение диаметра отпечатка  $d$  принимается как среднее арифметическое от указанных двух измерений.

6. По измеренному диаметру отпечатка  $d$ , установленной нагрузке  $P$  и диаметру шарика  $D$ , пользуясь таблицей ГОСТа 9012-59, определяют твердость НВ испытываемого материала.

При измерении твердости по Бринеллю необходимо помнить:

1. Можно испытывать материалы с твердостью не более НВ 4500 МПа, так как при большей твердости образца происходит недопустимая деформация самого шарика.

2. Во избежание продавливания минимальная толщина образца должна быть не менее десятикратной глубины отпечатка.

3. Расстояние между центрами двух соседних отпечатков должно быть не менее четырех диаметров отпечатка.

4. Расстояние от центра отпечатка до боковой поверхности образца должно быть не менее  $2,5 d$ . Измерение твердости необходимо производить при постоянном отношении что обеспечивает выполнение условия подобия отпечатков, а диаметр отпечатка должен находиться в пределах  $0,2D < d$

#### Протокол испытаний при измерении твердости по методу Бринелля

Номер испытания	Толщина бросания, м	Тип индентора	Диаметр индентора $D$ , мм	Нагрузка $P$ , Н (кгс)	Диаметр отпечатка $d$ , мм	Твердость по Бринеллю НВ, МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )

#### Задание

Изучив теоретический материал, ответить на контрольные вопросы и задания

#### Контрольные вопросы и задания

1. Что такое твердость?
2. Какие методы применяются для определения твердости материала?
3. Укажите обозначение и единицу измерения твердости
4. В чем заключается метод определения твердости по Бринеллю?:
5. Привести в соответствие рисунок 2 и методику определения твердости металла на твердомере ТШ

## Практическое занятие №12. Определение ударной вязкости материалов

### Цель работы:

1. Изучить устройство маятникового копра и его работу.
2. Изучить методику определения ударной вязкости.
3. Ознакомиться с методикой исследования склонности металлов к хладноломкости.
4. Исследовать влияние условий нагружения на механизм пластической деформации и характер разрушения малоуглеродистой стали.

### Теоретические сведения

При обработке металлов, при эксплуатации металлических деталей и изделий могут иметь место процессы пластической деформации, протекающие с различной скоростью. Одни детали или изделия могут деформироваться в течение ряда лет, другие – за малые доли секунды.

Процесс пластической деформации можно характеризовать скоростью деформации

$$V_d = \frac{de}{dt}, \text{ где}$$

$V_d$  – скорость деформации,

$e$  – истинная деформация

$t$  – время.

Таким образом размерность скорости деформации – 1/сек.

Практически встречаются скорости деформации от 10<sup>-10</sup> 1/сек до 10<sup>5</sup> 1/сек (при взрывных процессах).

Скорость деформации при статических механических испытаниях как правило находится в пределах 10<sup>-4</sup>÷10<sup>-2</sup> 1/сек. Динамические испытания обычно проводятся со скоростью деформации порядка 10<sup>2</sup> 1/сек, т.е. при динамических испытаниях скорость деформации больше, чем при статических примерно в 10<sup>5</sup> раз.

При изменении скорости деформации меняется поведение дефектов кристаллической решетки (в первую очередь дислокаций): увеличивается их количество, затрудняется перемещение. Результатом этого является изменение механических свойств при динамических испытаниях по сравнению со статическими. Это изменение заключается в том, что прочностные характеристики при динамическом нагружении увеличиваются, а характеристики пластичности, как правило, уменьшаются.

Изменения скорости пластической деформации может изменять механизм деформации. Если, например, при статических испытаниях чистого железа при комнатной температуре процесс пластической деформации осуществляется практически только путем скольжения, то при ударном нагружении, как показали многочисленные исследования, возможна пластическая деформация путем двойникования. Склонность к деформации двойникованием в металлах с ОЦК решеткой увеличивается с понижением температуры деформации. Так, при температуре 40К (-2690С) чистое железо деформируется двойникованием даже при

статических испытаниях. Существенное влияние на механизм деформации могут оказывать примеси. Например, кремний, марганец облегчают двойникование железа, а примеси внедрения (кислород, азот, водород) при достижении определенной концентрации могут исключить процесс двойникования при медленном нагружении, однако этой концентрации может быть недостаточно для подавления двойникования при динамическом нагружении.

Измерение характеристик прочности ( $\sigma_{пу}$ ,  $\sigma_{у}$ ,  $\sigma_{т}$ ,  $\sigma_{в}$ ) при динамических испытаниях затруднительно из-за большой скорости процессов деформации и разрушения (время испытания находится в пределах долей секунды). Для фиксации нагрузки и деформации в процессе испытаний необходимы малоинерционные высокочувствительные приборы. Для измерения нагрузок применяют пьезокварцевые динамометры, для измерения деформаций – фотоэлементы. Сигналы от них в процессе испытаний подаются на двухканальный электронный осциллограф, и в результате получается диаграмма (осциллограмма) испытаний в координатах усилие – деформация. Однако такое оборудование достаточно сложно, поэтому в настоящее время нагрузки и деформации при динамических испытаниях измеряются только в исследовательских работах.

Для массовых динамических испытаний практически применяется один метод – ударный изгиб призматических образцов с надрезом. Испытания проводят на маятниковых копрах. В результате таких испытаний определяется ударная вязкость ( $A_n$ ), которая является характеристикой сопротивления материала воздействию динамических нагрузок. Ударная вязкость это отношение работы, затраченной на деформацию и разрушение образца при ударном изгибе ( $A_n$ ) к площади поперечного сечения образца в месте надреза ( $F$ ).

$$a_n = A_n / F$$

Таким образом размерность ударной вязкости кгс/см<sup>2</sup> (Дж/м<sup>2</sup>). Ударная вязкость – сложная механическая характеристика. Величина ее зависит и от пластичности и от прочности испытываемого материала. Чем выше пластичность и чем больше напряжения на всем протяжении испытаний, тем большая работа, которую необходимо затратить на пластическую деформацию и разрушение в процессе испытания, то есть тем больше ударная вязкость. Поэтому испытания на ударную вязкость обычно более чувствительны к изменению факторов, влияющих на прочность и пластичность (химический состав, дисперсность структуры, форма зерен и т.д.), чем статические испытания, при которых отдельно оцениваются характеристики прочности и пластичности.

Поскольку работа, затраченная при испытаниях на ударную вязкость, идет на пластическую деформацию какой-то части объема образца, правильнее было бы относить ее к этому объему, а не к площади поперечного сечения образца. Но измерение объема деформированной части образца затруднительно; кроме того работа, затраченная на пластическую деформацию распределена по этому объему неравномерно. Поэтому обычно работу, затраченную на пластическую деформацию и разрушение, относят к площади поперечного сечения образца, хотя строгого физического смысла это отношение не имеет.

Проведение испытаний на ударную вязкость может иметь различное назначение:

Оценка поведения металла при динамических нагрузках, если детали или изделия из этого металла подвергаются в процессе эксплуатации таким нагрузкам, потому что, как уже говорилось, механические свойства при динамических нагрузках могут отличаться от тех, которые металл проявляет при статическом разрушении.

Контроль качества металла, поскольку динамические испытания более чувствительны к различным дефектам, возникающим в процессе производства и обработки (микротрещины, неметаллические включения, вредные примеси, неоднородность химического состава и структуры и т.д.)

Оценка склонности металла к хладноломкости, т.е. к переходу из вязкого состояния в хрупкое при понижении температуры. Это явление характерно для металлов с ОЦК и ГПУ решеткой. Статические испытания обычно не позволяют оценить склонность металла к переходу в хрупкое состояние и температуру этого перехода, т.к. при статических испытаниях образцы могут сохранять значительную пластичность при охлаждении до очень низких температур. Динамические испытания на изгиб образцов с надрезом являются наиболее жестким видом испытаний из всех стандартных испытаний механических свойств. Поэтому температура перехода в хрупкое состояние при динамических испытаниях выше, чем при статических, и поэтому она может быть определена при динамических испытаниях даже для таких материалов, которые при статических разрушаются вязко при самых низких температурах. Кроме того, проведение испытаний на ударную вязкость при низких температурах значительно проще, чем проведение статических испытаний.

Все это обуславливает то, что испытания на ударную вязкость, несмотря на указанные выше недостатки этой характеристики, являются основным способом оценки склонности металлов к хладноломкости.

Для исследования склонности металла к хладноломкости и определения температуры перехода в хрупкое состояние проводят серию испытаний на ударную вязкость при пониженных температурах. Температура резкого уменьшения ударной вязкости называется порогом хладноломкости. Часто переход из вязкого состояния в хрупкое, сопровождающийся значительным уменьшением ударной вязкости происходит в интервале температур. В таких случаях говорят о верхнем и нижнем пороге хладноломкости, т.е. о температуре начала и конца этого перехода. Иногда в таких случаях за критерий склонности металла к хладноломкости принимают условный порог хладноломкости, т.е. температуру при которой ударная вязкость получается не ниже определенной величины. Например по нормам Международного института сварки за критическую температуру принимают температуру, соответствующую ударной вязкости 3,5 кгм/см<sup>2</sup>; в США за критическую принимают температуру, соответствующую ударной вязкости от 2,1 до 4,1 кгм/см<sup>2</sup> (в зависимости от ответственности конструкций, для изготовления которых предназначается исследуемый металл).

При переходе из вязкого состояния в хрупкое не только резко уменьшается ударная вязкость, но и меняется характер поверхности излома. Вязкий излом – матовый, волокнистый, со следами пластической деформации. Хрупкий излом имеет «кристаллический» характер без видимых следов пластической деформации. В связи с этим существует способ определения условного порога хладноломкости, как температуры, при которой на поверхности излома наблюдается определенная доля хрупкой составляющей излома (например 10, 50, 90%). Чем больше принят допуск на количество хрупкой составляющей на поверхности излома, тем ниже будет условный порог хладноломкости. При допуске 10% эта температура будет очевидно близка к верхнему порогу хладноломкости, а при допуске 90% - к нижнему.

