

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухов Тимур Александрович

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского  
федерального университета

Дата подписания: 18.04.2024 16:10:00

Уникальный программный ключ:

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

## Методические указания

по выполнению лабораторных работ

по дисциплине «ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ И КОНСТРУКЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕ-  
ДЕНИЕ»

для студентов направления подготовки

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

| №<br>п/п |                                                                                                                                                                      | Стр. |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
|          | Введение                                                                                                                                                             |      |
| 1.       | Цель и задачи изучения дисциплины                                                                                                                                    |      |
| 2.       | Оборудование и материалы                                                                                                                                             |      |
| 3.       | Наименование лабораторных работ                                                                                                                                      |      |
| 4.       | Содержание лабораторных работ                                                                                                                                        |      |
| 4.1      | Лабораторная работа № 1. Классификация веществ по электрическим свойствам. Определение температурного коэффициента сопротивления.                                    |      |
| 4.2      | Лабораторная работа № 2. Классификация веществ по электрическим свойствам. Измерение сопротивлений и определение удельных сопротивлений проводников.                 |      |
| 4.3      | Лабораторная работа № 3. Диэлектрики. Определение диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь изоляционных материалов.                      |      |
| 4.4      | Лабораторная работа № 4. Диэлектрики. Снятие поляризационной характеристики диэлектрика и её зависимости от температуры.                                             |      |
| 4.5      | Лабораторная работа № 5. Магнитные материалы. Снятие петли гистерезиса ферромагнитного материала с помощью осциллографа и построение основной кривой намагничивания. |      |
| 4.6      | Лабораторная работа № 6. Магнитные материалы. Снятие петли гистерезиса ферромагнитного материала с помощью осциллографа и определение точки Кюри.                    |      |
| 4.7      | Лабораторная работа № 7. Магнитные материалы. Снятие начальной кривой намагничивания ферромагнитных материалов и определение магнитной проницаемости.                |      |
| 5        | Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины                                                                                                          |      |
| 5.1      | Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины                                                                                   |      |
| 5.2      | Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине                                                                           |      |
| 5.3      | Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины                                                              |      |

## Приложения

## Введение

Целью работы в лаборатории является углубление и закрепление приобретенных теоретических знаний путем экспериментальной проверки теоретических положений, а также знакомство с электронными компонентами, оборудованием, измерительными приборами и аппаратурой, используемыми в лаборатории.

В результате выполнения лабораторных работ студенты должны приобрести умения и навыки по сборке и исследованию электронных схем и приборов, измерениям электрических величин. Тематика лабораторных работ полностью соответствует содержанию основных разделов курса, изучаемого в высших технических учебных заведениях. В предлагаемом учебном пособии описано одиннадцать лабораторных работ. В описании каждой лабораторной работы сформулирована ее цель, изложены основные теоретические положения, описана схема установки для проведения экспериментального исследования, даны рекомендации по проведению опытов и обработке результатов измерений, а также контрольные вопросы.

## **1. Цель и задачи изучения дисциплины**

Целью дисциплины является изучение состава и свойств конструкционных и электротехнических материалов в зависимости от их химического состава, структуры и той среды, в которой им предстоит находиться или работать.

Задачами изучения дисциплины являются:

- знакомство с основными достижениями в области электротехнического и конструкционного материаловедения;
- понимание процессов и явлений, которые происходят в электротехнических и конструкционных материалах при различных воздействиях;
- умение влиять на свойства материалов с помощью технологических процессов, позволяющих предотвращать вредные воздействия окружающей среды в процессе работы соответствующего оборудования.

## **2. Оборудование и материалы**

Аппаратные средства:

- Комплект учебно-лабораторного оборудования «Электротехнические материалы».

Учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения. Переносной ноутбук, проектор, доска магнитно-маркерная.

## **3. Наименование лабораторных работ**

Для заочной формы обучения предусмотрены следующие лабораторные работы: Лабораторная работа № 3. Диэлектрики. Определение диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь изоляционных материалов – 2 часа; Лабораторная работа № 6. Магнитные материалы. Снятие петли гистерезиса ферромагнитного материала с помощью осциллографа и определение точки Кюри – 2 часа.

| № Темы дисциплины | Наименование тем дисциплины, их краткое содержание                                                                                       | Объем часов | Из них практическая подготовка, часов |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------|
| 4 семестр         |                                                                                                                                          |             |                                       |
| 1                 | <b>Лабораторная работа № 1. Классификация веществ по электрическим свойствам.</b> Определение температурного коэффициента сопротивления. | 4           |                                       |

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |  |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|--|
|   | Определение температурных коэффициентов сопротивления различных проводников и полупроводников, а также прямого напряжения р-п перехода кремниевого диода.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |   |  |
| 2 | <b>Лабораторная работа № 2. Классификация веществ по электрическим свойствам.</b> Измерение сопротивлений и определение удельных сопротивлений проводников.<br>В учебных целях определить материал проводника путём измерения его сопротивления и вычисления удельного сопротивления.                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 2 |  |
| 3 | <b>Лабораторная работа № 3. Диэлектрики.</b> Определение диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь изоляционных материалов.<br>Определение основных характеристик изоляционных материалов: относительной диэлектрической проницаемости ( $\varepsilon$ ) и тангенса угла диэлектрических потерь ( $\operatorname{tg}\delta$ ). Приобретение навыков измерения параметров электрических цепей с помощью прибора Е7-22.                                                                                                                                          | 4 |  |
| 4 | <b>Лабораторная работа № 4. Диэлектрики.</b> Снятие поляризационной характеристики диэлектрика и её зависимости от температуры.<br>Снять экспериментально кулон-вольтовую характеристику нелинейного конденсатора $q(u)$ при различных температурах. При одном из значений температуры рассчитать и построить поляризационную характеристику диэлектрика $P(E)$ , и зависимость относительной диэлектрической проницаемости от напряжённости электрического поля ( $E$ ), приняв площадь поверхности обкладки конденсатора $S = 300\text{мм}^2$ и толщину изоляции $d = 0,01\text{ мм}$ . | 2 |  |
| 5 | <b>Лабораторная работа № 5. Магнитные материалы.</b> Снятие петли гистерезиса ферромагнитного материала с помощью осциллографа и построение основной кривой намагничивания.<br>Получить на осциллографе петлю гистерезиса ферромагнетика, снять экспериментально основную кривую намагничивания, рассчитать и построить зависимость относительной магнитной проницаемости от напряжённости магнитного поля.                                                                                                                                                                               | 2 |  |
| 6 | <b>Лабораторная работа № 6. Магнитные материалы.</b> Снятие петли гистерезиса ферромагнитного материала с помощью осциллографа и определение точки Кюри.<br>Снять экспериментально петлю гистерезиса ферромагнетика при различных температурах,                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 2 |  |

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                           |           |  |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--|
|   | определить температуру Кюри и намагниченность насыщения.                                                                                                                                                                                                                                  |           |  |
| 7 | <b>Лабораторная работа № 7. Магнитные материалы.</b> Снятие начальной кривой намагничивания ферромагнитных материалов и определение магнитной проницаемости.<br>Снять экспериментально начальную кривую намагничивания ферромагнетика, рассчитать и построить графики $B(H)$ и $\mu(H)$ . | 2         |  |
|   | <b>Итого за 4 семестр:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>18</b> |  |
|   | <b>Итого:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>18</b> |  |

#### **4. Содержание лабораторных работ**

##### **Лабораторная работа № 1. Классификация веществ по электрическим свойствам. Определение температурного коэффициента сопротивления.**

**Цель работы:** Определение температурных коэффициентов сопротивления различных проводников и полупроводников, а также прямого напряжения р-п перехода кремниевого диода.

##### **Основы теории:**

Температурный коэффициент электрического сопротивления – величина, равная отношению изменению электрического сопротивления участка электрической цепи или удельного сопротивления вещества при изменении температуры на единицу.

Температурный коэффициент сопротивления характеризует зависимость электрического сопротивления от температуры и измеряется в кельвинах в минус первой степени ( $K^{-1}$ ).

Для большинства металлов температурный коэффициент сопротивления положителен: их сопротивление растёт с ростом температуры, так как вследствие усиления колебаний узлов кристаллической решетки с ростом температуры появляется все больше и больше препятствий на пути направленного движения свободных электронов под действием электрического поля, т. е. уменьшается средняя длина свободного пробега электрона  $\lambda$ , уменьшается подвижность электронов и, как следствие, уменьшается удельная проводимость металлов и возрастает удельное сопротивление.

Для полупроводников без примесей он отрицателен (сопротивление с ростом температуры падает), поскольку при повышении температуры всё большее число электронов переходит в зону проводимости, соответственно увеличивается и концентрация дырок. Качественно такой же характер (и по тем же причинам) имеет температурная зависимость сопротивления твёрдых и неполярных жидких диэлектриков. Полярные жидкости уменьшают своё удельное сопротивление с ростом температуры более резко вследствие роста степени диссоциации и уменьшения вязкости.

Температурная зависимость сопротивления металлических сплавов, газов, легированных полупроводников и электролитов носит более сложный характер.

Существуют сплавы (константан, манганин), имеющие очень малый температурный коэффициент сопротивления, то есть их сопротивление очень слабо зависит от температуры. Эти сплавы применяются в электроизмерительной аппаратуре.



Температурный коэффициент удельного сопротивления или средний температурный коэффициент удельного сопротивления выражается:

$$\alpha_{\rho} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{dT}, \alpha = \frac{1}{\rho} \frac{\rho_2 - \rho_1}{T_2 - T_1}$$

где  $\rho_1, \rho_2$ — удельные сопротивления проводника при температурах  $T_1$  и  $T_2$  соответственно  $T_2 > T_1$ .

В технических справочниках обычно приводится величина  $\alpha$ , с помощью которой можно приближенно определить  $\rho$  при произвольной температуре  $T$ :

$$\rho = \rho_1(1 + \alpha_{\rho}(T - T_1))$$

Это выражение дает точное значение удельного сопротивления только для линейной зависимости  $\rho(T)$ . В остальных случаях этот метод является приближенным; он тем точнее, чем уже интервал температур, который использован для определения  $\alpha_{\rho}$ .

При выполнении эксперимента определяются температурные коэффициенты:

1. Полупроводникового резистора с положительным температурным коэффициентом (PTC). Используются резисторы КТ110, КТУ81 или аналогичные. Маркировка: «600.13-1; PTC».

2. Металлической пленки резисторов типа MF, C2-33H или аналогичных. Маркировка: «600.19-1; MF».

3. Углеродной пленки резисторов типа CF, C2-14 или аналогичных. Маркировка: «600.19-2; C».

4. Полупроводникового резистора с отрицательным температурным коэффициентом (NTC). Используются резисторы B57861S, B57891M или аналогичные. Маркировка: «600.19-3; NTC».

5. Медного провода (термопреобразователь сопротивления медный типа дТС014-50М.В3.20/0,2. Номинальное сопротивление при 0°C – 50 Ом). Маркировка: «600.19-4; Cu».

6. Прямого напряжения p-n перехода кремниевого диода при постоянном токе. Используются диоды КД522, 1N4148 или аналогичные. Маркировка: «600.19-5; диод Si».

При выполнении работы используется электронагреватель (394.2). В блок встроен нагреватель с измерителем-регулятором температуры. Испытываемый образец вставляется в отверстие на лицевой панели нагревателя и с помощью мультиметра измеряется его выходное сопротивление или напряжение.

### **Блок электронагревателя**

Блок электронагревателя (рис. 1.1) используется для определения температурного коэффициента сопротивления различных материалов. Блок позволяет задать и автоматически поддерживать температуру нагревателя. В блоке установлен маломощный источник +5 В, используемый как дополнительный источник питания в некоторых экспериментах.

Слева от индикаторов 3 и 4 (рис. 1.1) на лицевой панели регулятора температуры установлены 4 светодиода

K1 – включен при нагреве;

K2 – не используется;

AL – индикатор превышения предельных значений (не используется).

RS – индикатор режима автоматического регулирования. Должен быть включен для нормальной работы блока в режиме автоматического регулирования. При выключении автоматического регулирования (см. ниже) прибор работает только как индикатор температуры нагревателя.

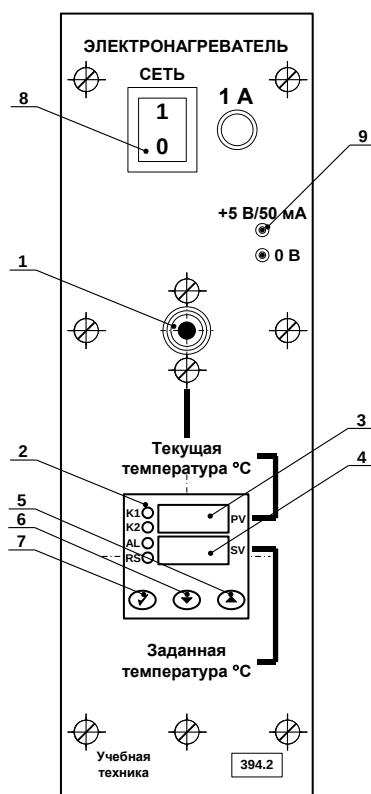


Рисунок 1.1 – Лицевая панель блока электронагревателя.

1 – отверстие нагревателя; 2 – измеритель-регулятор температуры; 3 – индикатор текущего значения температуры нагревателя (PV); 4 – индикатор заданного значения температуры нагревателя (SV); 5,6,7 – кнопки управления регулятором температуры; 8 – выключатель питания; 9 – гнезда источника питания +5 В.

### ***Задание температуры электронагревателя.***

1. Нажать одну из кнопок управления 5 или 6 регулятора температуры 2 (рис. 1.1).

Начинает мигать индикатор заданного значения температуры нагревателя (SV, зеленый индикатор 4).

2. Для изменения заданного значения температуры повторно нажать кнопки 5 (уменьшение) или 6 (увеличение температуры). Удержание кнопки в течение некоторого времени включает режим автоматического ускоренного изменения значения. В процессе установки индикатор продолжает мигать.