*Оборудование и образцы для работы*

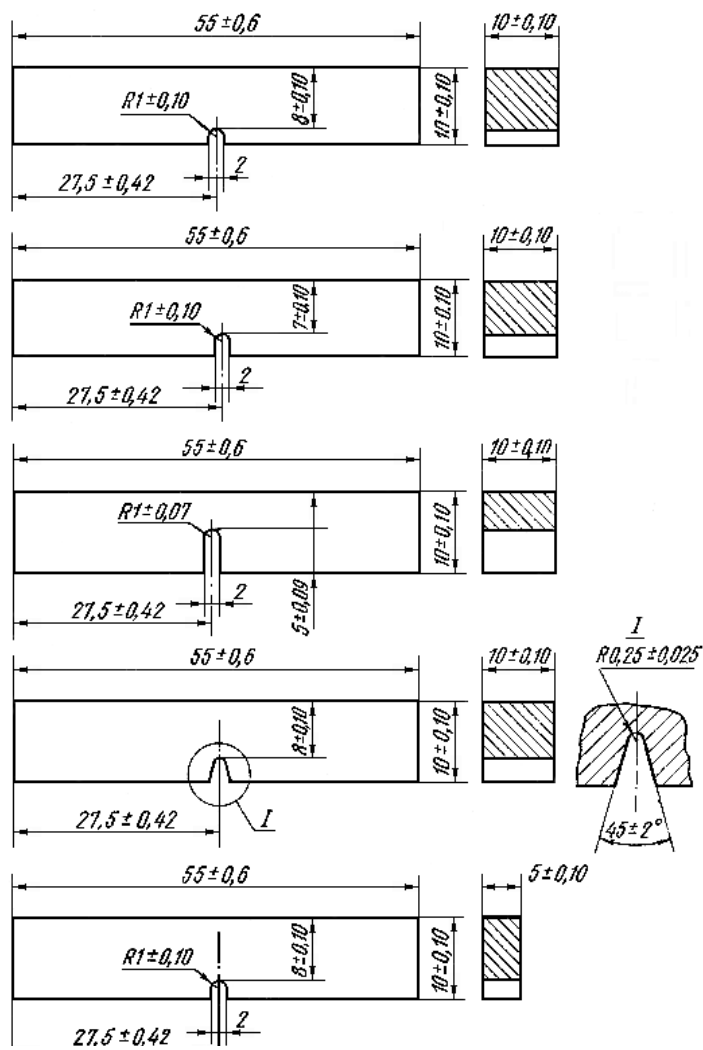


Рис.1. Типы образцов для испытания на ударную вязкость

Поскольку одной из основных целей динамических испытаний является выявление склонности металла к хрупкому разрушению, для динамических испытаний наиболее подходящими являются жесткие способы нагружения (растяжение, изгиб), при которых достаточно велики максимальные нормальные напряжения, обуславливающие разрушение путем отрыва. Мягкие способы нагружения (кручение, сжатие) для динамических испытаний применяются редко. Наибольшее распространение получили динамические испытания на изгиб, так как эти испытания достаточно просты, надежны, позволяют определять работу деформации и разрушения.

Для того, чтобы сделать напряженное состояние более жестким для динамических испытаний на изгиб применяют образцы с надрезом (для испытаний хрупких материалов, например чугуна, могут применяться динамические испытания на ударную вязкость на образцах без надреза). Кроме

того, применение образцов с надрезом значительно уменьшает энергию необходимую для их разрушения, что позволяет уменьшить размеры копра.

По ГОСТ 9454-60 (испытания на ударную вязкость) у нас в стране применяется несколько типов образцов (рис.1). Основным считается тип I. Так как при испытаниях на ударную вязкость условие подобия не реализуется, нельзя пересчитывать и сравнивать результаты определения ударной вязкости на образцах разных размеров и разной формы. Желательно, чтобы образцы имели шлифованную поверхность, на них не должно быть трещин, заусенцев. Поверхность надреза не должна иметь рисунок, царапин и других дефектов, так как они могут, существенно исказить результаты испытаний, поскольку именно дно надреза обычно является местом начала образования трещины, развитие которой приводит к разрушению образца. Если нужно произвести испытания термически обработанных образцов, то надрез на них делается после термической обработки.



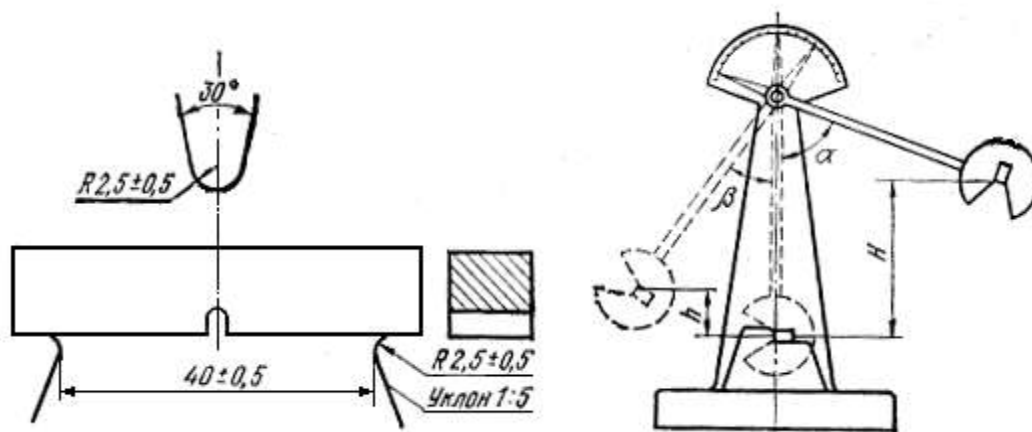


Рис. 2. Схема испытания на ударный изгиб

Для испытаний на ударную вязкость наибольшее распространение получили маятниковые копры. В данной работе испытания проводятся на маятниковом копре МК-30 (рис.2). Максимальная энергия маятника 30 кгм.

Основной частью копра является массивный маятник, который может качаться на оси. В поднятом положении маятник обладает определенным запасом энергии (в зависимости от высоты подъема). При падении маятник, проходя через вертикальное положение ударяет по образцу и разрушает его, на что затрачивается часть энергии маятника. Оставшаяся часть энергии затрачивается на подъем маятника после удара. Скорость движения маятника в момент удара по образцу должна быть в пределах 4-7 м/сек, что соответствует скорости деформации стандартных образцов порядка 102 1/сек. Зная высоту подъема маятника до и после удара и его вес, можно подсчитать работу, затраченную на разрушение образца. На копре МК-30 эта работа определяется автоматически. Для этого к маятнику прикреплен поводок, который при подъеме маятника в исходное положение устанавливает подвижную рамку со шкалой в определенном положении в соответствии с высотой подъема маятника, т.е. с запасенной маятником энергией. После удара маятник, поднимаясь, тем же поводком перемещает вдоль шкалы стрелку до уровня, соответствующего высоте подъема маятника, т.е. его энергии после удара. Таким образом мы автоматически определяем разницу энергий маятника до и после удара, т.е. работу, затраченную на пластическую деформацию и разрушение образца. Для вычисления ударной вязкости нужно затраченную при испытании работу разделить на площадь поперечного сечения образца.

#### *Методика проведения работы*

Прежде, чем приступить к испытаниям образцов на копре, нужно проверить правильность его работы. Для этого поднимают и фиксируют на какой-то высоте маятник копра. При этом рамка со шкалой устанавливается в определенном положении, соответствующем запасенной энергии маятника. После этого маятник отпускают, не устанавливая образец на опоры копра, и он должен подняться на ту же высоту с которой его отпустили и, если копер работает нормально, поводок маятника поднимет стрелку прибора до нулевого деления шкалы, так как энергия маятника ни на что не расходуется (если пренебречь потерями энергии на трение в опорах оси маятника, на сопротивление воздуха и другими потери, которые очень малы). Если при такой проверке стрелка остановится не на уровне нулевого деления шкалы, необходимо выяснить причины этого и устранить их.

Перед испытаниями нужно измерить штангенциркулем с точностью до 0,1 мм ширину и толщину образцов в месте надреза, так как при их изготовлении возможны отклонения от стандартных размеров. Результаты замеров занести в таблицу или протокол испытаний.

После этого можно приступать к испытаниям. Для испытания образца нужно взвести маятник, проверить положение шкалы и установить образец на опоры копра. Образец устанавливается так, чтобы надрез был расположен посередине расстояния между опорами (расстояние между опорами копра 40 мм) и маятник ударял по грани образца, противоположной той, на которой сделан надрез. При проверке установки шкалы и установке образца на опорах маятник обязательно должен быть закреплен фиксатором во избежание случайного его падения. При работе на копре необходимо пользоваться ограждением, так как обломки образца после разрушения могут разлетаться в разные стороны с большой скоростью. После разрушения образца нужно записать работу разрушения и собрать обломки образца для исследования микроструктуры и характера излома.

Для определения ударной вязкости при низких температурах образцы перед испытанием нужно охладить. Охлаждение производится в ванне с ацетоном, бензином, спиртом или другой жидкостью с низкой температурой затвердевания. Ванна изготавливается из материала с низкой теплопроводностью (например, из пенопласта). Для охлаждения ванны и поддержания в ней нужной температуры применяется жидкий азот. Температура кипения азота –1960С. При заливке жидкого азота в ванну он кипит, испаряется и охлаждает при этом ванну с жидкостью и помещенными в нее образцами. Температура ванны замеряется пентаным термометром. Для выравнивания температуры по всему объему образцов, они должны находиться в ванне не менее 15 минут. Температура образцов в ванне должна быть на 3-50С ниже температуры испытания. Тогда за время переноса образца из ванны на опоры копра он нагреется не выше требуемой температуры. Время с момента извлечения образца из ванны до момента его разрушения не должно превышать 5 секунд.

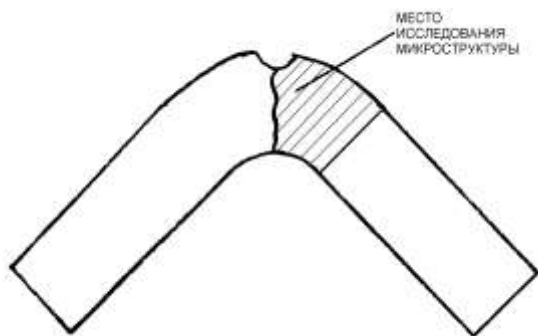


Рис 3

Испытания проводятся при температурах 20; –20; –60; –100 и 1960С. После этого в интервале температур, где произошло резкое падение ударной вязкости, для более точного определения порога хладноломкости проводятся испытания ещё при одной – двух температурах. При каждой температуре испытывается по 3 образца.

После испытания отбирается по одному обломку от образцов, разрушенных при различных температурах, для исследования и фотографирования поверхности излома. Фотографирование производится при увеличении 3–5 раз. Ещё по одному обломку образцов, испытанных при разных температурах, берется для исследования микроструктуры с целью определения температур, при которых имела место деформация двойникованием. При этом нужно исследовать микроструктуру в том месте, где была максимальная деформация (рис.3).

В письменном отчете по работе должно быть:

1. Цель работы.

2. Общие положения (динамические испытания и их назначение, понятие об ударной вязкости, достоинства и недостатки этой характеристики, понятие о хладноломкости и т.д.
3. Краткое описание и схема маятникового копра и образцов для испытаний.
4. Описание методики проведения исследования
5. Описание и фотографии характера излома и микроструктуры образцов после разрушения.
6. Выводы.

### Практическое занятие №13. Определение удельного веса материалов

Цель работы:

- освоение методики работы со справочным материалом и технической литературой;
- научиться применять теоретические знания для решения практических задач.

Ход работы:

1. Изучить краткие теоретические сведения;

2. Освоить методику выполнения расчётов, в соответствии с поставленной задачей.

3. При выполнении практической работы необходимо соблюдать следующие требования:

3.1. Написать условие задачи и поставленные в работе вопросы.

3.2. Перед вычислением привести формулы, а затем уже сами вычисления в развернутом виде. Обязательно указать размерность (единицы измерения величин, входящих в формулу). Расчёты производить в системе СИ.

Необходимые для решения величины и коэффициенты, не указанные в задании, принимаются на основании учебного материала со ссылкой на источник. Все вычисления выполняются на микрокалькуляторе с точностью не более трёх знаков после запятой.

4. Ответить на контрольные вопросы.

#### КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Объектом в гидравлике является жидкость – физическое тело, молекулы которого слабо связаны между собой, поэтому при воздействии даже незначительной силы жидкость изменяет свою форму. Жидкость занимает промежуточное положение между твёрдым телом и газом. Она способна сохранять свой объём и этим сходна с твёрдым телом, но не способна самостоятельно сохранять свою форму, что сближает её с газом. Газ – рабочее тело пневмопривода. Воздух является смесью газов и имеет следующий состав: 78 % – азот, 21% – кислород, кроме того, он содержит небольшое количество двуокиси углерода, аргона, водорода, неона, гелия, криптона, ксенона и паров воды. Газ обладает большой сжимаемостью в сравнении с жидкостью. Физические свойства жидкостей и газов - определяют их поведение при гидравлических процессах и применение в различных областях техники. Основными физическими свойствами жидкостей являются: плотность, удельный вес, сжимаемость, вязкость, а для жидкостей, применяемых в гидроприводах, ещё и смазывающая способность, физическая,

механическая, химическая стабильность. Плотность и удельный вес - важнейшие характеристики механических свойств жидкости. Они определяют «весомость» жидкости. Плотность  $\rho$  характеризует распределение массы  $\Delta m$  жидкости по объёму  $\Delta W$ . Плотность однородной жидкости равна отношению массы  $m$  жидкости к её объёму:  $\rho = m / W$ . (1) Плотность  $\rho$  во всех точках однородной жидкости одинакова. В общем случае плотность может изменяться в объёме жидкости от точки к точке и в каждой точке объёма с течением времени. За единицу плотности в системе СИ принят  $1 \text{ кг/м}^3$ . Вместо плотности в формулах может быть использован также удельный вес  $\gamma$  (Н/м<sup>3</sup>), т. е. есть вес жидкости  $G$ , приходящийся на единицу объёма  $W$ :  $\gamma = G / W = mg / W = \rho g$ . (2),

Плотность жидкостей и газов зависит от температуры и давления. Все жидкости, кроме воды, характеризуются уменьшением плотности с увеличением температуры. Плотность воды максимальна при  $t = 4^\circ \text{C}$  и уменьшается как с уменьшением, так и с увеличением температуры от этого значения. В этом проявляется одно из аномальных свойств воды. Плотность воды при  $t = 4^\circ \text{C}$  составляет  $1000 \text{ кг/м}^3$ ; морской воды -  $1020 \dots 1030 \text{ кг/м}^3$ ; нефти и нефтепродуктов -  $650 \dots 900 \text{ кг/м}^3$ ; чистой ртути -  $13600 \text{ кг/м}^3$ ; воздуха при  $t = 0^\circ \text{C}$  и атмосферном давлении -  $1,29 \text{ кг/м}^3$ . При изменении давления плотность жидкости изменяется незначительно.

Вязкость – способность жидкости оказывать сопротивление касательным усилиям, стремящимся сдвинуть одни частицы жидкости по отношению к другим.

Значение динамической вязкости зависит от рода жидкости и её температуры. Динамическая вязкость  $\mu$  измеряется в пуазах (П):

$$1 \text{ П} = 1 \text{ дин}\cdot\text{с/см}^2 = 0,1 \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

Отношение динамической вязкости жидкости к её плотности называется кинематической вязкостью  $\nu$ :

$\nu = \mu / \rho$ . Кинематическая вязкость измеряется в стоксах (Ст):  $1 \text{ Ст} = 1 \text{ см}^2 / \text{с} = 10^{-4} \text{ м}^2 / \text{с}$ . Вязкость жидкости практически не зависит от давления, но значительно уменьшается с увеличением температуры.

## ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 1. Нефть весом  $90 \text{ кгс}$  занимает объём  $105 \text{ см}^3$ .

Определить плотность и удельный вес этой нефти в Международной системе единиц СИ.

Решение.

Для определения плотности нефти воспользуемся формулой (2):

$$\gamma = \rho g, \text{ отсюда } \rho = \gamma / g.$$

Удельный вес определим по формуле (1):

$$\gamma = G / W.$$

Для определения искомых величин в заданной системе единиц необходимо помнить:

$$90 \text{ кгс} = 90 \cdot 9,81 \text{ Н} = 90 \cdot 9,81 \cdot 10^5 \text{ дин};$$

$$105 \text{ см}^3 = 105 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

$$\gamma_{\text{СИ}} = 90 \cdot 9,81 / (105 \cdot 10^{-6}) = 8829 \text{ Н/м}^3.$$

$$\rho_{\text{СИ}} = 8829 / 9,81 = 900 \text{ Нс}^2 / \text{м}^4 = 900 \text{ кг/м}^3.$$

Пример 2. Трубопровод диаметром  $d = 250$  мм и длиной  $L = 1$  км заполнили водой при атмосферном давлении. Определить, какой объём воды необходимо добавить в трубопровод, чтобы давление в нём повысилось до 70 ат? Деформацией стенок трубопровода пренебречь.

Решение. Для определения необходимого объёма  $\Delta W$  воспользуемся формулой (1.), откуда  $\Delta W = \beta W \Delta p W$ .

$$\text{Для воды } \beta W = 1 / (20 \cdot 10^8) \text{ м}^2 / \text{Н}.$$

Изменение давления в трубопроводе равно  $\Delta p = 70 - 1 = 69 \text{ ат} = 69 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па}$ . Первоначальный объём воды в трубопроводе равен  $W = (\pi d^2 / 4) L$ ,

$$\text{где } d = 250 \text{ мм} = 0,25 \text{ м}, L = 1 \text{ км} = 1000 \text{ м}.$$

$$\text{Тогда } W = 69 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \cdot 3,14 \cdot 0,25^2 \cdot 1000 / (20 \cdot 10^8 \cdot 4) \approx 0,16 \text{ м}^3.$$

1.3. Задачи:

1.3.1. Определить плотность нефти, если 320 000 кг её массы помещаются в объёме 380 м<sup>3</sup>.

$$\text{Ответ: } 842 \text{ кг/м}^3.$$

1.3.2. Определить объём, занимаемый 125 000 кг нефти, если её плотность равна 850 кг/м<sup>3</sup>.

$$\text{Ответ: } 147 \text{ м}^3.$$

1.3.3. Определить удельный вес и плотность жидкости, если её объём

$$W = 104 \text{ см}^3 \text{ имеет вес } G = 8,3 \text{ кгс}.$$

Решение привести в Международной системе единиц:

$$\text{Ответ: } \gamma_{\text{СИ}} = 8142,3 \text{ Н/м}^3;$$

$$\rho_{\text{СИ}} = 830 \text{ кг/м}^3.$$

1.3.4. Определить плотность битума, если 470 кН его занимают объём

$$W = 50 \text{ м}^3. \text{ Ответ: } 940 \text{ кг/м}^3.$$

1.3.5. При гидравлическом испытании трубопровода длиной 600 м и диаметром 500 мм давление воды поднято от 1 ат до 50 ат. Какой объём воды потребовалось подать в трубопровод за время подъёма давления?

Расширением стенок трубы пренебречь.

Ответ: 0,26 м<sup>3</sup> .

1.3.6. Сосуд, объём которого 2,0 м<sup>3</sup> , заполнен водой.

Насколько уменьшится и чему станет равным объём воды при увеличении давления на 20 000 кПа? Модуль объёмной упругости воды принять равным 1962·10<sup>6</sup> Па.

Ответ: 0,02 м<sup>3</sup> ; 1,98 м<sup>3</sup> .

1.3.7. При испытании прочности резервуара гидравлическим способом он был заполнен водой при давлении 50·10<sup>5</sup> Па. В результате утечки части воды через неплотности давление в резервуаре понизилось до 11,5·10<sup>5</sup> Па. Пренебрегая деформацией стенок резервуара, определить объём воды, вытекшей за время испытания. Объём резервуара равен 20 м<sup>3</sup> .

Ответ: 0,04 м<sup>3</sup> .

1.3.8. В резервуар залито 15 м<sup>3</sup> жидкости плотностью 800 кг/м<sup>3</sup> .