3. После установки требуемого значения температуры необходимо однократно нажать кнопку 7 (рис. 1.1). Мигание индикатора 4 прекращается. Температура задана.

При выполнении экспериментов рекомендуется начинать с низких значений температуры (на 5...10° выше комнатной) и постепенно повышать её величину до 100° С, т. к. остывание электронагревателя происходит гораздо медленнее его нагрева.

### ***Включение (отключение) режима автоматического регулирования.***

При включении питания электронагревателя режим автоматического регулирования выключен. При выполнении экспериментов целесообразно задать начальное значение температуры и, после этого, включить режим автоматического регулирования.

Переключение режима автоматического регулирования:

1. Однократно нажать кнопку 7 (рис. 1.1) регулятора температуры. На индикаторе 3 (красный, PV) отобразиться надпись «г-S». На индикаторе 4 (зеленый, SV) текущее состояние регулятора «StoP» (СТОП) или «гUn» (РАБОТА).

2. Для изменения состояния регулятора нажать любую из кнопок 5 или 6 – индикатор 4 начнет мигать. Повторное нажатие кнопки 5 или 6 переключит режим («StoP»↔«гUn»).

3. Нажатие кнопки 7 фиксирует выбранное значение (индикатор 4 не мигает). Повторное нажатие кнопки 7 возвращает регулятор температуры в исходное состояние – на индикаторе отображаются текущее и заданное значения температуры. Светодиод RS сигнализирует о состоянии регулятора: включен – режим «гUn» (РАБОТА), выключен - «StoP» (СТОП).

### ***Схема электрических соединений***

Схема электрических соединений при определении температурных коэффициентов сопротивления показана на рис. 1.2.

Все образцы подключаются к гнездам «VΩ» и «COM» мультиметра MY60T (блок 1416) и устанавливается один из пределов измерения сопротивления, соответствующий сопротивлению образца. При подключении кремниевого диода (образец 600.19-5, диод Si) необходимо соблюдать полярность: анод (красный провод) подключается к гнезду «VΩ», а

катод (черный или синий провод) – к гнезду «COM». Для определения прямого напряжения на диоде в милливольтках используется предел измерения « $\rightarrow$ ». В этом случае через диод протекает постоянный прямой ток в диапазоне 1...1,5 мА. Точное значение тока можно измерить дополнительным мультиметром, включенным последовательно с испытываемым диодом.

Однофазный источник питания G1 предназначен для безопасного питания блока электронагревателя.

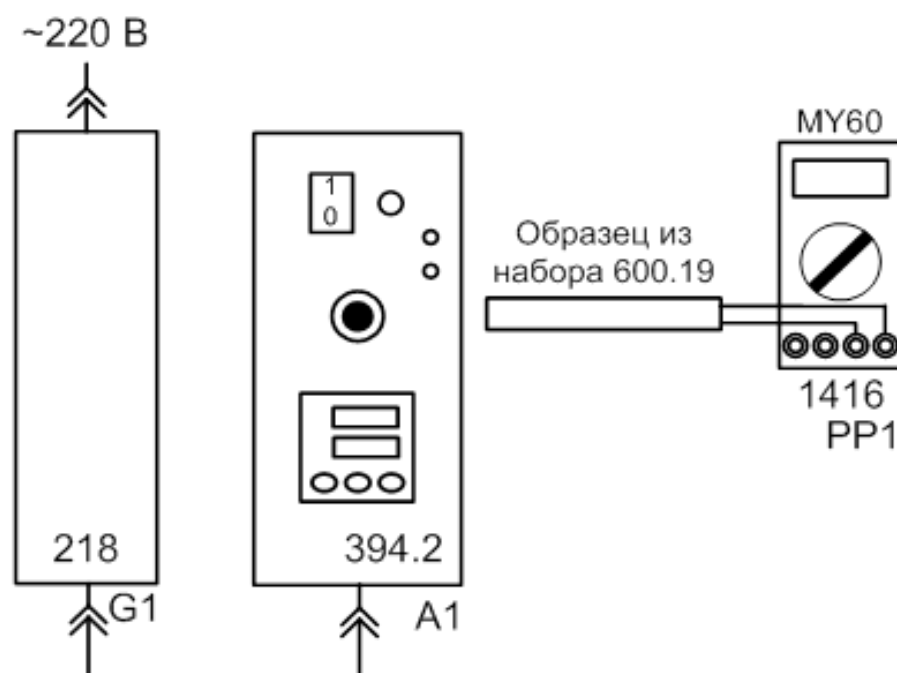


Рисунок 1.2 – Схема для определения температурного коэффициента сопротивления.

Все образцы подключаются к гнездам «VΩ» и «COM» мультиметра MY60T (блок 1416) и устанавливается один из пределов измерения сопротивления, соответствующий сопротивлению образца. При подключении кремниевого диода (образец 600.19-5, диод Si) необходимо соблюдать полярность: анод (красный провод) подключается к гнезду «VΩ», а катод (черный или синий провод) – к гнезду «COM». Для определения прямого напряжения на диоде в милливольтках используется предел измерения « $\rightarrow$ ». В этом случае через диод протекает постоянный прямой ток в диапазоне 1...1,5 мА. Точное значение тока можно измерить дополнительным мультиметром, включенным последовательно с испытываемым диодом.

Однофазный источник питания G1 предназначен для безопасного питания блока электронагревателя.

| Обозначение | Наименование                | Тип    | Параметры                     |
|-------------|-----------------------------|--------|-------------------------------|
| G1          | Однофазный источник питания | 218    | ~ 220 В / 16 А                |
| A1          | Электронагреватель          | 394.2  | 30...100°C,<br>источник +5 В, |
|             | Набор образцов резисторов   | 600.19 | 6 образцов.                   |
| PP1         | Мультиметр                  | 1416   | МУ60Т                         |

***Указание по технике безопасности:***

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

***Указания по выполнению лабораторной работы:***

1. Проверьте схему электропитания блоков электронагревателя и источника питания G1. Убедитесь, что выключатели «СЕТЬ» этих блоков отключены.
2. Соедините блоки в соответствии со схемой электрической соединений рис. 1.2.
3. Выберите значения температуры, при которых Вы хотите измерить сопротивления образцов. Из-за инерционности нагревателя целесообразно выбрать не более 5...7 точек в диапазоне температур до 100°C. Начальное значение – комнатная температура.
4. Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.
5. Включите выключатель «СЕТЬ» блока электронагревателя.
6. При включении питания автоматический режим регулятора температуры электронагревателя выключен. Установите требуемую температуру (см. раздел «Блок электронагревателя»). Включите автоматический режим регулятора температуры. Начнется разогрев нагревателя (включены светодиоды индикаторов K1 и RS).
7. Измерьте сопротивление образцов при комнатной температуре. Для исключения нагрева образцов от рук их необходимо брать за корпус вблизи выводов.
8. После стабилизации температуры нагревателя вблизи заданного значения поочередно вставьте каждый из образцов в отверстие нагревателя до упора. Выждите 2..3 минуты для стабилизации температуры и измерьте сопротивление образца.
9. Задайте следующее значение температуры, дождитесь её стабилизации и повторите измерения сопротивления образцов. При высоких температурах образцов будьте осторожны: не касайтесь рабочей части образца, извлеченного из нагревателя.
10. По результатам измерений постройте графики зависимостей сопротивления образцов (или напряжения для диода) от температуры.

11. По завершении измерений отключите питание всех блоков.
12. По результатам испытания отберите образцы, имеющих линейную зависимость сопротивления от температуры, и вычислите их температурный коэффициент сопротивления

$$\alpha = \frac{R(t_2) - R(t_1)}{R(t_1) \cdot t_2 - R(t_2) \cdot t_1}$$

где  $R(t_2)$ ,  $R(t_1)$  - сопротивление образца, соответственно при температуре  $t_2$  и  $t_1$ .

$\alpha$  [град<sup>-1</sup>] - температурный коэффициент сопротивления образца.

Сопротивление образца при произвольной температуре  $t$  вычисляется по формуле:

$$R(t) = R(t_1) \cdot \frac{1 + \alpha \cdot t}{1 + \alpha \cdot t_1}$$

При определении сопротивления только одного образца порядок выполнения эксперимента можно изменить.

- Соберите схему рис. 1.2.
- Установите испытываемый образец в отверстие нагревателя.
- Задайте температуру 100°C и включите автоматический режим регулятора температуры («Un», режим «РАБОТА», индикатор RS включен). Дождитесь установления заданной температуры и выключите автоматический режим регулятора («StoP», режим «СТОП», индикатор RS выключен).
- По мере снижения температуры нагревателя измерьте сопротивление образца (или напряжение для диода) при нескольких значениях температуры в диапазоне 100...30°C. Ориентировочное время остывания датчика 15...30 мин.
- Обработайте результаты эксперимента в соответствии с приведенными выше рекомендациями.

| T, °C  | 30 | 40 | 60 | 80 | 90 | 100 |
|--------|----|----|----|----|----|-----|
| PTC600 |    |    |    |    |    |     |
| Cu     |    |    |    |    |    |     |
| NTC    |    |    |    |    |    |     |
| MF     |    |    |    |    |    |     |
| Si     |    |    |    |    |    |     |
| C      |    |    |    |    |    |     |

***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

***Контрольные вопросы:***

1. Какова зависимость сопротивления полупроводников и металлов от температуры?
2. Чем отличаются металлы, диэлектрики и полупроводники по своим электрическим свойствам?
3. Почему при низких температурах металлы являются хорошими проводниками, а полупроводники плохими? Каково сопротивление полупроводников при  $T = 0 \text{ K}$ ?
4. Что называют энергией активации полупроводника? Какие величины зависят от этой характеристики полупроводника?

**Лабораторная работа № 2. Классификация веществ по электрическим свойствам. Измерение сопротивлений и определение удельных сопротивлений проводников.**

**Цель работы:** В учебных целях определить материал проводника путём измерения его сопротивления и вычисления удельного сопротивления

**Основы теории:**

При замыкании электрической цепи, на зажимах которой имеется разность потенциалов, возникает электрический ток. Свободные электроны под влиянием электрических сил поля перемещаются вдоль проводника. В своем движении свободные электроны наталкиваются на атомы проводника и отдают им запас своей кинетической энергии. Таким образом, электроны, проходя по проводнику, встречают сопротивление своему движению. При прохождении электрического тока через проводник последний нагревается.

Электрическим сопротивлением проводника обусловлено явление преобразования электрической энергии в тепловую при прохождении электрического тока по проводнику.

Длинный проводник малого поперечного сечения создает току большое сопротивление. Короткие проводники большого поперечного сечения оказывают току малое сопротивление. Если взять два проводника из разного материала, но одинаковой длины и сечения, то проводники будут проводить ток по-разному. Это показывает, что сопротивление проводника зависит от материала самого проводника. Температура проводника тоже оказывает влияние на его сопротивление. С повышением температуры сопротивление металлов увеличивается, а сопротивление жидкостей и угля уменьшается. Только некоторые специальные металлические сплавы (манганин, константан, никелин и др.) с увеличением температуры своего сопротивления почти не меняют.

Итак, мы видим, что электрическое сопротивление проводника зависит от длины проводника, поперечного сечения проводника, материала проводника, температуры проводника.

При сравнении сопротивлений проводников из различных материалов необходимо брать для каждого образца определенную длину и сечение. Тогда мы сможем судить о том, какой материал лучше или хуже проводит электрический ток.

Сопротивление (в омах) проводника длиной 1 м, сечением 1 мм<sup>2</sup> называется удельным сопротивлением и обозначается греческой буквой  $\rho$ /

Удельное сопротивление проводника можно определить по формуле:



$$\rho = R \frac{S}{l} \left[ \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \right]$$

где  $R$  – сопротивление проводника, измеренное при температуре  $20^0\text{C}$ , Ом;

$S$  – постоянное поперечное сечение проводника,  $\text{мм}^2$ ;

$l$  – длина в м.

Вместо единицы  $\text{Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$  предпочтительно применять равную ей по размеру единицу СИ  $\text{мкОм} \cdot \text{м}$ . Связь между названными единицами удельного сопротивления:

$$1 \text{ Ом} \cdot \text{м} = 10^6 \text{ мкОм} \cdot \text{м} = 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$$

В качестве основных проводниковых материалов применяют:

1) материалы высокой проводимости, используемые для изготовления всевозможных обмоток электрических машин, аппаратов и приборов и передачи электрической энергии; от этих материалов требуется, возможно, меньшая величина электрического сопротивления;

2) сплавы высокого сопротивления, используемые для изготовления всевозможных сопротивлений, нагревательных приборов, термопар и др.

К материалам высокой проводимости предъявляют следующие требования: возможно большая проводимость (возможно меньшее удельное сопротивление); возможно меньший температурный коэффициент удельного сопротивления; достаточно высокие механическая прочность, в частности предел прочности при растяжении и удлинение при разрыве; способность легко обрабатываться прокаткой и волочением для изготовления проводов; способность хорошо свариваться и спаиваться, создавая при этом надежные соединения с малым электрическим сопротивлением; достаточная коррозионная устойчивость. Для разных случаев применения эти требования в той или иной степени варьируют. Например, для большинства обмоток электрических машин, аппаратов и проводов выгодней иметь, возможно, меньшее удельное сопротивление, даже если за счет его снижения несколько снизится и предел прочности при растяжении; для троллейных (контактных) воздушных проводов, работающих на разрыв и на истирание, особое значение приобретают повышенные предел прочности при растяжении, твердость, стойкость против истирания.

Значения удельного сопротивления  $\rho$ ,  $\text{мкОм} \cdot \text{м}$  некоторых металлов приведенные ниже:

|        |       |
|--------|-------|
| Олово  | 0,076 |
| Кадмий | 0,210 |
| Свинец | 0,059 |
| Цинк   | 0,045 |

|          |       |
|----------|-------|
| Алюминий | 0,5   |
| Серебро  | 0,024 |
| Медь     | 0,04  |
| Железо   | 0,110 |
| Никель   | 0,062 |

Наименьшим удельным сопротивлением обладает чистый металл. Любые примеси, металлические и неметаллические, повышают удельное сопротивление. Даже примесь металла, имеющего меньшее удельное сопротивление, чем данный повышает его сопротивление, если металлы образуют друг с другом твердый раствор. Это объясняется искажением кристаллической решетки основного металла даже небольшим количеством примеси.