Сколько необходимо долить такой же жидкости (однородной), но плотностью 824 кг/м<sup>3</sup> , чтобы в резервуаре образовалась смесь плотностью 814 кг/м<sup>3</sup> ? Ответ: 21 м<sup>3</sup> .

1.3.9. Резервуар диаметром 700 мм и высотой 1,2 м имеет массу 10 кг. Определить вес резервуара, заполненного водой при температуре 4 °С.

Ответ дать в Международной системе единиц.

Ответ: 561 Н.

1.3.10. Сосуд ёмкостью 32 л заполнен жидкостью при атмосферном давлении. Вычислить объём жидкости, который необходимо закачать в сосуд для того, чтобы избыточное давление в нём было равно 10 атм. Деформациями стенок сосуда пренебречь. Модуль объёмной упругости для жидкости принять равным 13 500 кгс/см<sup>2</sup> . Ответ: 0,24м<sup>3</sup>.

1.3.11. При температуре 288 К плотность нефти равна 828 кг/м<sup>3</sup> . При температуре 295 К условная вязкость нефти равна 6,4 °Е. Коэффициент температурного расширения нефти  $\beta_t = 0,00072 \text{ 1/ K}$ . Определить динамическую вязкость нефти при температуре 295 К.

$$\rho = 0,0377 \text{ Н}\cdot\text{с/м}^2$$

#### **Практическое занятие №14. Механические испытания материалов на растяжение и сжатие**

Цель работы – получить знания в области механических испытаний материалов на сжатие и растяжение

#### Теоретические сведения

Для создания современной конструкции необходимо рассчитать все её детали и узлы на прочность, жесткость, устойчивость. В расчетные формулы входят величины, зависящие от физико-механических характеристик материала деталей.

Без знания механических свойств материалов невозможно сделать обоснованный выбор материалов рассчитываемой конструкции при определении ее размеров. Для определения этих характеристик проводятся испытания материалов в строгом соответствии с государственными стандартами. Стандарты определяют правила подготовки образцов, их форму и размеры, а стандарты– методики проведения испытаний.

Механические испытания на *растяжение* и *сжатие* применяются наиболее часто, так как по ним находят наибольшее количество основных механических характеристик материала. Напряженное и деформируемое состояние материала при растяжении и сжатии является однородным, а напряжения и деформации легко находятся экспериментально и подсчитываются теоретически.

Некоторые материалы при статическом нагружении до разрушения получают относительно большие пластические деформации, например, малоуглеродистая сталь, медь. Такие материалы называются *пластичными* и широко используются в машиностроении. Материалы, разрушающиеся при малых пластических деформациях, например, чугун, бетон, называются *хрупкими*. Деление материалов на хрупкие и пластические является условным, так как поведение материала зависит от температуры, срока службы детали и других факторов.

#### МАШИНА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ

Для испытаний на сжатие и растяжение применяют машины, позволяющие производить нагружение образца, например на универсальной испытательной машине УММ-5. Испытательные машины могут иметь гидравлический или механический привод рабочих органов.

По механизму, измеряющему усилия, различают:

- а) рычажно-маятниковые измерительные устройства;
- б) гидравлические устройства, давление в которых измеряется манометрами;
- в) пружинные силоизмерители и некоторые другие.

Наиболее чувствительными и точными являются машины с рычажно-маятниковыми силоизмерениями. Они отличаются надежностью силоизмерения и простотой конструкции. Универсальная испытательная машина УММ-5 с максимальным усилием нагружения 49 кН снабжена рычажно-маятниковым силоизмерителем. Внешний вид испытательной машины УММ-5 и кинематическая схема ее силоизмерительного устройства показаны на рис.1. Машина имеет пять скоростей нагружения, м/с:  $3,33 \cdot 10^{-5}$  ;  $6,67 \cdot 10^{-5}$  ;  $1,67 \cdot 10^{-4}$  ;  $3,33 \cdot 10^{-4}$  ;  $8,33 \cdot 10^{-4}$  и одну скорость холостого хода, равную  $1,67 \cdot 10^{-3}$  м/с. Максимальное расстояние между захватами равно 0,8 м.

Погрешность измерений равна  $\pm 1\%$  от величины измеряемой нагрузки. Для повышения точности измерений имеется четыре диапазона измеряемых нагрузок (табл. 1).

Для создания усилия растяжения вращение от электродвигателя передается через червячную передачу 1 на впрессованную в червячное колесо гайку, в которую вворачивается винт 2, связанный с нижним захватом 3. Это усилие через образец 4, верхний захват 5 и систему рычагов 6 уравнивается весом груза 10, расположенного на конце маятника 7.

Маятник связан зубчатой реечной передачей со шкалой нагрузки 8, а также с диаграммным устройством 9.

Это устройство через систему зубчатых передач и зубчатую реечную передачу также связано с нижним захватом 3, что позволяет автоматически записывать диаграмму растяжения – график зависимости абсолютного удлинения  $\Delta l$  от усилия растяжения  $F$ . Имеются два масштаба фиксации абсолютного удлинения: 1:1 и 5:1.

Обозначение шкалы	Диапазон измеряемых нагрузок, Н	Цена наименьшего деления, Н	Интервал отсчетов с гарантированной точностью $\pm 1\%$ , Н
А	0 – 4900	9,8	1960 – 4900
Б	0 – 9800	19,6	1960 – 9800
В	0 – 24500	49,0	1960 – 24500
Г	0 – 49000	98,0	4900 – 49000

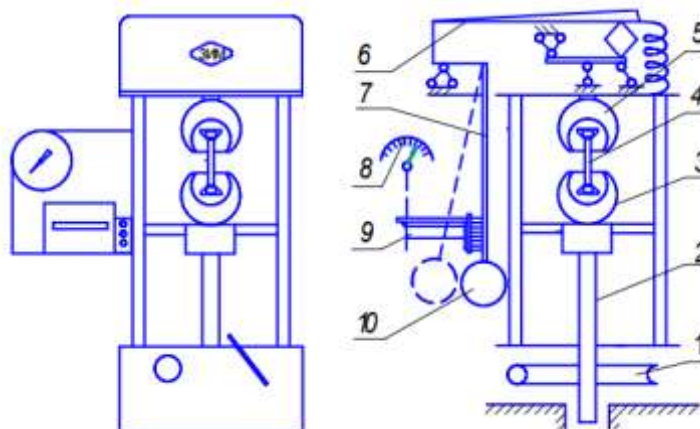


Рис 1 УММ-5

### *Испытания на растяжение*

Стандартом предусмотрены 7 типов круглых образцов и несколько типов плоских образцов для испытаний с рядом размеров для каждого типа образца. В лабораторной работе используется образец типа У1 (рис. 2) с размерами  $d = 8$  мм,  $D = 12$  мм,  $h_1 = 10$  мм,  $h_2 = 8$  мм,  $l = l_0 + (0,5 \div 2)d_0$ . У используемого образца размеры могут несколько отличаться от заданных в стандарте, поэтому перед испытанием необходимо измерить штангенциркулем размеры  $D$ ,  $l_0$ ,  $l$ ,  $h_1$ ,  $h_2$  с точностью до 0,1 мм, а размер  $d_0$  с точностью до 0,01 мм. Расстояние  $l_0$  измеряется между двумя рисками, нанесенными на поверхность образца.

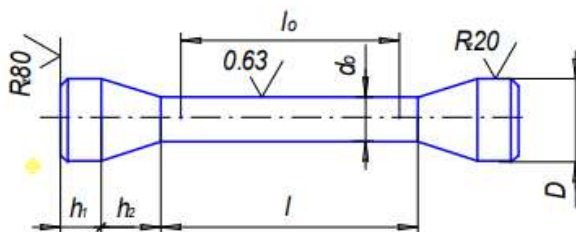


Рис 2

Образец вставляется в захваты машины УММ-5, и в процессе испытания ведется наблюдение за его поведением. До начала деформации образца происходит выборка зазоров между частями машины УММ-5 и между головками образца и захватами, поэтому нагрузка не



растет, или растет незначительно (сначала горизонтальный, а затем криволинейный участок GH диаграммы – рис. 3).

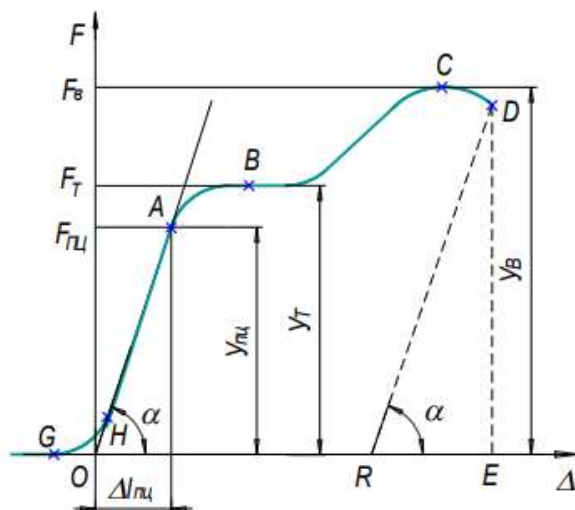


Рис 3

Сама диаграмма автоматически вычерчивается в координатах  $\Delta l$  по оси абсцисс и  $F$  по оси ординат в масштабах  $m_1$  и  $m_2$ . Здесь  $m_1$  – масштаб записи удлинений  $\Delta l$  образца,  $m_2$  – масштаб записи нагрузки  $F$ , растягивающей образец. После криволинейного участка диаграммы наблюдается быстрый рост нагрузки, диаграмма изображается прямой, что соответствует прямой пропорциональности между нагрузками и удлинением образца (закон Гука). Чтобы исключить из рассмотрения криволинейный участок в начале диаграммы, следует продолжить прямолинейный отрезок диаграммы до оси абсцисс, в пересечении с которой получим точку  $O$  – начало диаграммы. Прямолинейный участок диаграммы идет до точки  $A$ , а затем переходит в кривую. С этого момента деформации начинают расти быстрее растягивающей силы, причем от точки  $B$  диаграммы деформации растут без дальнейшего повышения растягивающей силы – материал течет. На диаграмме при этом прочерчивается горизонтальная линия. Условное напряжение, при котором материал течет, то есть деформируется без увеличения нагрузки, называется условным пределом текучести, а горизонтальный участок диаграммы – площадкой текучести.  $h_1 h_2 l d o l o D R z 8 0 0 . 6 3 R z 2 0$  Рис. 3 За площадкой текучести диаграмма опять идет вверх по кривой – нагрузка снова начинает расти и достигает своего наибольшего значения, после чего уменьшается до момента разрыва образца. Наибольшая нагрузка  $F_B$ , достигнутая в процессе испытания, называется разрушающей, а условное напряжение  $\sigma_B$ , вызванное разрушающей нагрузкой, – временным сопротивлением материала.