Схема электрическая соединений приведена на рис. 2.1. Для удобства присоединения миниблока с испытываемым проводником к измерителю Е7-22 используется наборное поле блока генераторов напряжений.

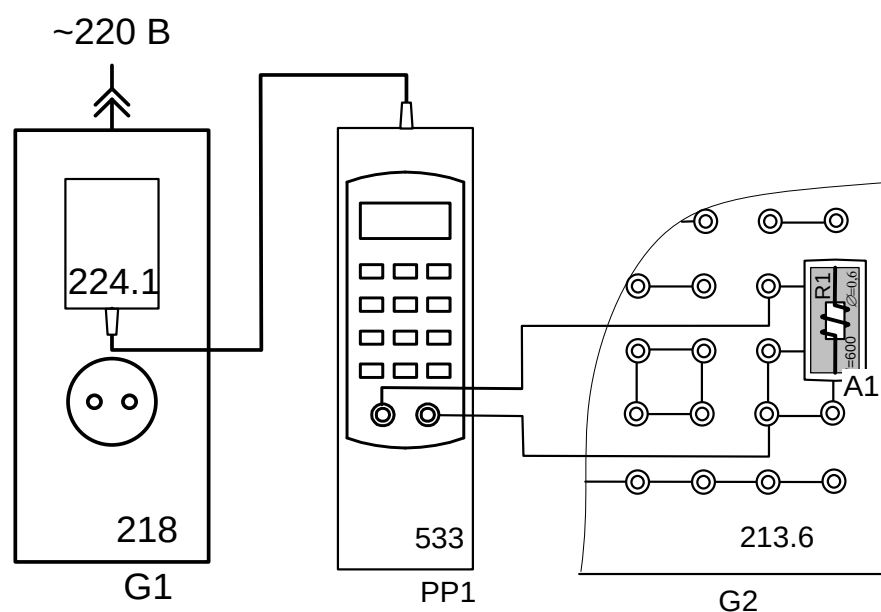


Рисунок 2.1 – Схема электрическая соединений для измерения сопротивлений образцов

| Обозначение | Наименование                                    | Тип    | Параметры                                                                                                                           |
|-------------|-------------------------------------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G1          | Однофазный источник питания                     | 218    | $\sim 220 \text{ В} / 16 \text{ А}$                                                                                                 |
| П2          | Блок генераторов напряжений с наборным полем    | 213.6  | $\pm 15 \text{ В}, 0 \dots +13 \text{ В},$<br>$\sim 0 \dots 12 \text{ В}, \text{ Л } 12 \text{ В}, 0,2 \text{ Гц} \dots 200$<br>кГц |
| A3          | Измеритель R, L, C                              | 534    | Цифровой мультиметр<br>Е7-22                                                                                                        |
| A4          | Набор миниблоков «Электротехнические материалы» | 600.18 | Миниблоки «R1» и «R2»                                                                                                               |

**Указание по технике безопасности:**

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

**Указания по выполнению лабораторной работы:**

Убедитесь, что переключатели «Сеть» блоков, используемых в эксперименте, выключены.

Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений (рис. 2.1). При этом миниблок «**R1**» установите в наборную панель и подключите его к измерителю R, L, C. Подключите блок питания 224.1 к разъему на верхней стороне корпуса прибора Е7-22. Вилку блока питания подключите к свободной розетке однофазного источника питания (218).

Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.

Если прибор Е7-22 (измеритель R, L, C) не включился, кратковременно нажмите левую верхнюю кнопку на лицевой панели прибора - ❶.

Выберите вид измеряемого параметра, нажимая кнопку «L/C/R» пока на дисплее слева не появится символ R. Запишите значение сопротивления, которое показывает прибор в табл. 2.1.

Измените частоту, нажимая кнопку «ЧАСТ», и убедитесь, что на обеих частотах прибор показывает одно и то же значение сопротивления.

Замените миниблок «**R1**» миниблоком «**R2**» и аналогично измерьте сопротивление установленного в нём резистора.

Вычислите удельные сопротивления испытываемых проводников по формуле:

$$\rho = R \frac{S}{l} \left[ \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \right]$$

Таблица 2.1

| Миниблок      | R, Ом | $\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ | Материал<br>(предположительно<br>по справочнику) |
|---------------|-------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| « <b>R1</b> » |       |                                                      |                                                  |
| « <b>R2</b> » |       |                                                      |                                                  |

***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

***Контрольные вопросы:***

1. Почему удельное сопротивление проводника зависит от рода материала?
2. Зависит ли удельное сопротивление от температуры?
3. Как изменится напряжение на участке электрической цепи, если медную проволоку на этом участке заменить никелевой?
4. Назвать известные вам методы определения сопротивления резистора?
5. Как электронная теория электропроводности металлов объясняет природу электрического сопротивления?
6. Почему наличие примесей в металле приводит к увеличению удельного сопротивления проводника?

### ***Лабораторная работа № 3. Диэлектрики. Определение диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь изоляционных материалов.***

**Цель работы:** Определение основных характеристик изоляционных материалов: относительной диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ) и тангенса угла диэлектрических потерь ( $\tan \delta$ ). Приобретение навыков измерения параметров электрических цепей с помощью прибора Е7-22.

#### ***Основы теории:***

Потери энергии в диэлектрике называются диэлектрическими потерями.

Диэлектрические потери по их особенностям и физической природе можно подразделить на четыре основных вида:

- 1) диэлектрические потери, обусловленные поляризацией;
- 2) диэлектрические потери, обусловленные сквозной электропроводностью;
- 3) ионизационные диэлектрические потери;
- 4) диэлектрические потери, обусловленные неоднородностью структуры.

Диэлектрические потери, обусловленные поляризацией особенно отчетливо наблюдаются в веществах, обладающих релаксационной поляризацией: в диэлектриках дипольной структуры и в диэлектриках ионной структуры с неплотной упаковкой ионов.

Релаксационные диэлектрические потери обусловлены нарушением движения частиц под влиянием сил электрического поля.

В температурной зависимости тангенса угла релаксационных диэлектрических потерь наблюдается максимум при некоторой температуре, характерной для данного вещества. При этой температуре время релаксации диэлектрика примерно совпадает с периодом изменения приложенного электрического поля. Если температура такова, что время релаксации частиц значительно больше полупериода изменения приложенного переменного напряжения, то тепловое движение частиц будет менее интенсивным и потери уменьшатся; если температура такова, что время релаксации частиц значительно меньше полупериода изменения напряжения, то интенсивность теплового движения будет больше, связь между частицами уменьшится, в результате чего потери также снизятся.

К диэлектрическим потерям обусловленным поляризацией, следует отнести также так называемые резонансные потери, проявляющиеся в диэлектриках при высоких частотах. Этот вид потерь с особой четкостью наблюдается в некоторых газах при строго определенной частоте и выражается в интенсивном поглощении энергии электрического поля.

Резонансные потери возможны и в твердых веществах, если частота вынужденных колебаний, вызываемых электрическим полем, совпадает с частотой собственных колебаний частиц твердого вещества. Наличие максимума в частотной зависимости  $\operatorname{tg}\delta$  характерно также и для резонансного механизма потерь, однако в данном случае температура не влияет на положение максимума.

Диэлектрические потери, обусловленные сквозной электропроводностью, обнаруживаются в диэлектриках, имеющих заметную объемную или поверхностную проводимость. Диэлектрические потери этого вида не зависят от частоты поля;  $\operatorname{tg}\delta$  уменьшается с частотой по гиперболическому закону.

Диэлектрические потери, обусловленные электропроводностью, возрастают с температурой по экспоненциальному закону  $P_{ат} = A \cdot \exp(-b/T)$ , где  $A$ ,  $b$  – постоянные материала.

Ионизационные диэлектрические потери свойственны диэлектрикам в газообразном состоянии. Ионизационные потери проявляются в неоднородных электрических полях при напряженностях, превышающих значение, соответствующее началу ионизации данного газа. Ионизационные потери можно вычислить по формуле

$$P_{a.u} = A_1 \cdot f \cdot (U - U_u)^3,$$

где  $A_1$  – постоянные коэффициент;

$f$  – частота поля;

$U$  – приложенное напряжение;

$U_u$  – напряжение, соответствующее началу ионизации.

Ионизационное напряжение  $U_u$  зависит от давления, при котором находится газ, поскольку развитие ударной ионизации молекул связано с длиной свободного пробега носителей заряда.

Диэлектрические потери, обусловленные неоднородностью структуры, наблюдаются в слоистых диэлектриках, из пропитанной бумаги и ткани, в пластмассах с наполнителем, в пористой керамике, в миканитах и т.д.

Тангенс угла диэлектрических потерь имеет очень важное значение как электрическая характеристика диэлектрика. Мощность диэлектрических потерь прямо пропорциональна частоте:

$$P = \operatorname{tg}\delta \cdot \omega \cdot C \cdot U^2, \text{ Вт}$$

Однако, следует иметь ввиду, что и  $\operatorname{tg}\delta$  и  $C$  зависят от частоты, причем большим изменениям может подвергаться величина  $\operatorname{tg}\delta$ . В диапазоне частот, в котором произведение  $\operatorname{tg}\delta \cdot C$  растет с ростом частоты, рост диэлектрических потерь будет происходить быстрее, чем рост частоты; в диапазоне частот, в котором произведение  $\operatorname{tg}\delta \cdot C$  уменьшается с ростом

частоты, величина диэлектрических потерь может увеличиваться с ростом частоты более медленно.

Как правило, при высоких частотах диэлектрические потери больше, чем при низких, что создает определенные трудности при выборе электроизоляционных материалов для высокочастотной техники. В высокочастотной технике вместо  $\operatorname{tg}\delta$  часто пользуются понятием добротности изоляции, которую обозначают обычно величиной  $Q$ , обратной величине  $\operatorname{tg}\delta$ .

Тангенс угла диэлектрических потерь, или добротность, могут характеризовать не только конкретный материал, но и изоляционную конструкцию машины, аппарата или прибора в целом. Величина  $\operatorname{tg}\delta$  для большинства жидких и твердых диэлектриков колеблется в пределах от десятитысячных до десятых долей единицы.

Так же одной из важнейших характеристик диэлектрика является его относительная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_r$ . Эта величина представляет собой отношение заряда  $Q$ , полученного при некотором напряжении на конденсаторе, содержащем данный диэлектрик, к заряду  $Q_0$ , который можно было бы получить в конденсаторе тех же размеров и при том же направлении, если бы между электродами находился вакуум.

Относительная диэлектрическая проницаемость вещества не зависит от выбора системы единиц. Для вакуума диэлектрическую проницаемость принимают за единицу, а для любого другого вещества она всегда больше единицы. Относительная диэлектрическая проницаемость показывает, во сколько раз емкость конденсатора с данным диэлектриком больше емкости аналогичного вакуумного конденсатора.

Для определения относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь различных изоляционных материалов измеряются параметры последовательной схемы замещения конденсатора ( $C$  и  $R$ ) с диэлектриком из испытываемого материала. Схема электрическая соединений для измерения параметров конденсатора приведена на рис. 3.1. Плоский конденсатор (блок 2355), между пластинами которого помещен испытываемый диэлектрик, подключается к измерителю параметров RLC E7-22 (блок 533). Блоки питания 218 и 224.1 обеспечивают напряжение питания +12В для E7-22.

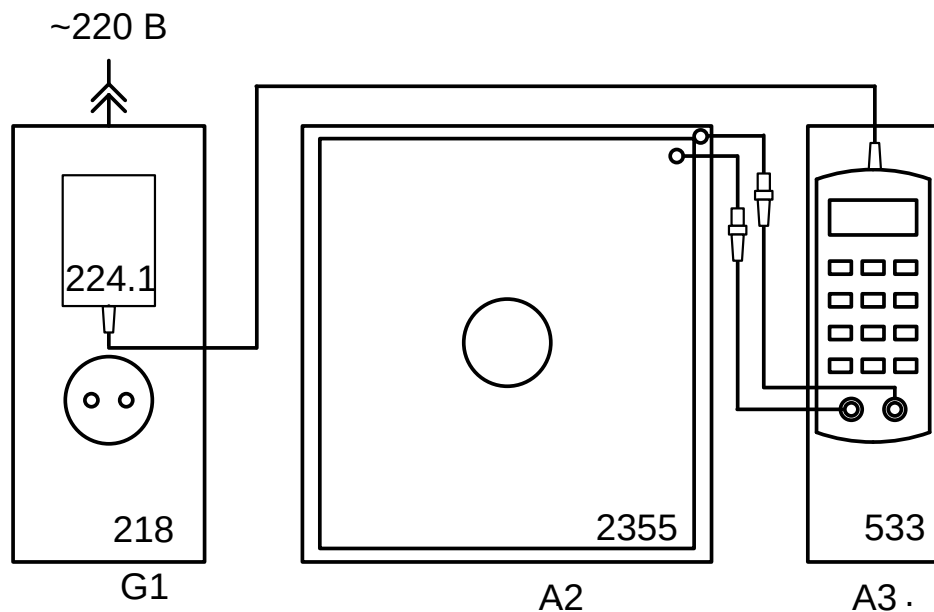


Рисунок 3.1 – Схема электрическая соединений для измерения параметров конденсатора с испытываемым диэлектриком.

Для вычисления относительной диэлектрической проницаемости испытываемого диэлектрика измеренная емкость  $C$  сравнивается с расчетной емкостью конденсатора  $C_0$  с теми же геометрическими размерами, но без диэлектрика (среда между пластинами – вакуум с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon_0$ ). Величина  $C_0 = \varepsilon_0 \frac{S}{d}$ . Отношение емкостей

$$\frac{C}{C_0} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S/d}{\varepsilon_0 S/d} = \varepsilon,$$

т. е. равно относительной диэлектрической проницаемости испытываемого диэлектрика.

Тангенс угла диэлектрических потерь определяется для последовательной схемы замещения конденсатора, состоящей из идеального конденсатора с емкостью  $C$  и, включенного последовательно с ним, сопротивления  $R$ . При измерении на частоте  $\omega$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{R}{1/\omega C},$$

т. е. тангенс диэлектрических потерь равен отношению активного ( $R$ ) и емкостного ( $1/\omega C$ ) сопротивлений цепи. Отсюда можно определить сопротивление  $R$  последовательной схемы замещения конденсатора:

$$R = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\omega C}.$$



| Обозначение | Наименование                | Тип    | Параметры                                    |
|-------------|-----------------------------|--------|----------------------------------------------|
| G1          | Однофазный источник питания | 218    | ~ 220 В / 16 А                               |
| A3          | Измеритель R-L-C            | 533    | Измерение R, L, C при частоте 120 Гц и 1 кГц |
| A2          | Блок конденсатора           | 2355   | Площадь пластин<br>790 кв. см                |
|             | Набор образцов диэлектриков | 600.20 | Образцы диэлектриков размером 285x297 мм     |

***Указание по технике безопасности:***

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

***Указания по выполнению лабораторной работы:***

- Убедитесь, что переключатели «Сеть» блоков, используемых в эксперименте, выключены.
- Подключите блок питания 224.1 к блоку «Измеритель R-L-C» (533) и к розетке «220 В» однофазного источника питания G1 (блок 218) в соответствии со схемой 3.1.
- Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.
- Включите выключатель ❶ «Измерителя R-L-C» (533).  
Выберите:
  - вид измеряемого параметра – емкость C (кнопка «L/C/R»);
  - вспомогательный измеряемый параметр – тангенс дельта D (кнопка «Q/D/R»);
  - схему замещения элемента – последовательную (кнопка «ПАР/ПОСЛ», «SER» на индикаторе);
  - частоту измерения – 120 Гц (кнопка «ЧАСТ»).
- Вложите испытываемый образец диэлектрика между пластинами конденсатора и подключите конденсатор к измерителю RLC, как показано на рис. 3.1. Верхнюю пластину блока конденсатора 2355 необходимо установить примерно по центру нижней пластины с равномерным отступом от краев по всему периметру пластины.
- На расстоянии менее 10...15 см от блока конденсаторов 2355 не должно быть посторонних и электропроводных предметов. **Недопустима подача напряжения от внешних источников на вход прибора и пластины блока конденсатора!**
- Измерьте емкость C и  $tg\delta$  (D) конденсатора 2355 с диэлектриком.

- Вычислите емкость конденсатора без диэлектрика  $C_0 = \varepsilon_0 \frac{S}{d}$ . Площадь  $S$

указана на верхней пластине конденсатора 2355, а расстояние между пластинами  $d$  равно толщине диэлектрика, указанной на испытываемом образце.

- Вычислите относительную диэлектрическую проницаемость испытываемого диэлектрика и сопротивление последовательной схемы замещения

$$\varepsilon = \frac{C}{C_0}, R = \frac{tg \delta}{\omega C}$$

- Занесите результаты измерений в табл. 3.1 и повторите измерения для других образцов диэлектриков.

- Выключите питание блока G1 (218).

Таблица 3.1

| Образец | C, пФ | $tg \delta$ | $\varepsilon$ | R, Ом |
|---------|-------|-------------|---------------|-------|
|         |       |             |               |       |
|         |       |             |               |       |
|         |       |             |               |       |

### ***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

### ***Контрольные вопросы:***

1. Что называется диэлектрическими потерями?
2. Какие виды потерь Вы знаете?
3. Что характеризует относительная диэлектрическая проницаемость?
4. Согласно проведенным испытаниям определите, какой из изоляционных материалов обладает наилучшими свойствами?
5. Что характеризует тангенс угла диэлектрических потерь? Каким показателем можно еще оценить качество изоляции?

#### **Лабораторная работа № 4. Диэлектрики. Снятие поляризационной характеристики диэлектрика и её зависимости от температуры.**

**Цель работы:** Снять экспериментально кулон-вольтовую характеристику нелинейного конденсатора  $q(u)$  при различных температурах. При одном из значений температуры рассчитать и построить поляризационную характеристику диэлектрика  $P(E)$ , и зависимость относительной диэлектрической проницаемости от напряжённости электрического поля  $\epsilon(E)$ , приняв площадь поверхности обкладки конденсатора  $S = 300\text{мм}^2$  и толщину изоляции  $d = 0,01\text{ мм}$ .

#### **Основы теории:**

Обратимое поглощение энергии диэлектриком при создании электрического поля связано с определенным состоянием, которое характеризуется изменением формы орбит электронов в атомах или ионах (в зависимости от структуры диэлектрика). В электрическом поле электроны будут испытывать притяжение со стороны положительных зарядов одного из электродов и отталкивание со стороны отрицательных зарядов другого, в силу чего произойдет некоторое смещение их по направлению к положительному электроду. Это смещение электронов внутри атомов или ионов называется электронной поляризацией. Она превращает каждый атом или ион в диполь, так как центры положительного и отрицательного зарядов уже не будут совпадать и между ними появится некоторое расстояние  $l$ .

Большинство диэлектриков характеризуется линейной зависимостью электрического смещения от напряженности электрического поля, созданного в диэлектрике. Особую группу составляют диэлектрики, в которых с изменением напряженности поля смещение меняется нелинейно, обнаруживая насыщение при некотором значении напряженности поля. Такие диэлектрики называются *сегнетоэлектриками*. Наименование «сегнетоэлектрик» связано с тем, что нелинейность поляризации впервые была обнаружена у сегнетовой соли.

Поляризованная частица будет обладать элементарным электрическим моментом, определяющим уравнением  $\mu = q \cdot l$ , где  $q$ - элементарный заряд

Сумма элементарных электрических моментов в единице объема данного поляризованного диэлектрика численно определяет собой так называемую интенсивность поляризации или поляризованность, которая в большей степени зависит от плотности тела.

В газах обладающих очень малой плотностью, электронная поляризация сравнительно слаба. Этим объясняется тот факт, что у всех газов диэлектрическая проницаемость

очень мало отличается от единицы и в небольшой степени зависит от плотности. В жидких и твердых телах интенсивность электронной поляризации значительно выше.

С увеличением температуры поляризованность при электронной поляризации уменьшается за счет расширения тела.

Диэлектрическая проницаемость при электронной поляризации не зависит от частоты: даже при очень малой продолжительности половины периода электроны успевают сместиться до предела, поэтому для завершения поляризации требуется очень небольшое время, порядка  $10^{-15}$ - $10^{-16}$  сек. Смещение электронов при электронной поляризации носит чисто упругий характер, и при исчезновении электрического поля – при разрядке конденсатора – электроны возвращаются в свое исходное состояние, причем весь процесс происходит без необратимого поглощения энергии. Энергия, израсходованная при создании электрического поля за счет электронной поляризации, т.е. энергия заряженного конденсатора, вся освобождается в процессе разряда – в процессе распада электрического поля.

Кроме электронной поляризации, в некоторых твердых диэлектриках может быть и другой вид поляризации – ионная характерна для ионных кристаллов. Сущность данной поляризации заключается в смещении ионов электрическим полем: положительных в сторону отрицательного электрода, отрицательных – в сторону положительного иона. Это смещение происходит на незначительные расстояния от положения равновесия при отсутствии электрического поля и носит упругий характер. Однако, в ионных кристаллах с рыхлой структурой, т.е. с неплотной упаковкой частиц, когда расстояние между ионами в узлах кристаллической решетки велики по сравнению с радиусами самих ионов, смещение последних может быть довольно велико. При этом возникают значительные суммарные электрические моменты в единице объема и наблюдается значительное возрастание емкости. Следовательно, такой диэлектрик будет иметь диэлектрическую проницаемость, намного превосходящую ее значение, обусловленное одной электронной поляризацией. Г.И. Сканапи, изучая явление ионной поляризации, обнаружил у минерала перовскита диэлектрическую проницаемость, равную 160. Позднее им же были получены керамические материалы, у которых вследствие интенсивной поляризации ионного смещения диэлектрическая проницаемость имеет еще большее значение. Указанные материалы представляют большой интерес для практики, так как дают возможность получать конденсаторы с большой удельной емкостью в единице объема.

Время установления ионной поляризации несколько больше, чем электронной, что объясняется большей массой ионов. Однако оно достаточно мало, чтобы обеспечить практическую независимость соответствующей диэлектрической проницаемости от частоты.

Принципиальная схема опытной установки изображена на рис. 4.1.

Синусоидальное напряжение подаётся через повышающий трансформатор на цепь, состоящую из последовательно соединённых линейного конденсатора  $C_1$  и нелинейного конденсатора  $C_0$  типа К10-17 с изоляцией из сегнетоэлектрика. (Повышающий трансформатор необходим для достижения насыщения диэлектрика.) Заряды на этих конденсаторах одинаковы и пропорциональны напряжению  $u_1$ :

$$q = C_1 u_1.$$

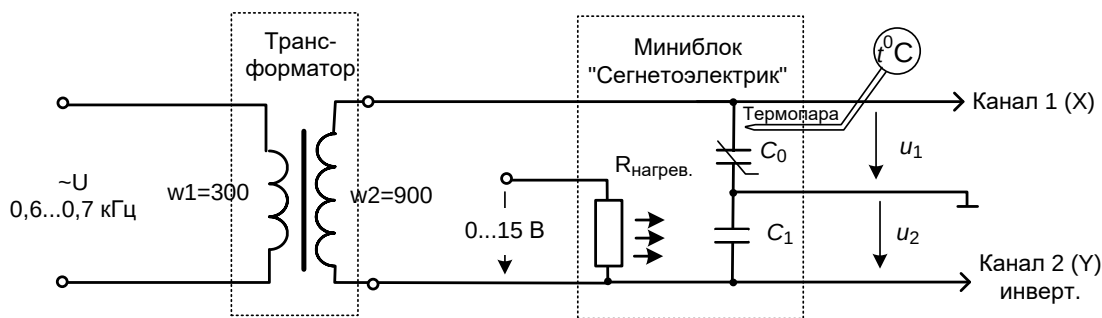


Рисунок 4.1 – Принципиальная схема для снятия кулон-вольтовой характеристики конденсатора

Напряжение  $u_1$  подаётся на вертикальный вход осциллографа, а  $u_2$  - на горизонтальный. Сигнал  $u_1$  на осциллографе необходимо инвертировать, чтобы положительному напряжению соответствовало отклонение луча на дисплее вверх. На экране осциллографа появляется зависимость  $q(u)$  для нелинейного конденсатора, примерный вид которой для разных температур показан на рис. 4.2. По ней можно рассчитать поляризационную характеристику  $P(E)$ .

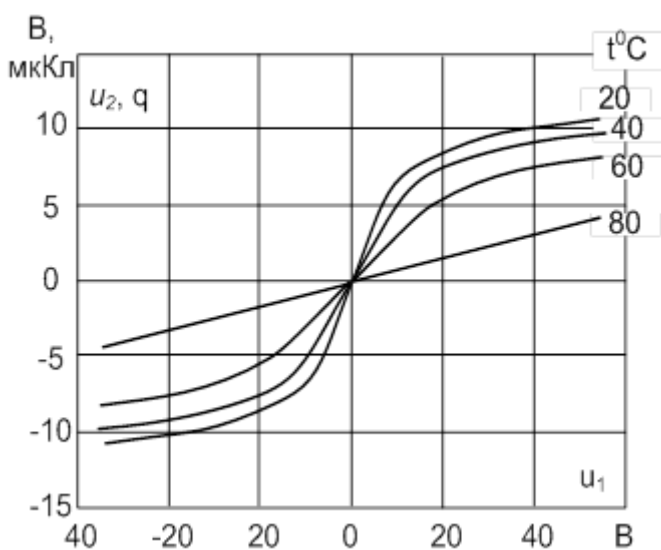


Рисунок 4.2 – Примерный вид кулон-вольтовой характеристики нелинейного конденсатора при разных температурах

Нагревание конденсатора осуществляется специальным резистором  $R_{\text{нагрев}}$ , от регулируемого источника постоянного напряжения. Измерение температуры производится с помощью термопары мультиметром МУ60Т.

Точка Кюри диэлектрика конденсатора К10-17 лежит в области отрицательных температур, поэтому в данной работе она не определяется.

Для сборки схемы используется наборная панель блока генераторов напряжений, как показано на монтажной схеме (рис. 4.3).