Пока нагрузка не достигла максимального значения, деформации распределялись равномерно по всему образцу. С момента, когда нагрузка достигает наибольшего значения, остаточная деформация приобретает местный характер, концентрируясь около одного какого-либо участка по длине образца, оказавшегося наиболее слабым. В этом месте начинается образование так называемой шейки, то есть местного сужения поперечного сечения образца. Вследствие интенсивного уменьшения площади сечения для дальнейшего растяжения образца нужна меньшая нагрузка. Поэтому на диаграмме и наблюдается падение нагрузки, продолжавшееся до разрыва образца. Истинное же напряжение в материале у шейки, несмотря на падение нагрузки, все время возрастает. Отрезок  $OE$  на оси абсцисс диаграммы изображает

полную деформацию образца. Сюда входят как остаточная, так и упругая деформация стержня. Чтобы получить на диаграмме только остаточное удлинение, следует провести наклонную прямую DR, параллельную OA, которая отсечет на оси абсцисс отрезок OR, соответствующий величине остаточной деформации, и отрезок RE, соответствующий упругой деформации образца при разрыве.

#### *Испытания на сжатие*

При испытании на сжатие пластичных материалов (мягкой стали, меди) удастся определить лишь предел текучести, образцы практически не могут быть разрушены, они сплющиваются. Хрупкие материалы (чугун, камень, бетон) разрушаются при сжатии, выдерживая при этом напряжения более высокие, чем при растяжении. Для этих материалов величина временного сопротивления при сжатии имеет большое практическое значение, так как в реальных конструкциях детали, изготовленные из хрупких материалов, обычно работают на сжатие.

При испытании на сжатие применяют короткие образцы – соотношение размеров вдоль линии действия нагрузки и поперечного не более двух, так как с увеличением высоты образца возможно его искривление, что резко изменяет процесс деформирования, искажает результаты испытания.

Для испытаний используют образцы цилиндрической формы (чугун) с размерами  $h : d = 4 : 3$  (или  $3 : 2$ ) или кубической формы с размерами для стали  $10 \times 10 \times 10$  мм; для дерева –  $20 \times 20 \times 30$  мм (рис. 4)

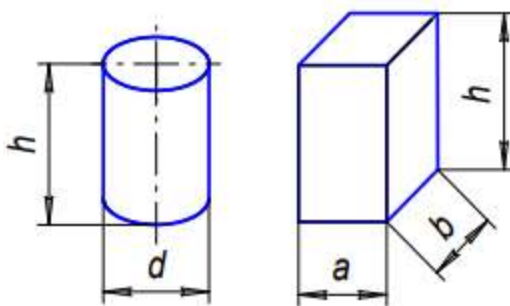


Рис. 4

Возможны и другие размеры испытываемых образцов – это определяется предельной нагрузкой испытательной машины. Образцы из пластмасс изготавливают механической обработкой, прессованием, литьем под давлением и другими видами формирования. Они имеют форму цилиндра или параллелепипеда с квадратным основанием. Высота образцов в 1,5 раза больше диаметра или стороны основания ( $d = 10$  мм,  $h = 15$  мм). Образцы слоистых материалов изготавливают из плит толщиной 15 мм и более в форме параллелепипеда со стороной основания 15 мм, высотой – 22 мм. Допуски на размеры образцов в пределах  $\pm 0,5$  мм. При испытаниях одна опора на прессе должна быть самоустанавливающейся для равномерного распределения нагрузки по сечению. Если записывать диаграммы сжатия, то они будут иметь различный вид для пластичных и хрупких материалов. Например, диаграммы сжатия (рис. 5): 1 – мягкой стали, 2 – чугуна, 3 – дюралюминия, 4 – дерева вдоль волокон, 5 – дерева поперек волокон, 6 – стеклопластика.

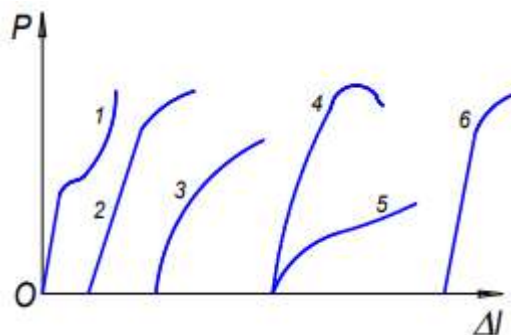


Рис. 5

Механические характеристики материалов при осевом сжатии определяются и называются так же, как и при растяжении. Особенности поведения материалов при сжатии проявляются при нагружении за пределом упругости. На рис. 12 представлены общие виды образцов после испытания: а – из мягкой стали; б – из чугуна; в – из дерева вдоль волокон; г – из дерева поперек волокон. Силы трения, действующие на опорных поверхностях образца, препятствуют поперечной деформации в около опорных зонах, в связи с этим образец принимает бочкообразную форму. Влияние трения можно уменьшить путем смазки опорных поверхностей или применением образцов специальной формы

Задание:

1. Изучить теоретический материал.
2. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Для каких целей проводят механические испытания?
2. Виды механических испытаний
3. Машины для испытаний
4. Методика проведения испытаний на растяжение
5. Методика проведения испытаний на сжатие

**Тема 2.1. Диэлектрические материалы**

**Практическое занятие №15. Определение вязкости жидких диэлектриков**

Цель работы - изучить принцип действия и конструкцию приборов для определения вязкости жидких диэлектриков, освоить методику определения динамической, кинематической и условной вязкостей.

Теоретические сведения

Следует знать, что для жидких диэлектриков (электроизоляционных масел, лаков, пропиточных компаундов и подобных им материалов) вязкость является одной из характеристик, с помощью которой оцениваются их технологические и эксплуатационные свойства.

Вязкость – это свойство жидкостей и газов оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой.

При ламинарном течении среды вязкость проявляется в том, что при сдвиге соседних слоев среды относительно друг друга возникает сила противодействия – напряжение сдвига, которое для обычных сред пропорционально скорости относительного сдвига слоев.

Коэффициент пропорциональности называется коэффициентом динамической вязкости, или динамической вязкостью. Измеряют динамическую вязкость в паскаль-секундах.

Паскаль-секунда (Па×с) – это динамическая вязкость среды, при ламинарном течении которой в слоях, находящихся на расстоянии 1 м, в направлении, перпендикулярном течению, под действием давления сдвига 1 Па возникает разность скоростей течения 1 м/с. В практике испытаний применяется и другая единица вязкости – пуаз (П); 1 П = 0,1 Па×с.

Измерение *динамической* вязкости производится на основе закона Стокса или закона Пуазейля.

Кроме динамической вязкости используется также *кинематическая* и *условная* вязкость.

Кинематическая вязкость равна отношению динамической вязкости жидкости  $\eta$  (Па×с) к ее плотности  $\rho$  (кг/м<sup>3</sup>):

$$\nu = \eta / \rho$$

На практике кинематическую вязкость иногда измеряют в стоксах (Ст) или сантистоксах (сСт).

$$1 \text{ Ст} = 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$1 \text{ сСт} = 10^{-2} \text{ Ст}.$$

Кинематическая вязкость воды при 20 °С примерно равна 1 сСт. При этой температуре динамическая вязкость воды составляет 0,001 Па×с.

Вязкость условная (ВУ) – характеристика, получаемая при определенной методике испытания. Она связана с динамической и кинематической вязкостью эмпирическими соотношениями.

Условная вязкость, измеряемая в градусах Энглера (°Е), представляет собой отношение времени истечения 200 мл электроизоляционной жидкости при заданной температуре к времени истечения 200 мл дистиллированной воды при 20 °С.

Время истечения 200 мл воды при 20 °С называется постоянной прибора. Она равна 50-52 с.

$$\text{ВУ} = \frac{t}{t_{\text{пр}}}$$

где  $t$  – время истечения 200 мл исследуемой жидкости при заданной температуре, с;

$t_{пр}$  – постоянная прибора; для прибора, используемого в данной лабораторной работе  $t_{пр}=50$  с.

От условной вязкости к кинематической можно перейти, используя формулу

$$\nu = 0,135 \eta.$$

Для измерения вязкости используются специальные приборы – *вискозиметры*. По своему устройству вискозиметры делятся на капиллярные, ротационные и ультразвуковые.

### *Приборы и оборудование*

В качестве жидкого диэлектрика в лабораторной работе используются трансформаторные масла, широко применяемые в электротехнической промышленности. Масла, используемые в трансформаторах, выполняют следующие функции: повышают электроизолирующие свойства твердой изоляции обмоточных проводов, а также способствуют отводу тепла от обмоток и магнитопровода к охлаждаемым стенкам бака. В масляных выключателях масло обеспечивает гашение электрической дуги и уменьшает трение в механических узлах выключателя.

Для определения условной вязкости трансформаторного масла используется универсальный вискозиметр Энглера (рис.1)

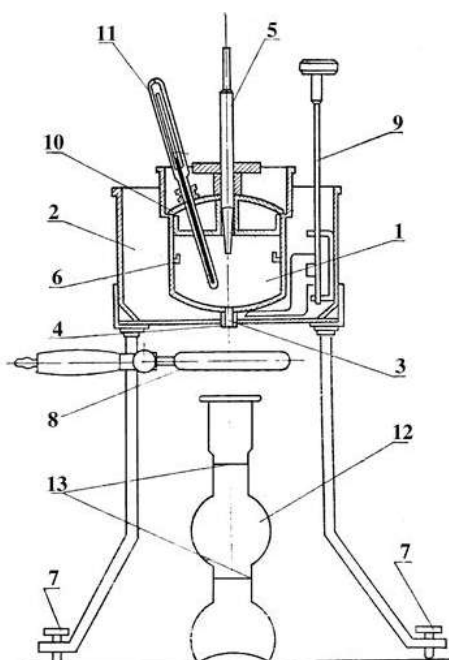


Рис. 1. Универсальный вискозиметр

Для определения вязкости жидкостей более вязких, чем вода широко используется вискозиметр Энглера. Он состоит из двух concentric расположенных латунных резервуаров 1 и 2 (рис. 2.2). Внутренний резервуар 1 имеет сферическое дно, в центре которого припаяна латунная цилиндрическая трубка 3. В отверстие трубки 3 вставлен калиброванный конический металлический насадок 4, через который вытекает исследуемая жидкость. Длина насадка 20 мм, диаметр в верхней части 2,9 мм, в нижней – 2,8 мм. Отверстие насадка 4 закрывается заостренным на конце стержнем 5, в средней части которого имеется пружинка, позволяющая удерживать его в приподнятом положении. На внутренней

поверхности резервуара 1 расположены три крючка 6, которые показывают, до какого уровня следует наливать жидкость. По этим же крючкам 6 производится и вертикальная установка прибора с помощью регулируемых винтов 7.

Внешний резервуар 2 выполняет роль водяной ванны. Пространство между резервуарами 1 и 2 заполняется водой, которая может подогреваться с помощью кольцевой газовой (или спиртовой) горелки 8, либо электронагревателем. В резервуаре 2 на специальном кронштейне закреплена мешалка 9 для перемешивания воды в ванне, что способствует равномерному подогреву исследуемой жидкости до требуемой температуры. Для снижения тепловых потерь внутренний резервуар 1 закрывается пустотелой крышкой 10, в которую вставляется стержень 5 и термометр 11. Под насадком 4 устанавливается специальная стеклянная колба 12 с двумя нанесенными на ней кольцевыми рисками 13. Нижняя риска соответствует емкости колбы 100 см<sup>3</sup>, а верхняя – 200 см<sup>3</sup>.

Определение вязкости вискозиметром Энглера основано на сравнении времени тж истечения 200 см<sup>3</sup> исследуемой жидкости через насадок 4 при заданной температуре со временем tВ истечения того же объема дистиллированной воды при t = 20 оС. Величина tВ называется водным числом (tВ = 50 , 52 с).

### *Проведение опытов и измерения*

1. Снимается крышка 10 (рис. 1) вискозиметра и убеждаются в том, что внутренняя поверхность резервуара 1 и насадка 4 сухие.

2. Вставляется в отверстие насадка 4 стержень 5 и в резервуар 1 наливается исследуемая жидкость, чтобы ее свободная поверхность незначительно прикрывала острие крючков 6. При этом объем жидкости составляет примерно 240 см<sup>3</sup>. Если острия крючков 6 неодинаково прикрываются свободной поверхностью жидкости в резервуаре 1, то положение необходимо исправить подъемными винтами 7.

3. Резервуар 1 с жидкостью закрывается крышкой и вставляется термометр 11.

4. В сосуд 2 наливается вода, которая либо подогревается горелкой 8, либо охлаждается сухим льдом до тех пор, пока температура исследуемой жидкости в резервуаре 1 не достигает заданной

5. Под насадок 4 устанавливается чистая колба 12.

6. Приподнимается стержень 5 и одновременно включается секундомер. Необходимо следить за тем, чтобы вытекающая из насадка 4 жидкость попадала на внутреннюю стенку колбы 12. Это исключает возможность появления пены, мешающей фиксировать уровень жидкости.

7. Секундомер выключается, когда уровень жидкости достигает верхней риски 13 на колбе 12. Полученное время тж в секундах и есть время истечения 200 см<sup>3</sup> исследуемой жидкости. Для исключения ошибок величина тж определяется несколько раз.

8. В такой же последовательности определяется водное число tв, т.е. время истечения 200 см<sup>3</sup> дистиллированной воды при температуре 20°С. Водное число для каждого вискозиметра является постоянным и указывается заводом-изготовителем.

### Контрольные вопросы

1. Что такое вязкость?

2. Виды вязкости жидкостей.
3. Дайте определение динамической вязкости.
4. Дайте определение кинематической вязкости.
5. Дайте определение условной вязкости.
6. Объясните влияние температуры на вязкость жидких диэлектриков.
7. Опишите конструкцию универсального вискозиметра Энглера.
8. Дайте определение понятия «постоянная прибора».
9. Опишите методику измерения условной вязкости с помощью вискозиметра Энглера.
10. Объясните назначение трансформаторных масел

### Тема 2.3. Проводниковые материалы

#### Практическое занятие №16. Изучение конструкции и маркировки проводов и кабелей

Цель работы: - изучить маркировки проводов и кабелей; - выбрать и расшифровать марку кабеля, провода в соответствии с данными.

#### Теоретическая часть.

##### *Кабели*

*Электрический кабель* представляет собой изделие из нескольких проводов, которые находятся под одной изоляционной оболочкой (из ПВХ, резины, пластмассы).

Существует 5 основных видов электрических кабелей:

- силовой;
- контрольный;
- для управления;
- для связи;
- радиочастотный

Кратко рассмотрим условия применения каждого из изделий.

*Силовой* используется для передачи электроэнергии в силовых и осветительных электроприборах. Существуют изделия различного типа и назначения. В основном силовые кабели используются для электропроводки внешней (как воздушным, так и подземным способом) и внутренней (в жилых и нежилых помещениях). Силовые кабели могут иметь как алюминиевые, так и медные жилы. Предпочтение рекомендуется отдавать последнему варианту. Изолирующим слоем может быть ПВХ, бумага, резина, полиэтилен и т.д.

*Контрольный* используется для работы электротехнических устройств, которые передают информационный сигнал для управления какими-либо устройствами. Данный вид также может быть с алюминиевыми и медными жилами.

*Кабель управления* представляет собой медный электропроводник с защитным экраном. Применяется в различных системах автоматики. Защитный экран служит для отвода помех, а так же защиты от механических повреждений.

*Кабель связи* используется для передачи информации с помощью токов различных частот. Передача местных линий связи осуществляется низкочастотными проводниками, а дальних линий – высокочастотными.

*Радиочастотный кабель* применяется в радиотехнических устройствах. Основное предназначение – передача видео- и радиосигналов.

### Шнуры

*Шнур* состоит из нескольких (минимум двух) эластичных жил небольшого сечения (до 1,5 мм.кв.). Жилы шнура состоят из множества переплетенных проволок, изоляция которых осуществляется неметаллической оболочкой. Обычно шнуры представлены многожильными изделиями, но существуют и двухжильные, которые используются в том случае, если корпус электроприбора не требует специального заземления. На сегодняшний день шнуры используются для подключения бытовой техники к сети (к примеру, холодильника либо микроволновой печи).

Все проводники могут иметь различия по следующим признакам:

- Поперечное сечение. Существуют жилы сечением от 0,35 мм.кв. до 240 мм.кв.
- Материал изготовления: медь, алюминий, алюмомедь (специальный композит из двух металлов).
- Номинальное напряжение (к примеру, способен выдержать 220 либо 380В).
- Количество жил (одножильный либо многожильный).
- Материал изоляции (ПВХ, резина, бумага).
- Материал защитной оболочки (резина, пластмасс, металл).

### Расшифровка буквенного шифра.

Основные стандарты маркировки проводов, кабелей и шнуров по ГОСТу одинаковые, поэтому сначала рассмотрим расшифровку буквенного шифра в электрике.





### Пример расшифровки марки кабеля

Буква №1 характеризует материал жилы. Алюминию присваивается буква «А», меди буква не присваивается.

Буква №2 в маркировке характеризует вид провода либо материал оболочки кабеля. Для провода вторая буква обозначает «П» — плоский, «М» — монтажный, «К» — контрольный, «МГ» — монтажный с гибкой жилой, «П(У) либо Ш» — установочный.

Буква №3 характеризует материал для изоляции жил. Буква «В» либо «ВР» означает что изоляция поливинилхлоридная, «Р» — резиновая, «Н» либо «НР» — найритовая (резина, которая не горит), «П» — полиэтиленовая, «К» — капроновая, «Ф» — металлическая (фальцованная), «МЭ» — эмалированная, «Л» — лакированная, «Ш» — полиамидный шелк, «О» — полиамидный шелк в качестве оплетки, «С» -стекловолокно, «Э» — экранированная изоляция, «Т» — изоляция с несущим тросом, «Г» — изоляция с гибкой жилой.

Помимо этого следует отметить, что провод с резиновой изоляцией может быть дополнительно защищен следующим видом оболочки: «Н» — найритовая, «В» — ПВХ. Обращаем Ваше внимание на то, что данные буквы ставятся в маркировке после того, как будет указан материал изоляции самой жилы.

Буква №4 характеризует особенность конструкции. Если написана буква «А», значит изделие является асфальтированным, «Б» — бронированным лентами, «Г» — без защитного покрова (если кабель) и гибкий (если провод), «К» — бронированный круглыми проволоками, «Т» — предназначен для прокладки в трубах, «О» — защищен оплеткой.

### *Расшифровка цифрового обозначения:*

Цифра №1 всегда указывает количество жил, если в маркировке провода либо кабеля цифра перед буквами отсутствует, значит, проводник одножильный.

Цифра №2 характеризует площадь поперечного сечения в мм.кв.

Цифра №3 отображает номинальное напряжение сети.

Маркировка шнуров представлена буквой «Ш».

Пример: Расшифровка маркировки кабеля ВВГ 4\*2,5-380.

Итак:

- литеры «П» и «А» нет, значит, жила медная;
- вторая буква «В» указывает, что изоляция поливинилхлоридная;
- также указана вторая буква «В», что означает еще одну защиту оболочкой из ПВХ;
- последняя буква – «Г» обозначает, что защитный покров отсутствует;
- первая цифра «4» — четыре жилы;
- «2,5» — поперечное сечение в мм.кв.;
- 380 — Номинальное напряжение в 380 В.