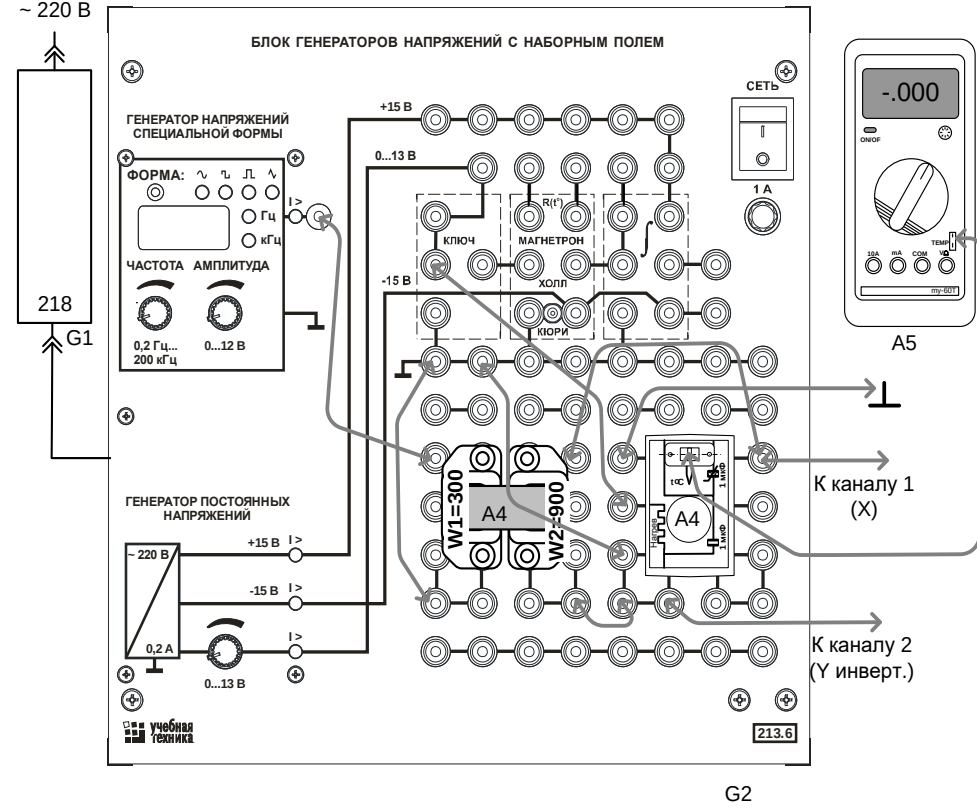


Рисунок 4.3 – Монтажная схема для снятия кулон-вольтовых характеристик нелинейного конденсатора при разных температурах

| Обозначение | Наименование                                    | Тип    | Параметры                                                             |
|-------------|-------------------------------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------|
| G1          | Однофазный источник питания                     | 218    | ~ 220 В / 16 А                                                        |
| G2          | Блок генераторов напряжений                     | 213.6  | $\pm 15$ В, 0...+13 В, ~0...12 В, Л 12В, 0,2 Гц...200 кГц             |
| A4          | Набор миниблоков «Электротехнические материалы» | 600.18 | Миниблоки «Сегнетоэлектрик» и «Трансформатор с разъемным сердечником» |
| A5          | Мультиметр                                      | 1416   | Цифровой мультиметр МУ60Т                                             |
|             | USB осциллограф                                 |        |                                                                       |
|             | Ноутбук                                         |        |                                                                       |

### **Указание по технике безопасности:**

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

### **Указания по выполнению лабораторной работы:**

- Убедитесь, что переключатели «Сеть» блоков, используемых в эксперименте, выключены.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений (рис. 3.2.3). **При подключении осциллографа аттенюаторы пробников-делителей установите в положение '10. Для подключения пробников-делителей к цепи используйте подпружиненные штыри из комплекта аксессуаров.**
- Ручку регулирования выходного напряжения 0...15В генератора постоянного напряжения G2 (213.2) поверните против часовой стрелки до упора.
- Подключите кабель USB к осциллографу и к ноутбуку. При работающем компьютере подключайте кабель USB **сначала** к осциллографу а, **затем**, к ноутбуку. Включите ноутбук и активизируйте программу осциллографа. (Ярлык  DSO-2090USB на рабочем столе).
- Установите на дисплее по каждому каналу осциллографа множители x10 и чувствительность 20 В/дел по первому каналу и 5 В/дел. – по второму.
- Активизируйте полный комплект инструментов настройки осциллографа, используя пункты меню: Wiew – Complete Tools и уберите верхние дополнительные линейки инструментов, щёлкнув на пунктах меню: Wiew –Top Toolbar 1 и Top Toolbar 2. (**Top Toolbar Left оставьте**).
- С помощью левой вертикальной линейки инструментов настройки «включите» измерение амплитуд напряжения по первому и второму каналам (пункты меню: Ch1 -- , Ch2 --  ). Результат отображается в окне «Measurement» в виде надписей CH1: Top=\*\*\*\* и CH1: Top=\*\*\*\*. Появившиеся лишние позиции в этом окне сотрите. (*Top – положительная средневзвешенная амплитуда периодического сигнала*).
- Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока генераторов напряжений G2
- Установите частоту синусоидального сигнала 0,6...0,7 кГц и, регулируя амплитуду сигнала, убедитесь, что на дисплее появилось изображение двух кривых.

- Отрегулируйте развёртку так, чтобы на дисплее было изображение одного – двух периодов кривых. (Чувствительность по горизонтали 0,2 мс/дел.). Выведите кривые в центр экрана, сделайте инвертирование второго канала (пункты меню: Channel – CH2 Settting – Invert Off).
- Убедитесь, что сигналы совпадают по фазе, что при регулировании подаваемого синусоидального напряжения они не выходят за пределы экрана, что измеряются «CH1 Top» и «CH2 Top».
- Включите режим X – Y и убедитесь, что на экране появилось изображение кулон-вольтовой характеристики конденсатора (узкой петли гистерезиса).
- Уменьшите синусоидальное напряжение до нуля и, увеличивая его шаг за шагом до максимально возможного напряжения генератора, записывайте в табл. 4.1 амплитуды напряжений на нелинейном конденсаторе -  $U_1$  (CH1) и на линейном -  $U_2$  (CH2).
- Рассчитайте поляризационную характеристику диэлектрика  $P(E)$  и дифференциальную зависимость  $\epsilon(E)$ . Выберите масштабы и постройте графики.
- При максимальном значении амплитуды приложенного напряжения сохраните изображение в желаемом формате (пункт меню File), или перерисуйте её в отчёт.
- Выберите значения температуры, при которых Вы хотите снять кулон-вольтовую характеристику. Рекомендуется, кроме комнатной температуры, снять характеристику при 40, 60, и 80°C.
- Включите на мультиметре режим измерения температуры и, подайте напряжение нагрева 15 В на миниблок, повернув ручку регулятора 0...15 В вправо до упора. Убедитесь, что в миниблоке загорелась сигнальная лампочка и температура начала увеличиваться. Скорость нагрева можно регулировать, увеличивая и уменьшая напряжение нагрева.
- По мере нагревания миниблока сохраняйте или перерисовывайте кривую в отчёт при выбранных значениях температуры.
- После достижения температуры 80°C отключите нагрев и выключите все используемые блоки.
- Закройте окно виртуального осциллографа, нажав на кнопку ' '.
- Закройте все окна и выключите ноутбук, используя кнопку «ПУСК».
- Разберите цепь



Таблица 4.1

| $U_1$ , В<br>(горизон-<br>тальный ка-<br>нал) | $U_2$ , В<br>вертикаль-<br>ный канал) | $E$ , В/м | $D = \frac{C_1 u_1}{S}$<br>Кл/м <sup>2</sup> | $P = D - \varepsilon_0 E$<br>Кл/м <sup>2</sup> | $\varepsilon = \Delta D / (\varepsilon_0 \Delta E)$ | $E_{ср}$ , В/м |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------|-----------|----------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------|
| 0                                             |                                       |           |                                              |                                                |                                                     |                |
| 10                                            |                                       |           |                                              |                                                |                                                     |                |
| 20                                            |                                       |           |                                              |                                                |                                                     |                |
| 30                                            |                                       |           |                                              |                                                |                                                     |                |
| 40                                            |                                       |           |                                              |                                                |                                                     |                |
| 50                                            |                                       |           |                                              |                                                |                                                     |                |
| 60                                            |                                       |           |                                              |                                                |                                                     |                |

**Содержание отчета:**

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

**Контрольные вопросы:**

1. Что называется поляризацией диэлектрика?
2. Назовите виды поляризации, и в каких веществах они встречаются?
3. От каких факторов зависит поляризация диэлектрика?
4. Из какой зависимости нелинейного конденсатора можно рассчитать поляризационную характеристику?
5. Почему при увеличении температуры поляризованность диэлектрика уменьшается?
6. Дайте определение сегнетоэлектрику?

**Лабораторная работа № 5. Магнитные материалы. Снятие петли гистерезиса ферромагнитного материала с помощью осциллографа и построение основной кривой намагничивания.**

**Цель работы:** Получить на осциллографе петлю гистерезиса ферромагнетика, снять экспериментально основную кривую намагничивания, рассчитать и построить зависимость относительной магнитной проницаемости от напряжённости магнитного поля.

**Основы теории:**

Все вещества при рассмотрении магнитных свойств принято называть магнетиками, когда они способны под действием магнитного поля приобретать магнитный момент (намагничиваться). По своим магнитным свойствам магнетики подразделяются на три основные группы: диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики.

Количественной характеристикой намагниченного состояния вещества служит векторная величина – намагниченность  $J$ .

Диамагнетиками называются вещества, которые намагничиваются во внешнем магнитном поле в направлении, противоположном направлению вектора магнитной индукции поля, т.е. магнитные моменты атомов, ионов или молекул в отсутствие внешнего магнитного поля равны нулю. К диамагнетикам относятся: инертные газы, молекулярный водород и азот, цинк, медь, золото, висмут, парафин и многие другие органические и неорганические соединения.

Парамагнетики – вещества намагничивающиеся во внешнем магнитном поле по направлению поля. При внесении парамагнетиков во внешнее магнитное поле устанавливается преимущественная ориентация магнитных моментов атомов по полю (полной ориентации препятствует тепловое движение атомов). Таким образом, парамагнетик намагничивается, создавая собственное магнитное поле, совпадающее по направлению с внешним полем и усиливающее его. При ослаблении внешнего магнитного поля до нуля ориентация магнитных моментов вследствие теплового движения нарушается и парамагнетик размагничивается.

Особый класс магнетиков образуют вещества, обладающие намагниченностью в отсутствие внешнего магнитного поля. По своему наиболее распространенному представлению (железо) их называют ферромагнетиками. Ферромагнетиками называются твердые вещества, обладающие при не слишком высоких температурах самопроизвольной (спонтанной) намагниченностью, которая сильно изменяется под влиянием внешних воздей-

ствий – магнитного поля, деформации или изменения температуры. Ферромагнитные вещества в отличие от слабомагнитных диа – и парамагнетиков являются сильномагнитными средами: внутреннее магнитное поле в них может в сотни и тысячи раз превосходить внешнее поле. Так как внешнее магнитное поле ориентирует магнитные моменты не отдельных атомов, как в парамагнетике, а целые области спонтанной намагниченности, поэтому с ростом напряженности магнитного поля намагниченность  $J$  и магнитная индукция  $B$  уже в слабых полях растет довольно быстро до достижения определенной точки в которой наступает магнитное насыщение. Описанный процесс намагничивания ферромагнитного материала во внешнем магнитном поле, более наглядно показывает кривая намагничивания, представляющая собой зависимость магнитной индукции в материале от напряженности магнитного поля (рисунок 5.1). Из рассмотрения этой кривой видно, что магнитная проницаемость с ростом напряженности магнитного поля проходит через максимум.

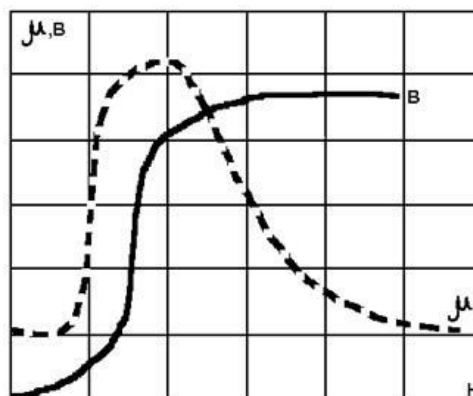


Рисунок 5.1 – Основная кривая индукции и магнитной проницаемости ферромагнитного материала

Кольцевой магнитопровод из ферромагнитного материала не намагничен и тока в витках катушки нет, т.е.  $B=0$  и  $H=0$  (начало координат на рисунке 5.2). При постепенном увеличении намагничивающего тока, т.е. магнитодвижущая сила МДС, а, следовательно, и напряженности поля от нуля до некоторого наибольшего значения магнитная индукция увеличивается по кривой начального намагничивания и достигает соответствующего максимального значения  $B_m$ . Если затем ток и напряженность поля уменьшаются, то и магнитная индукция уменьшается, при соответствующих значениях напряженности магнитная индукция несколько больше, чем при увеличении напряженности. Кривая изменения магнитной индукции располагается выше кривой начального намагничивания. При нулевых значениях тока и напряженности поля магнитная индукция имеет некоторое значение  $B_0$ , называемое остаточной индукцией.

Таким образом, магнитная индукция в ферромагнитном материале зависит не только от напряженности поля, но и от предшествующего состояния ферромагнетика. Это явление называется гистерезисом. Оно обусловлено как бы внутренним трением, возникающим при изменении ориентации магнитных моментов доменов.

При изменении направления напряженности поля и постепенном увеличении тока обратного направления напряженность поля достигает значения  $H_c$ , называемого коэрцитивной силой, при котором магнитная индукция  $B=0$ . При дальнейшем увеличении тока и напряженности поля магнитопровод намагничивается в противоположном направлении и при напряженности поля  $-H_m$  магнитная индукция достигнет значения  $-B_m$ . Затем при уменьшении тока и напряженности поля до нуля магнитная индукция становится равной  $-B_0$ . Наконец при следующем увеличении напряженности поля до прежнего значения  $H_m$  магнитная индукция увеличится также до прежнего значения  $B_m$ . Рассмотренный цикл перемагничивания ферромагнетика по кривой называется гистерезисным циклом (петлей гистерезиса).

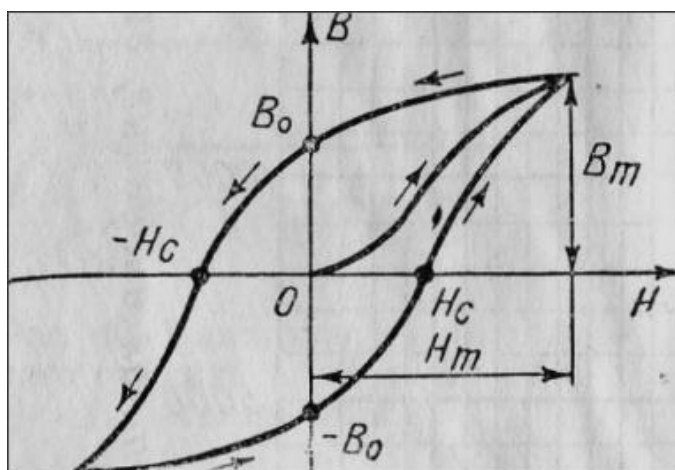


Рисунок 5.2 - Петля гистерезиса

Такая симметричная замкнутая петля гистерезиса получается в действительности только после нескольких перемагничиваний. При первых циклах перемагничивания петля несимметричная и незамкнутая. Наибольшая замкнутая петля, которая может быть получена для данного ферромагнитного материала, называется предельной.