Задание:

1. Изучить теоретический материал.
2. Расшифровать маркировки кабеля: ППВ 3\*2,5; АПР 1\*4; АПРН 1\*2,5; АППР 3\*6; ШРО; ШПВ; ШВЛ; ШВВП; АВРГ 3\*2,5 – 300; АНРГ 4\*2,5 – 300; ВВГ 2\*2.5-50; ВРГ 4\*1-240
3. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Что такое электрический кабель?
2. Какие виды кабелей Вы узнали?
3. Назовите материалы, для изготовления токопроводящей жилы.
4. Назовите материалы, используемые для изоляции рабочей жилы.
5. Назовите материалы, используемые для изготовления защитной изоляции.
6. Какие материалы и с какой целью используют армирование кабеля?
7. Для чего применяют полупроводниковую оболочку?

### **Практическое занятие №17. Выбор марки припоя и определение его назначения и химического состава**

Цель работы – получение практического опыта для выбора припоя конкретного изделия

#### Теоретические сведения

Пайка — технологическая операция, применяемая для получения неразъёмного соединения деталей из различных материалов путём введения между этими деталями расплавленного материала (припоя), имеющего более низкую температуру плавления, чем материал (материалы) соединяемых деталей. Спаиваемые элементы деталей, а также припой и флюс вводятся в соприкосновение и подвергаются нагреву с температурой выше температуры плавления припоя, но ниже температуры плавления спаиваемых деталей. В результате, припой переходит в жидкое состояние и смачивает поверхности деталей. После этого нагрев прекращается, и припой переходит в твёрдую фазу, образуя соединение.

Прочность соединения во многом зависит от зазора между соединяемыми деталями (от 0,03 до 2 мм), чистоты поверхности и равномерности нагрева элементов. Для удаления оксидной плёнки и защиты от влияния атмосферы применяют флюсы.

Пайка бывает *низкотемпературная* (до 450 °С) и *высокотемпературная*. Соответственно припои бывают *легкоплавкие* и *тугоплавкие*.

Для низкотемпературной пайки используют в основном электрический нагрев, для высокотемпературной — в основном нагрев горелкой.

В качестве припоя используют сплавы *оловянно-свинцовые* (Sn 90 % Pb 10 % с  $t^{\circ}$  пл. 220 °С), *оловянно-серебряные* (Ag 72 % с  $t^{\circ}$  пл. 779 °С), *медно-цинковые* (Cu 48 % Zn остальное с  $t^{\circ}$  пл. 865 °С), *галлиевые* ( $t^{\circ}$  пл. ~50°С), *висмутовые* (сплав Вуда с  $t^{\circ}$  пл. 70 °С, сплав Розе с  $t^{\circ}$  пл. 96 °С) и т. д.

Пайка является высокопроизводительным процессом, обеспечивает надёжное электрическое соединение, позволяет соединять разнородные материалы (в различной комбинации металлы и неметаллы), отсутствие значительных температурных короблений (по

сравнению со сваркой). Паяные соединения допускают многократное разъединение и соединение соединяемых деталей (в отличие от сварки).

К недостаткам можно отнести относительно невысокую механическую прочность.

Исходя из физико-химической природы процесса, пайку можно определить следующим образом. Процесс соединения металлов в твёрдом состоянии путём введения в зазор припоя, взаимодействующего с основным металлом и образующего жидкую металлическую прослойку, кристаллизация которой приводит к образованию паяного шва.

Пайка подразделяется на *капиллярную, диффузионную, контактно-реакционную, реакционно-флюсовую и пайку-сварку.*

В свою очередь, капиллярная подразделяется на *горизонтальную и вертикальную.*

Диффузионная — на *атомно-диффузионную и реакционно-диффузионную.*

Контактно-реакционная — *с образованием эвтектики и с образованием твёрдого раствора.*

Реакционно-флюсовая — *без припоя и с припоем.*

Пайка-сварка — *без оплавления и с оплавлением.*

Анализируя сущность физико-химических процессов, протекающих на границе основной металл — расплав припоя (при формировании соединения в существующих видах пайки), можно видеть, что различия между капиллярной пайкой, диффузионной пайкой и пайкой-сваркой не носят принципиального характера. Капиллярность является общим признаком пайки. Отличительным признаком диффузионной пайки является длительная выдержка при температуре пайки и изотермическая кристаллизация металла шва в процессе пайки. Других характерных признаков этот метод не имеет, основное назначение его — повысить температуру расплава шва и прочность паяного соединения. Диффузионная пайка может быть развитием любого вида пайки, в том числе капиллярной, реакционно-флюсовой или контактно-реакционной. В последнем случае диффузионная пайка возможна, если второй металл взаимодействующей пары вводится в виде прослойки между соединяемыми металлами. При реакционно-флюсовой пайке происходит совмещение процессов вытеснения из флюса металла, служащего припоем, и его взаимодействия с основным металлом. Наконец, пайка-сварка отличается от других методов пайки количеством вводимого припоя и характером формирования шва, делающим этот метод пайки похожим на сварку плавлением.

### *Припои для электромонтажных работ*

*Припоем* называют металлический сплав, которым соединяют проводники и выводы деталей. Самый хороший припой - чистое олово. Однако оно используется только в исключительных случаях. При электромонтаже чаще применяют легкоплавкий припой, представляющий собой сплав олова и свинца. По прочности пайки он не уступает чистому олову. Буквы в обозначении марки припоя указывают следующее П - припой, О - оловянный, С - свинцовый. Цифры обозначают массовое содержание в припое олова (в процентах). Например, в припое ПОС-18 содержится 18% олова (остальная часть -свинец). Для получения особых свойств в состав оловянно-свинцовых припоев вводят кадмий, висмут, сурьму и другие металлы. Например, ПОСК-50 – оловянно-свинцовый припой с добавлением кадмия (50% олова, 18% кадмия, остальное - свинец); Рекомендуется применять припой ПОС-61

(температура плавления +190 °С) или, в крайнем случае, ПОС-10 (температура плавления +299 °С). Область применения различных видов припоев указана в табл. 1.1. 9 Легкоплавкие припои выпускаются в виде чушек, литых прутков, проволоки, лент фольги, зерен, заполненных канифолью, а также в виде порошков и паст, составленных из порошка припоя и жидкого флюса.

Таблица 1.1 Область применения различных видов припоев

Марка припоя	Температура плавления, °С	Область применения
ПОС-61 ПОС-61М	190	Пайка тонких спиральных пружин в измерительных приборах и других важных деталей из стали, меди, латуни, бронзы, когда недопустим или нежелателен высокий нагрев в зоне пайки. Пайка тонких (диаметром 0.05-0,08 мм) обмоточных проводов, в том числе высокочастотных (литцендрата), выводов обмоток радиоэлементов и микросхем, монтажных проводов в полихлорвиниловой изоляции, а также пайка в тех случаях, когда требуется повышенная механическая прочность и электропроводность
ПОС-50	222	Область применения та же, когда допускается высокая температура нагрева
ПОС-10	299	Лужение и пайка контактных поверхностей электроаппаратуры
ПОСВ-33	130	Пайка плавких предохранителей
ПОСК-50-18	145	Пайка деталей из меди и ее сплавов, не допускающих местного перегрева. Пайка полупроводниковых приборов.

Хороших результатов можно достичь при использовании специального трубчатого припоя, начиненного флюсом. Трубки выпускаются диаметром от 0,25 до 3,2 мм. Наибольшей популярностью пользуются трубчатые припои ПОС-61 с содержанием флюса 1%. В большинстве случаев они не требуют удаления остатков флюса после пайки. Для пайки поверхностей с плохой паяемостью можно использовать трубчатый припой с активным водосмываемым флюсом HYDRO-X (состав припоя: олово - 95,5%, серебро - 3,8%, медь - 0,7%). Паяльные пасты пользуются заслуженным уважением благодаря высокому качеству и уникальным техническим характеристикам. Они могут применяться для трафаретной печати, имеют слабый запах, отличные клеящие свойства по удержанию компонентов до пайки и незначительное количество остатков после ее выполнения. Выпускаются такие пасты в банках по 0,5 кг и в шприцах по 25 г для дозированного нанесения.

#### *Флюсы для пайки*

*Флюс* - вещество, которое защищает поверхность металла и припоя от окисления, поскольку во время пайки температура соединяемых деталей повышается, и скорость окисления их поверхности значительно возрастает. 10 Вследствие этого припой не смачивает соединяемые детали. Для растворения и удаления оксидов применяют флюсы. Они надежно защищают поверхность металла и припоя от окисления и способствуют диффузии металлической поверхности и расплавленного припоя. По действию, оказываемому на подвергающийся пайке металл, флюсы разделяют на химически активные (в большинстве своем кислотные) и химически пассивные (на основе канифоли). При монтаже электр- и

радиоаппаратуры применение кислотных флюсов (табл. 1.2) не допускается, так как с течением времени их остатки разрушают место пайки и изделие выходит из строя. К бескислотным флюсам (табл. 1.3) относятся канифоль и составы, приготовленные на ее основе с добавлением неактивных веществ (спирта, скипидара, глицерина). Остаток канифоли не гигроскопичен и не вызывает коррозии паяного соединения. Самым простым флюсом является канифоль.

Таблица 1.2. Активные (кислотные) флюсы

Название и состав. %	Область применения	Способ удаления остатков
Кислота паяльная: - хлористый цинк – 25-30; - соляная кислота – 0,6-0,7; вода	Пайка деталей из черных и цветных металлов	Тщательная промывка в воде
Флюс-паста водная: - хлористый цинк (насыщенный раствор) – 3,7; - вазелин технический – 85; дистиллированная вода	Область применения та же, когда по роду работы удобнее пользоваться пастой	Тщательная промывка в воде

Но можно воспользоваться «природной» канифолью, совершив прогулку в сосновый лес. Наберите смолы, растопите ее в жестяной банке на слабом огне, чтобы избежать воспламенения. Расплавленную массу разлейте в спичечные коробки или другие подходящие емкости. После застывания смола-канифоль готова к употреблению. Канифольный флюс дешев и доступен, но не всегда удобен в применении. Поэтому в практике все большую популярность приобретает жидкая канифоль, которая очень хорошо зарекомендовала себя при пайке в труднодоступных местах. Ее можно изготовить самостоятельно. Твердую канифоль измельчают в порошок, высыпают его в емкость, например, с глицерином, помешивая раствор палочкой и добавляя канифоль до получения густой кашицы. Хранить такую канифоль необходимо в пузырьке с плотно закрывающейся крышкой, а наносить на спаиваемые места тонкой палочкой или проволокой. При отсутствии глицерина можно использовать этиловый или борный спирт.