Периодическое перемагничивание связано с затратой энергии, которая, превращаясь в тепло, вызывает нагрев магнитопровода. Площадь петли гистерезиса пропорциональна энергии, затраченной при одном цикле перемагничивания. Эта энергия называется потерями от гистерезиса и выражается в ваттах на килограмм, зависит от материала, максимальной магнитной индукции и числа циклов перемагничивания.

### Перечень используемого оборудования:

В работе снимается петля гистерезиса сердечника из феррита М2000НМ (миниблок «Трансформатор тороидальный») и сердечников из аморфных ферромагнитных материалов ГМ11ДС и ГМ14ДС (одноимённые миниблоки).

Зависимость  $B(H)$  - кривая намагничивания ферромагнитного материала при циклическом перемагничивании имеет вид петли. Она может быть снята с помощью осциллографа.

Принципиальная схема экспериментальной установки показана на рис. 5.3.

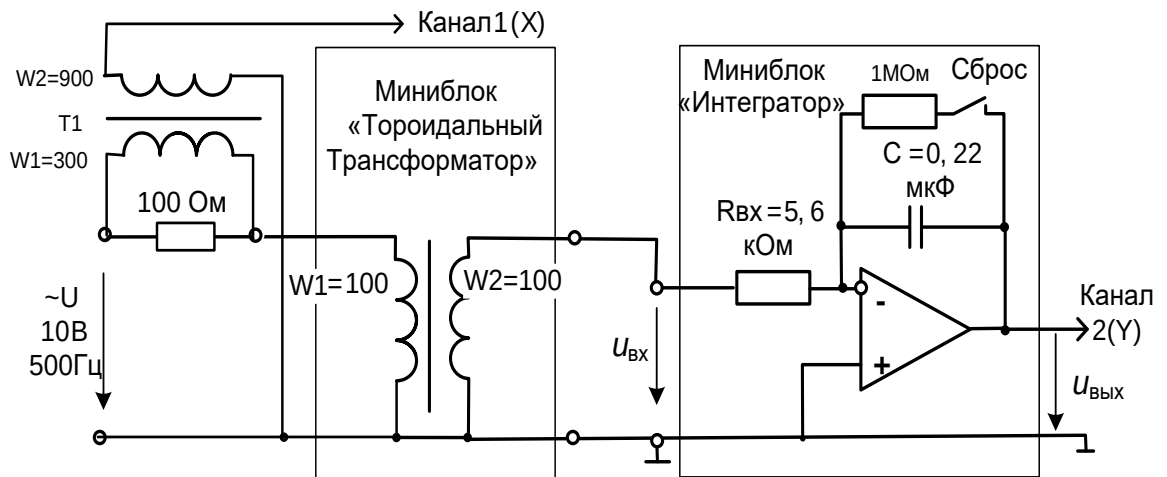


Рисунок 5.3 – Принципиальная схема для снятия петли гистерезиса

Исследуемые образцы ферромагнетиков представляют собой кольцевые сердечники, на которые намотаны по 2 обмотки 100 витков каждая. Они заключены в миниблоки: «Трансформатор тороидальный» (феррит М2000НМ), «ГМ14ДС» и «ГМ11ДС» (по обозначению марки ферромагнетика). Аналогично может сниматься петля гистерезиса кольцевого сердечника из феррита М6000НМ, который помещён в миниблоке «Точка Кюри». Этот опыт с дополнительным определением точки Кюри описан в разделе 7. Сечение магнитопровода и длина средней линии указаны на этикетках миноблоков. Первичная обмотка подключается к источнику синусоидального напряжения и служит для создания переменного магнитного потока в сердечнике. К вторичной обмотке подключён интегратор для измерения магнитного потока.

Выходное напряжение интегратора:

$$u_{вых} = \frac{1}{R_{ex}C} \int u_{ex}(t) dt = \frac{1}{R_{ex}C} \int w_2 \frac{d\Phi}{dt} dt = \frac{w_2}{R_{ex}C} \Phi = \frac{w_2}{R_{ex}C} BS,$$

где  $R_{вх}$  и  $C$  – параметры интегратора,  $S$  – сечение сердечника а  $B$  – магнитная индукция.

Для исключения интегрирования постоянной составляющей входного сигнала переключатель «Сброс» интегратора должен находиться в замкнутом состоянии.

Из рассмотренного выражения магнитная индукция в сердечнике:

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{R_{\text{сх}} C}{w_2 S} u_{\text{вых}}$$

Напряжённость магнитного поля в сердечнике вычисляется по закону полного тока:

$$H = \frac{iw}{l}$$

где  $l$  – длина средней линии сердечника.

Напряжение с шунта 100 Ом через трансформатор гальванической развязки Т1 подаётся на горизонтальный вход осциллографа, а напряжение  $u_{\text{вых}}$  с выхода интегратора подаётся на вертикальный вход. Поскольку первое пропорционально напряжённости магнитного поля, а второе – магнитной индукции, экране осциллографа отображается в определённом масштабе зависимость  $B(H)$ . Цепь собирается на наборном поле блока генераторов напряжений как показано на монтажной схеме (рис. 5.4). Причём, интегратор устанавливается в наборную панель точно на отведённое для него место. Тогда к нему автоматически подводятся напряжения питания «+» и «–» 15 В.

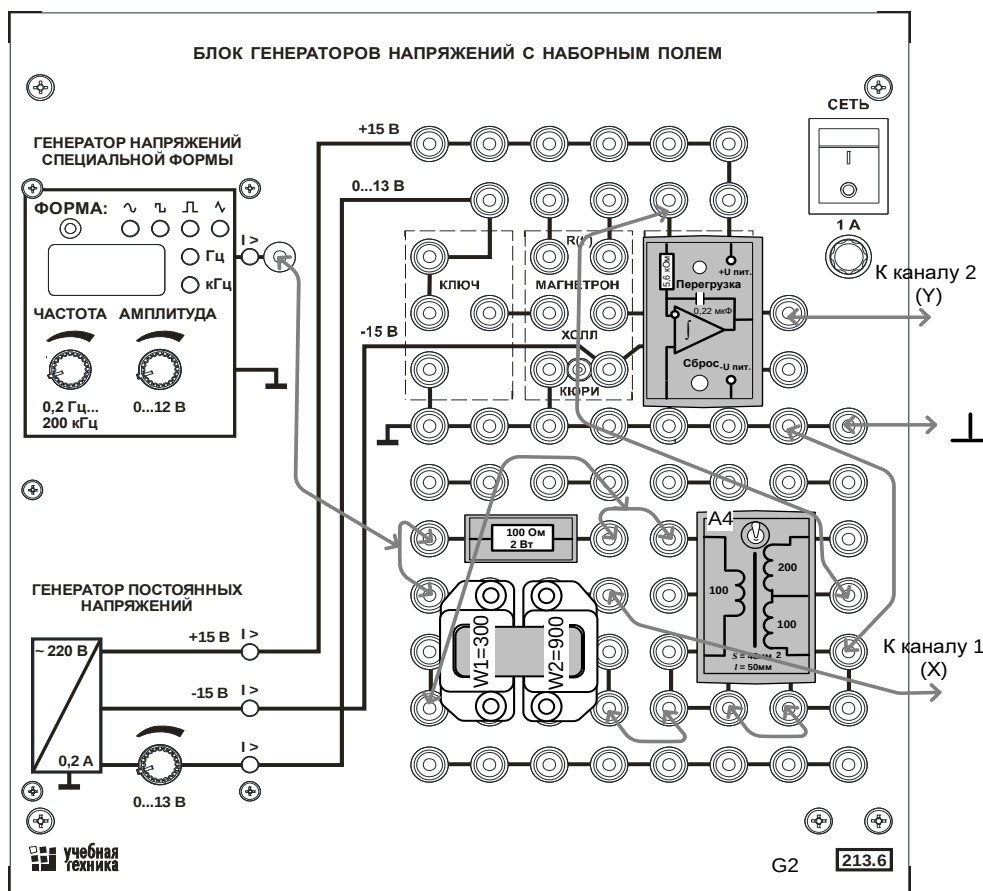


Рисунок 5.4 – Монтажная схема для снятия петли гистерезиса

| Обозначение | Наименование                                    | Тип    | Параметры                                                                                                                                |
|-------------|-------------------------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G1          | Однофазный источник питания                     | 218    | $\sim 220 \text{ В} / 16 \text{ А}$                                                                                                      |
| G2          | Блок генераторов напряжения                     | 213.6  | $\pm 15 \text{ В}, 0 \dots +13 \text{ В},$<br>$\sim 0 \dots 12 \text{ В}, \text{ Л } 12 \text{ В}, 0,2 \text{ Гц} \dots 200 \text{ кГц}$ |
| A4          | Набор миниблоков «Электротехнические материалы» | 600.18 | Миниблоки: «Трансформатор тороидальный», Трансформатор с разъемным сердечником, «Интегратор», «ГМ11ДС», «ГМ14ДС», «Резистор 100 Ом»      |
|             | USB осциллограф                                 | 1419   |                                                                                                                                          |
|             | Ноутбук                                         | 1420   |                                                                                                                                          |

***Указание по технике безопасности:***

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

***Указания по выполнению лабораторной работы:***

- Убедитесь, что переключатели «Сеть» блоков, используемых в эксперименте, выключены.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений (рис. 5.3). ***При подключении осциллографа аттенюаторы пробников-делителей установите в положение '1. Для подключения пробников-делителей к цепи используйте подпружиненные штыри из комплекта аксессуаров.***
- Подключите кабель USB к осциллографу и к ноутбуку. При работающем компьютере подключайте кабель USB **сначала** к осциллографу а, **затем**, к ноутбуку. Включите ноутбук.
- Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1 (218).
- Включите блок генераторов напряжений, установите на генераторе напряжений специальной формы синусоидальный сигнал частотой 500 Гц максимальной амплитуды.
- Запустите программу осциллографа двойным щелчком левой кнопки мыши

на значке  «DSO -2090 USB» на рабочем столе Windows и убедитесь, что на дисплее появилось изображение двух сигналов: кривая изменения тока и кривая магнитного потока.

Отрегулируйте развёртку так, чтобы на дисплее было 1...2 периода сигналов. Отрегулируйте чувствительность по каналам так, чтобы кривые не выходили за пределы экрана осциллографа.

- Активизируйте полный комплект инструментов настройки осциллографа, используя пункты меню: View – Complete Tools и уберите верхние дополнительные линейки инструментов, щёлкнув на пунктах меню: View – Top Toolbar 1 и Top Toolbar 2. (*Top Toolbar Left оставить*).

- С помощью левой вертикальной линейки инструментов настройки «включите» измерение амплитуд напряжения по первому и второму каналам (пункты меню: Ch1 -- , Ch2 --  ). Результат отображается в окне «Measurement» в виде надписей CH1: Top=\*\*\*\* и CH1: Top=\*\*\*\*. Появившиеся лишние позиции в этом окне сотрите. (*Top – положительная средневзвешенная амплитуда периодического сигнала*).

- Включите режим X-Y (канал 1 – X, канал 2 – Y) и убедитесь, что на экране появилось изображение петли гистерезиса. Отрегулируйте намагничивающий ток таким образом, чтобы максимальная магнитная индукция несколько превышала границу области насыщения. При необходимости измените чувствительность.

- Запишите в табл. 5.1 исходные значения амплитуды напряжения на шунте (CH1) и амплитуды выходного напряжения интегратора (CH2).

- Уменьшая шаг за шагом намагничивающий ток до нуля, снимите зависимость амплитуды выходного напряжения интегратора от амплитуды тока (Ток определяется как  $U_{\text{шунта}}/R_{\text{шунта}}$ ).