Таблица 1.3. Бескислотные флюсы

Состав, %	Область применения	Способ удаления остатка
Канифоль светлая сосновая	Пайка и лужение латуни, меди, бронзы мягкими и легкоплавкими припоями	Протирка кистью или тампоном, смоченным в спирте или ацетоне
Флюс вазелиновая: - канифоль – 6-9; - вазелиновая мазь – 14-50; - спирт этиловый	Область применения та же, при лужении печатных плат	Протирка мягкой тканью, смоченной в спирте или ацетоне
Паста канифольно-вазелиновая: - порошок канифоли; - вазелиновая мазь	Область применения та же, при лужении печатных плат	Протирка мягкой тканью, смоченной в спирте или ацетоне

Применение спирто-канифольного флюса позволяет получить высокое качество пайки, кроме того, она выглядит аккуратнее. Однако флюс быстро засыхает на кисточке, и по окончании работы ее приходится отмывать в спирте. Намного удобнее наносить флюс одноразовым шприцем объемом 2 или 5 см<sup>3</sup>. В него надо набрать немного жидкого флюса, а остальной объем заполнить воздухом. Слегка сжимая шприц пальцами, выдавливают каплю флюса на место пайки. Для удобства работы иглу шприца следует затупить. Чтобы флюс не засыхал в канале иглы, после пайки в шприц надо набрать немного воздуха, держа его иглой вверх. В таком же положении и хранят шприц с флюсом. Если флюс все-таки засох, достаточно коснуться кончиком иглы разогретого паяльника - игла сразу же очистится. Остатки флюса после пайки легко удаляются лоскутом мягкой ткани, а плата промывается спиртом, бензином или ацетоном. Хороших результатов можно достичь, используя специальные промывочные жидкости (например, немецкой фирмы ZESTRON). Они обладают высокой растворяющей способностью любых типов загрязнений, возникающих на поверхности печатных узлов в процессе проверки и сборки.

#### Задание:

1. Изучить теоретический материал
2. Составить структурную схему классификации пайки
3. Ответить на контрольные вопросы

#### Контрольные вопросы

1. Дайте определение пайки
2. Укажите назначение припоя
3. Укажите назначение флюса
4. Каким припоем чаще всего пользуются электромонтажники?
5. Каким веществом принято заменять флюс?

### **Практическое занятие №18. Приготовление электролитов для аккумуляторов и определение плотности электролита**

Цель работы: научиться составлять пропорции серной кислоты и дистиллированной воды при приготовлении электролита с учетом правил техники безопасности.

#### Теоретические сведения



В числе других химических продуктов в автохозяйствах широко используются серная и соляная кислоты, каустическая и кальцинированная сода.

Серная кислота ( $H_2SO_4$ ) используется в автохозяйствах главным образом для приготовления электролита кислотных аккумуляторов, представляющего собой раствор серной кислоты в дистиллированной воде, причем выпускается специальная серная кислота сорта А и Б, содержащая меньшее количество механических примесей, чем обычная техническая серная кислота.

Техническая серная кислота используется для составления электролита при хромировании и омеднении деталей и др.

Чистая безводная серная кислота – бесцветная вязкая тяжелая жидкость. При обычной температуре – не летуча и не имеет запаха. Серная кислота, содержащая 95 %  $H_2SO_4$  и 5 % воды ( $H_2O$ ), имеет плотность 1,84 г/см<sup>3</sup>.

Серная кислота обладает сильными окислительными свойствами и обугливает органические вещества. Она хорошо соединяется с водой и поглощает водяные пары из воздуха, соединение протекает бурно, с выделением большого количества тепла.

Аккумуляторная серная кислота имеет плотность 1,83 г/см<sup>3</sup>, а плотность электролита в зависимости от климатической зоны и типа аккумуляторной батареи колеблется от 1,25 до 1,31 г/см<sup>3</sup>.

В северных районах содержание кислоты в электролите, а следовательно, и его плотность должны быть более высокими, чем в южных, чтобы не допустить замерзания электролита. Электролит плотностью 1,31 г/см<sup>3</sup> не замерзает даже при температуре минус 60°C, а при плотности 1,15 г/см<sup>3</sup> замерзает уже при минус 14°C.

Плотность электролита измеряется ареометром с резиновой грушей. Плотность изменяется с изменением температуры, и путем расчета на основании температурной поправки плотность приводится к 20°C.

Для приготовления электролита нужной плотности в целях большей безопасности рекомендуется вначале крепкую серную кислоту разбавить дистиллированной водой до плотности 1,4 г/см<sup>3</sup>, а затем готовить из нее электролит. Количество серной кислоты или раствора плотности 1,4 г/см<sup>3</sup>, необходимое для приготовления электролита данной плотности при 20°C, можно определить по данным таблицы.

Состав электролита

Плотность электролита при 20°C	На 1 л воды добавить серной кислоты плотностью 1,83 г/см <sup>3</sup> при 20°C	На 1 л раствора серной кислоты плотностью 1,4 г/см <sup>3</sup> при 20°C, добавить воды, л
1,22	0,255	0,820
1,24	0,295	0,670
1,25	0,300	0,600
1,28	0,365	0,430
1,30	0,405	0,330
1,31	0,425	0,290
1,4	0,650	0,000

При приготовлении электролита нужно вливать только кислоту (в том числе и разбавленную) в воду, но не наоборот, так как происходит вскипание воды и разбрызгивание капель горячей кислоты. В случае попадания на кожу серная кислота вызывает сильные ожоги. Поэтому при работе с серной кислотой следует надевать очки, резиновые перчатки, резиновый передник и резиновые сапоги. Попавшую на тело серную кислоту нужно сейчас же смыть большим количеством воды, а затем слабым раствором пищевой соды или нашатырного спирта.

Соляная кислота (НС1) применяется для удаления накипи в системе охлаждения, для травления поверхности деталей перед лужением и пайкой, для приготовления электролита при омеднении и др.

Соляная кислота является раствором хлористого водорода в воде (до 40 % по весу) и представляет собой бесцветную дымящуюся на воздухе (вследствие выделения хлористого водорода) жидкость. Соляная кислота, применяемая для технических целей, окрашена различными примесями и обычно имеет желтоватый цвет и едкий, удушливый запах. Соляная кислота разрушает металлы. Попадание ее на кожу столь же опасно, как и серной кислоты, поэтому при работе с ней должны соблюдаться те же меры предосторожности.

Каустическая сода (№ОН) или едкий натр используются в виде раствора, главным образом для удаления нагара и грязи с деталей, для их обезвреживания. По внешнему виду каустическая сода представляет собой белое твердое вещество, активно поглощающее из воздуха влагу и углекислый газ. Она поставляется в герметических железных бочках и должна храниться также без свободного доступа воздуха. Попадание твердой каустической соды на кожу вызывает сильные ожоги, поэтому при работе с ней нужно находиться в защитных очках, резиновых перчатках и переднике.

Кальцинированная сода (Са2СО3) используется также для очистки деталей, и прежде всего алюминиевых. Чаще всего кальцинированная сода поступает в автохозяйства в виде белого порошка, но может поставляться и в виде крупных белых кристаллов.

#### *Измерение плотности электролита кислотных аккумуляторов*

Плотность электролита у аккумуляторов С должна быть 1,20 — 1,21 г/см<sup>3</sup>, а у аккумуляторов АБН-72 и АБН-80 — 1,23 г/см<sup>3</sup>. Все аккумуляторы в батарее должны иметь одинаковую плотность, не отличающуюся в отдельных аккумуляторах от номинального значения более чем на 0,01 г/см<sup>3</sup>. В районах, где температура в зимнее время от минус 30 до минус 40 °С, плотность электролита необходимо увеличить до 1,26— 1,30 г/см<sup>3</sup>. Плотность электролита измерять ареометром с пределами измерения 1,1—1,3 г/см<sup>3</sup>. Для измерения ареометр погрузить в электролит между стенкой аккумуляторного сосуда и крайней минусовой пластиной. Для аккумуляторов закрытого типа применять ареометры с пипеткой (типа А). Если плотность электролита у аккумуляторов С равна или выше 1,20 г/см<sup>3</sup>, то для доливки применять дистиллированную воду.

Если у заряженного полностью аккумулятора плотность электролита ниже 1,20 г/см<sup>3</sup>, то применять раствор электролита плотностью 1,20—1,21 г/см<sup>3</sup>. При плотности электролита заряженных аккумуляторов АБН-72 и АБН-70 менее 1,23 г/см<sup>3</sup> в аккумулятор доливать электролит плотностью 1,26 г/см<sup>3</sup>, а при повышении его плотности более 1,23 г/см<sup>3</sup> — дистиллированную воду.

#### *Измерение плотности электролита щелочных аккумуляторов*



Один раз в шесть месяцев эксплуатации аккумуляторной батареи электромеханик измеряет уровень и плотность электролита аккумуляторов. Для проверки следует вывернуть вентиляционные пробки, а затем визуально убедиться в наличии зеркала электролита в каждом аккумуляторе. Уровень электролита в щелочных аккумуляторах должен возвышаться над контактными планками на 25—30 мм. В случае необходимости в аккумуляторы доливают дистиллированную воду до уровня 25—30 мм над электродами. После перемешивания электролита с помощью заливной груши плотность электролита должна быть 1,19— 1,21 г/см<sup>3</sup>. Снижение или увеличение плотности электролита в аккумуляторах не является браковочным признаком, но служит сигналом для корректировки плотности. Плотность электролита измеряют ареометром АЭ-1. По окончании проверки вентиляционные пробки устанавливают на место.

#### Контрольные вопросы

1. Какие вещества называют электролитами? Их основные свойства.
2. Основные свойства растворов электролитов (электролитов), их отличие от растворов других веществ.
3. Процессы сольватации или гидратации при приготовлении растворов электролитов.
4. Роль электролитов в электрохимических реакциях и процессах.
5. Основные правила приготовления электролитов, основы безопасности при работе с электролитами.
6. Как происходит измерение плотности щелочных и кислотных аккумуляторов?