- Рассчитайте соответствующие значения магнитной индукции, напряжённости магнитного поля и постройте график  $B(H)$  на рис. 5.3. Вычислите относительную магнитную проницаемость по двум соседним в таблице значениям:

$$\mu = \frac{1}{\mu_0} \frac{B_{n+1} - B_n}{H_{n+1} - H_n},$$

где  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$  – магнитная проницаемость пустоты



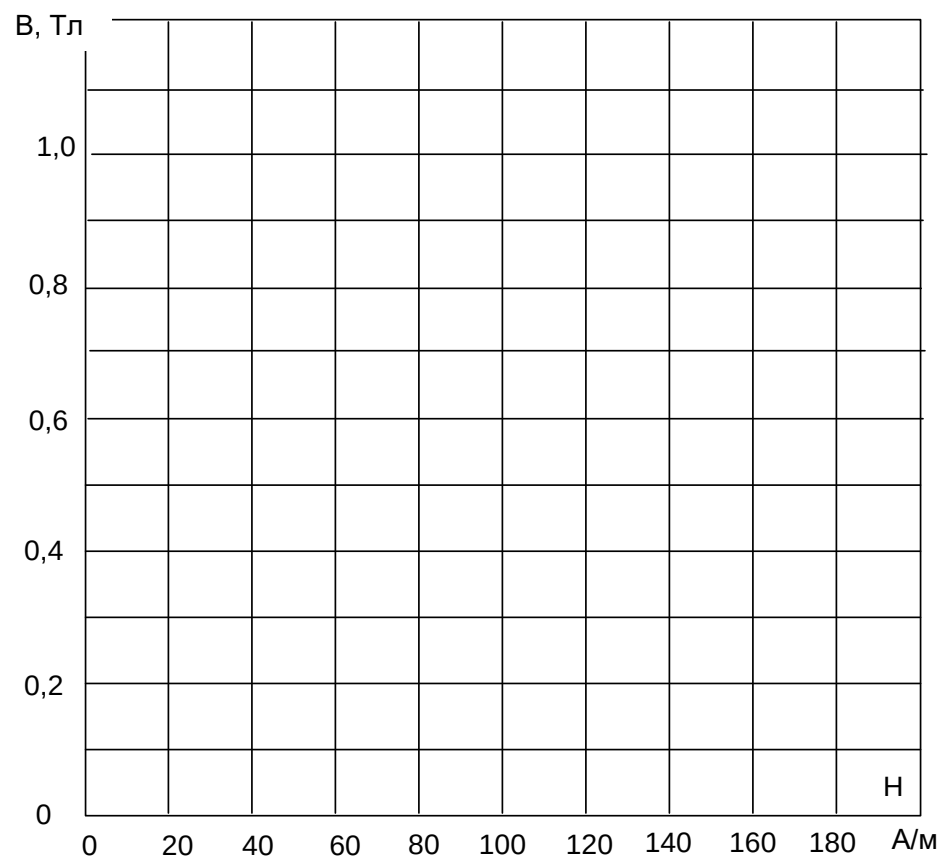


Рисунок 5.5

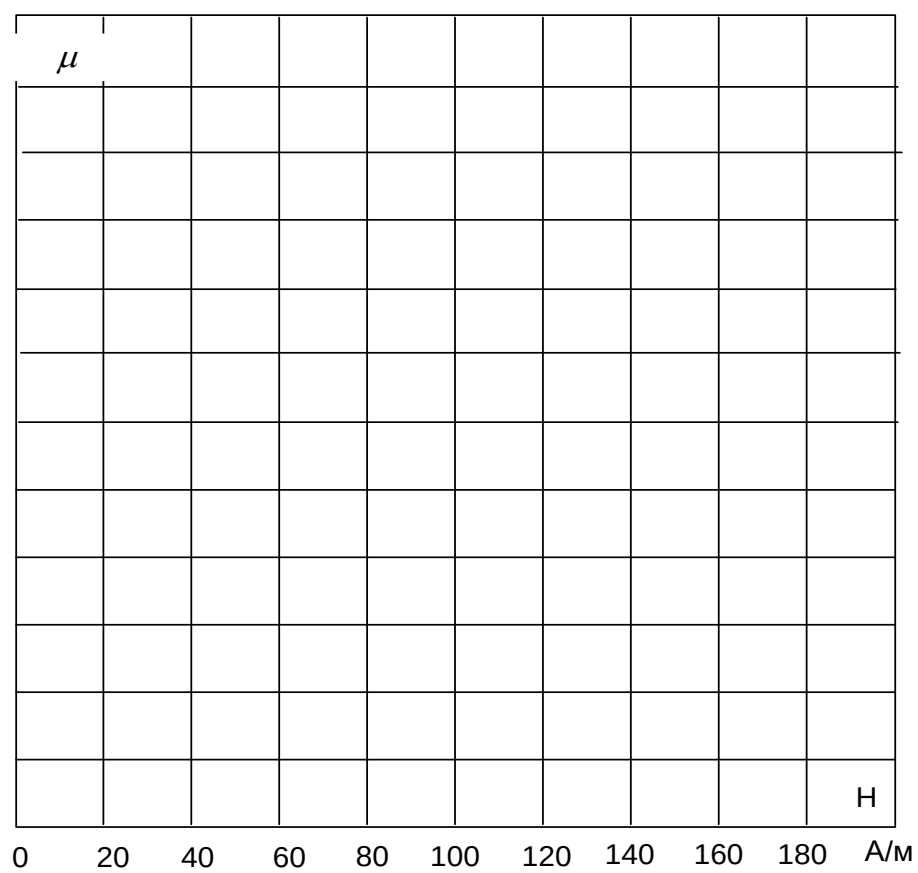


Рисунок 5.6

Таблица 5.1

| $I_{\text{макс}}, \text{ мА}$ | $U_{\text{макс}}, \text{ мВ}$ | $H, \text{ А/м}$ | $B, \text{ Тл}$ | $\mu$ | $H_{\text{ср}}, \text{ А/м}$ |
|-------------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------|-------|------------------------------|
| 10                            |                               |                  |                 |       |                              |
| 20                            |                               |                  |                 |       |                              |
| 30                            |                               |                  |                 |       |                              |
| 40                            |                               |                  |                 |       |                              |
| 50                            |                               |                  |                 |       |                              |
| 60                            |                               |                  |                 |       |                              |
| 70                            |                               |                  |                 |       |                              |
| 80                            |                               |                  |                 |       |                              |
| 90                            |                               |                  |                 |       |                              |
| 100                           |                               |                  |                 |       |                              |

- На рис. 5.5. постройте график  $m(H)$ , относя каждое вычисленное значение  $m$  к среднему значению напряжённости:

$$H_{\text{ср}} = \frac{H_{n+1} + H_n}{2}.$$

- Повторите опыт, вычисления и построения для трансформаторов «ГМ11ДС» и «ГМ14ДС». При замене миниблока с трансформатором не забудьте соединить вторичную обмотку с интегратором в соответствии с рисунком на этикетке миниблока.
  - Закройте окно виртуального осциллографа, нажав на кнопку  $\times$ .
  - Закройте все окна и выключите ноутбук, используя кнопку «ПУСК».
  - Разберите цепь.

***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

***Контрольные вопросы:***

1. Как классифицируются магнетики?
2. Каковы основные свойства ферромагнетиков?
3. Как и от чего зависит вектор магнитной индукции в веществе до и после насыщения.
4. Что такое магнитная проницаемость и от чего она зависит.
5. Нарисуйте петлю гистерезиса ферромагнетика. Объясните механизм намагничивания ферромагнетика с помощью доменной структуры.
6. Объясните, что называется коэрцитивной силой.
7. Каким образом можно объяснить остаточную намагниченность.

**Лабораторная работа № 6. Магнитные материалы. Снятие петли гистерезиса ферромагнитного материала с помощью осциллографа и определение точки Кюри.**

**Цель работы:** Снять экспериментально петлю гистерезиса ферромагнетика при различных температурах, определить температуру Кюри и намагниченность насыщения.

**Основы теории:**

Точка Кюри, или температура Кюри, – температура фазового перехода II рода, связанного со скачкообразным изменением свойств симметрии вещества (например, магнитной – в ферромагнетиках, электрической – в сегнетоэлектриках, кристаллохимической – в упорядоченных сплавах). Названа по имени французского физика Пьера Кюри открывшего в 1895 году для железа существование температуры, выше которой у него исчезают ферромагнитные свойства и скачкообразно изменяются некоторые другие свойства, например удельная электропроводность и теплоемкость (1895). При температуре  $T$  ниже точки Кюри  $Q$  ферромагнетики обладают самопроизвольной (спонтанной) намагниченностью и определённой магнитно-кристаллической симметрией.

В точке Кюри ( $T = Q$ ) интенсивность теплового движения атомов ферромагнетика оказывается достаточной для разрушения его самопроизвольной намагниченности («магнитного порядка») и изменения симметрии, в результате ферромагнетик становится парамагнетиком. Таким образом, во всех случаях фазовых переходов II рода (типа точки Кюри) при  $T = Q$  в веществе происходит исчезновение того или иного вида атомного «порядка» (упорядоченной ориентации магнитных или электрических моментов, дальнего порядка в распределении атомов по узлам кристаллической решётки в сплавах и т. п.). Вблизи точки Кюри в веществе происходят специфические изменения многих физических свойств (например, теплоёмкости, электропроводимости, магнитной восприимчивости и др.), достигающие максимума при  $T = Q$ , что обычно и используется для точного определения температуры фазового перехода.

Для разных материалов точка Кюри различна, например, для чистого железа она составляет  $768^{\circ}\text{C}$ , для никеля  $358^{\circ}\text{C}$ , для кобальта  $1131^{\circ}\text{C}$ . Значения точки Кюри приводятся в специальных справочниках и являются характеристикой магнитного материала.

Ферромагнетики при температурах ниже точки Кюри обладают спонтанной намагниченностью независимо от наличия внешнего намагничивающего поля. Однако многие ферромагнитные материалы при температурах ниже точки Кюри не намагничены. При намагничивании ферромагнетиков происходит небольшое изменение их линейных разме-

ров, т.е. увеличение или уменьшение их длины с одновременным уменьшением или увеличением поперечного сечения. Это явление называется магнитострикцией, оно зависит от строения кристаллической решетки ферромагнетика. Характеристикой магнитострикции материала является константа магнитострикции  $\lambda_s$ , выражаемая следующей формулой:

$$\lambda_s = \frac{\Delta l}{l}$$

где  $\Delta l$  – увеличение (или уменьшение) длины образца  $l$  в направлении поля  $H$  при увеличении напряженности поля от нуля до величины, вызывающей техническое насыщение.

Константа магнитострикции может быть положительной или отрицательной. Ферромагнитные материалы в большей или меньшей степени обладают магнитной анизотропией.

#### ***Перечень используемого оборудования:***

При выполнении работы испытывается кольцевой сердечник из феррита М6000НМ.

Принципиальная схема экспериментальной установки показана на рис. 6.1.

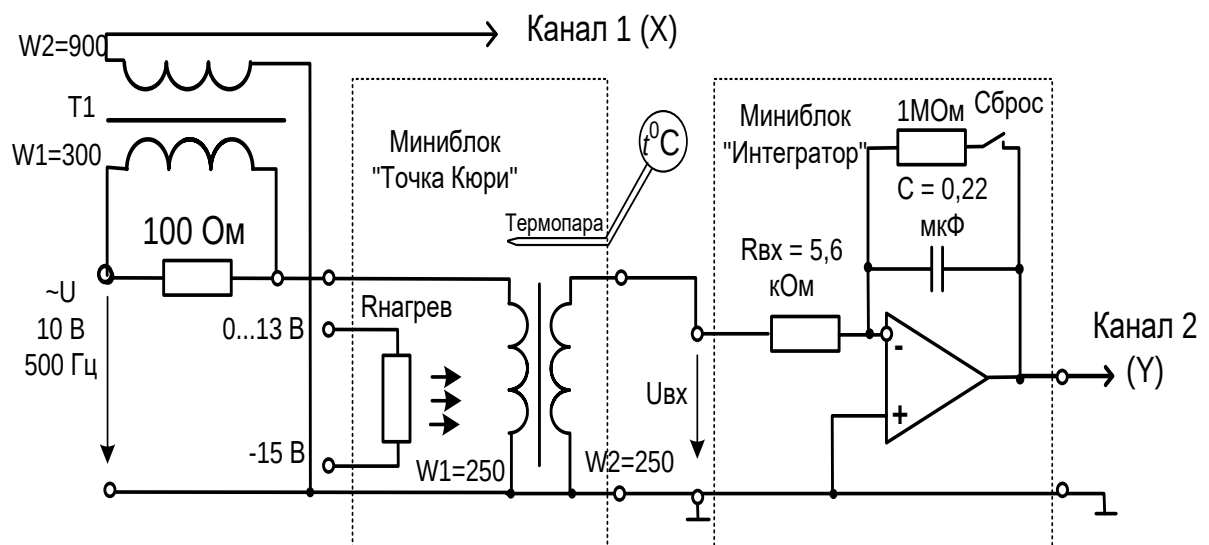


Рисунок 6.1 – Принципиальная схема для снятия петли гистерезиса и определения точки Кюри

Исследуемый образец ферромагнетика представляет собой кольцевой сердечник из феррита, сечение и длина средней линии которого указаны на этикетке миниблока «Точка Кюри». На сердечнике имеются две одинаковых катушки по 250 витков. Одна из них подключается к источнику синусоидального напряжения и служит для создания переменного

магнитного потока в сердечнике. К другой катушке подключён интегратор для измерения магнитного потока.

Выходное напряжение интегратора:

$$u_{\text{вых}} = \frac{1}{R_{\text{ex}} C} \int u_{\text{ex}}(t) dt = \frac{1}{R_{\text{ex}} C} \int w_2 \frac{d\Phi}{dt} dt = \frac{w_2}{R_{\text{ex}} C} \Phi = \frac{w_2}{R_{\text{ex}} C} BS,$$

где  $R_{\text{ex}}$  и  $C$  – параметры интегратора,  $S$  – сечение сердечника, а  $B$  – магнитная индукция.

Для исключения интегрирования постоянной составляющей входного сигнала переключатель «Сброс» интегратора должен находиться в замкнутом состоянии.

Из рассмотренного выражения магнитная индукция в сердечнике:

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{R_{\text{ex}} C}{w_2 S} u_{\text{вых}}.$$

Напряжённость магнитного поля в сердечнике вычисляется по закону полного тока:

$$H = iw/l,$$

где  $l$  – длина средней линии сердечника.

Напряжение с шунта 100 Ом подаётся на горизонтальный вход осциллографа, а напряжение  $u_{\text{вых}}$  с выхода интегратора – на вертикальный вход. Поскольку первое пропорционально напряжённости магнитного поля, а второе – магнитной индукции, экране осциллографа отображается в определённом масштабе зависимость  $B(H)$ .

Нагревание образца осуществляется встроенным в миниблок «Точка Кюри» резистором  $R_{\text{нагрев}}$ . Напряжение на нём можно регулировать от 15 до 30 В с помощью ручки управления регулируемого источника постоянного напряжения. С увеличением напряжения увеличивается яркость свечения сигнальной лампочки, встроенной в миниблок.

Цепь собирается на наборном поле блока генераторов напряжений как показано на монтажной схеме (рис. 6.2). Причём, миниблоки «Интегратор» и «Точка Кюри» устанавливаются в наборную панель точно на отведённое для них место. Тогда к интегратору автоматически подводятся напряжения питания «+» и «–» 15 В, а к нагревателю миниблока «Точка Кюри» подаётся напряжение – 15В. Кроме того, вторичная катушка трансформатора, встроенного в миниблок соединяется с входом интегратора. Это существенно уменьшает количество внешних соединений.

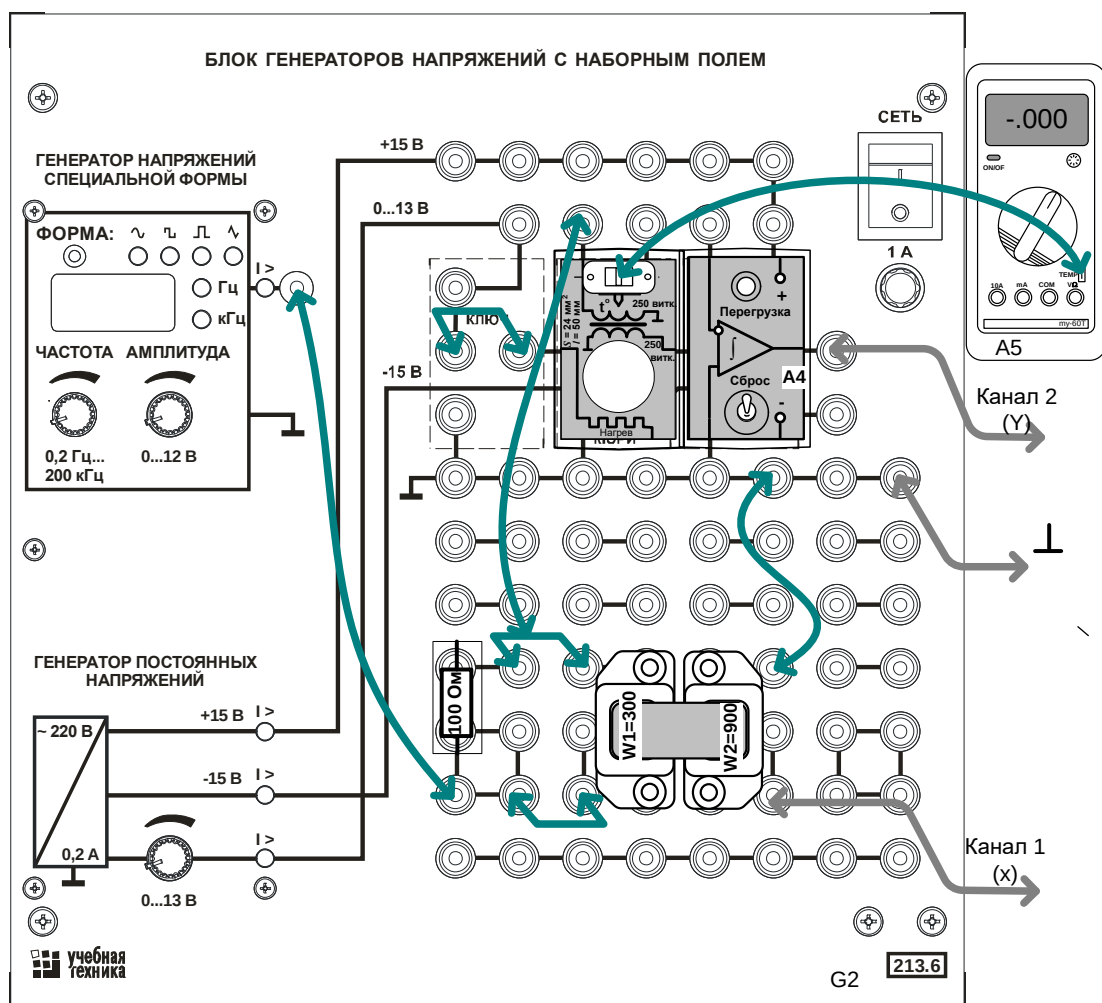


Рисунок 6.2 – Монтажная схема для снятия петли гистерезиса и определения точки Кюри

| Обозначение | Наименование                                    | Тип    | Параметры                                                                                       |
|-------------|-------------------------------------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G1          | Однофазный источник питания                     | 218    | $\sim 220$ В / 16 А                                                                             |
| G2          | Блок генераторов напряжения                     | 213.2  | $\pm 15$ В, 0...+13 В,<br>$\sim 0...12$ В, $\Delta$ 12В.<br>0,2 Гц...200 кГц                    |
| A4          | Набор миниблоков «Электротехнические материалы» | 600.18 | Миниблоки: «Точка Кюри», «Интегратор», Трансформатор с разъемным сердечником, «Резистор 100 Ом» |
| A5          | Мультиметр                                      | 1416   | Цифровой мультиметр МУ60Т                                                                       |
|             | USB осциллограф                                 | 1419   |                                                                                                 |
|             | Ноутбук                                         | 1420   |                                                                                                 |

### ***Указание по технике безопасности:***

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

### ***Указания по выполнению лабораторной работы:***

- Убедитесь, что переключатели «Сеть» блоков, используемых в эксперименте, выключены.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений (рис. 6.2). ***При подключении осциллографа аттенюаторы пробников-делителей установите в положение '1. Для подключения пробников-делителей к цепи используйте подпружиненные штыри из комплекта аксессуаров.***
- Подключите кабель USB к осциллографу и к ноутбуку. При работающем компьютере подключайте кабель USB **сначала** к осциллографу а, **затем**, к ноутбуку. Включите ноутбук.
- Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1 (218).
- Установите минимальное выходное напряжение генератора постоянных напряжений блока генераторов A1 (213.2). Для этого ручку регулирования выходного напряжения 0...15В генератора постоянного напряжения поверните против часовой стрелки до упора.
- Включите блок генераторов напряжений, установите на генераторе напряжений специальной формы синусоидальный сигнал частотой 500 Гц максимальной амплитуды.
- Запустите программу осциллографа двойным щелчком левой кнопки мыши на значке  «DSO -2090 USB» на рабочем столе Windows и убедитесь, что на дисплее появилось изображение двух сигналов: кривая изменения тока и кривая магнитного потока. Отрегулируйте развёртку так, чтобы на дисплее было 1...2 периода сигналов. Отрегулируйте чувствительность по каналам так, чтобы кривые не выходили за пределы экрана осциллографа.
- Настройте осциллограф и убедитесь, что на дисплее появилось изображение двух сигналов: кривая изменения тока и кривая магнитного потока. Отрегулируйте развёртку так, чтобы на дисплее было 1...2 периода сигналов.
- Включите режим X-Y (канал 1 – X, канал 2 – Y) и убедитесь, что на экране появилось изображение петли гистерезиса. Отрегулируйте намагничивающий ток таким образом, чтобы максимальная магнитная индукция несколько превышала границу области



насыщения. Для этого уменьшайте ток до тех пор, пока не исчезнут однолинейные концы петли гистерезиса. При необходимости сместите изображение в центр экрана.

- Сохраните изображение петли гистерезиса в желаемом формате (пункт меню File), или перерисуйте её в отчёт.
- Включите на мультиметре режим измерения температуры и, подайте напряжение нагрева 15 В на миниблок, повернув ручку регулятора 0...15 В вправо. Убедитесь, что в миниблоке загорелась сигнальная лампочка и температура начала увеличиваться. *Скорость нагрева можно регулировать, увеличивая и уменьшая напряжение нагрева.*
- По мере нагревания миниблока сохраняйте или перерисовывайте кривую при выбранных значениях температуры.
- Дождитесь нагрева до температуры точки Кюри (примерно 110...120°C) и сразу же отключите или убавьте нагрев. Снова сохраните изображение петли гистерезиса в желаемом формате (пункт меню File), или перерисуйте её в отчёт. Запишите температуру точки Кюри.

#### ***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

#### ***Контрольные вопросы:***

1. Что называется магнитной проницаемостью вещества?
2. Классическая теория ферромагнетизма Вейса.
3. Квантовая природа ферромагнетизма.
4. Как происходит процесс перемагничивания?
5. В чем заключается явление гистерезиса?
6. Как объясняется остаточная намагниченность?
7. Как получить сигнал, пропорциональный напряженности магнитного поля  $H$ ?
8. Как получить сигнал, пропорциональный магнитной индукции  $B$ ?
9. Что называется удельной мощностью электромагнитных потерь?

**Лабораторная работа № 7. Магнитные материалы. Снятие начальной кривой намагничивания ферромагнитных материалов и определение магнитной проницаемости.**

**Цель работы:** Снять экспериментально начальную кривую намагничивания ферромагнетика, рассчитать и построить графики  $B(H)$  и  $\mu(H)$ .

**Основы теории:**

В технике используется несколько видов магнитной проницаемости в зависимости от конкретных применений магнитного материала.

Протекание процессов намагничивания ферромагнитного материала практически характеризуют кривыми намагничивания  $B(H)$ , имеющими сходный характер для всех ферромагнетиков. Относительная магнитная проницаемость определяется по основной кривой намагничивания как отношение индукции  $B$  к напряженности магнитного поля  $H$  в данной точке кривой намагничивания с учетом магнитной постоянной  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м:

$$\mu = \frac{B}{\mu_0 \cdot H}$$

Относительная магнитная проницаемость связана с магнитной восприимчивостью следующим образом:

$$\mu = 1 + \epsilon \quad (\text{в единицах СИ})$$

где  $\epsilon$  – магнитная восприимчивость.

Магнитная проницаемость физического вакуума  $\mu = 1$ , так как  $\epsilon = 0$ .

Относительную магнитную проницаемость (далее просто магнитная проницаемость) при напряженности магнитного поля  $H \approx 0$  называют начальной проницаемостью  $\mu_{\text{гн}}$ . Эта характеристика имеет важнейшее значение при техническом использовании многих магнитных материалов. Экспериментально ее определяют в слабых магнитных полях с напряженностью порядка 0,1 А/м. Наибольшее значение магнитной проницаемости носит наименование максимальной проницаемости и обозначается  $\mu_{\text{г макс}}$ .

Магнитная проницаемость – отвлеченное число.

Для диамагнитных материалов магнитная проницаемость меньше единицы, а у парамагнетиков не намного больше единицы. У тех и у других магнитная проницаемость не зависит от напряженности внешнего поля. Ферромагнетики – материалы, у которых магнитная проницаемость значительно больше единицы и зависит от магнитных свойств материала, температуры, интенсивности магнитного поля, т.е. величины индукции или от величины напряженности магнитного поля. Такие материалы в электротехнике применяются в

качестве магнитных материалов. К числу ферромагнетиков относятся железо, никель, кобальт и многие их сплавы и соединения; ферромагнитными свойствами обладают также некоторые сплавы и соединения содержащие алюминий, хром, марганец, медь, серебро.

Для характеристики изменения магнитной проницаемости при изменении температуры пользуются температурным коэффициентом магнитной проницаемости ( $K^{-1}$ )

Характеристикой ферромагнетиков в переменных магнитных полях является динамическая магнитная проницаемость, представляющая собой отношение наибольшего значения индукции к наибольшему значению напряженности магнитного поля. С увеличением частоты переменного поля динамическая магнитная проницаемость уменьшается из-за инерционности магнитных процессов.

Абсолютная магнитная проницаемость равна произведению относительной магнитной проницаемости на магнитную постоянную:

$$\mu_a = \mu_r \cdot \mu_0$$

Абсолютную магнитную проницаемость различных материалов и сред сравнивают с магнитной постоянной

В работе снимается начальная кривая намагничивания сердечника из феррита М2000НМ (миниблок «Трансформатор тороидальный»).

Принципиальная схема экспериментальной установки показана на рис. 7.1.

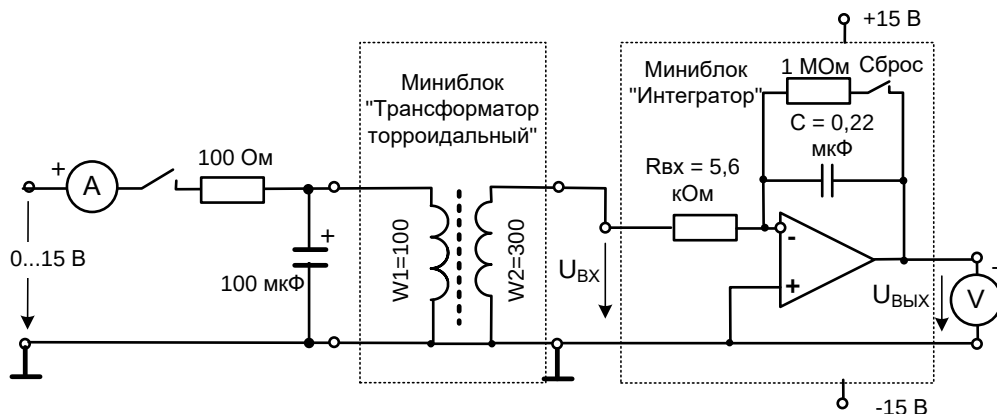


Рисунок 7.1 – Принципиальная схема для снятия начальной кривой намагничивания

Исследуемый образец ферромагнетика представляет собой кольцевой сердечник из феррита, сечение и длина средней линии которого указаны на этикетках миниблока «Трансформатор тороидальный». На сердечнике имеются две катушки. Катушка  $w_1=100$  витков подключается к источнику регулируемого постоянного напряжения и служит для создания магнитного поля в сердечнике. Направление тока можно изменять тумблером на миниблоке. К другой катушке ( $w_2=300$  витков) подключён интегратор для измерения магнитного потока.

Начальная кривая намагничивания снимается путём включения катушки  $w_1$  на различные по величине постоянные токи. Ток регулируется величиной подаваемого напряжения и ограничивается резистором 100 Ом на входе. Конденсатор 100 мкФ, включённый параллельно катушке, служит для ограничения перенапряжений и создания колебательного контура при отключении цепи. При выключении цепи в катушке возникает затухающий колебательный процесс и сердечник размагничивается.

При включении цепи магнитный поток изменяется от 0 до  $+\Phi$  и в процессе этого изменения во вторичной катушке наводится ЭДС

$$e(t) = w_2 \frac{d\Phi}{dt}.$$

Выходное напряжение интегратора:

$$u_{\text{вых}} = \frac{1}{R_{\text{ex}} C} \int_0^t u_{\text{ex}}(t) dt + u_{\text{вых}}(0).$$

где  $R_{\text{ex}}$  и  $C$  – параметры интегратора, а  $u_{\text{ex}}(t) = e(t)$ .

На интеграторе имеется переключатель «Сброс», с помощью которого перед началом интегрирования устанавливается  $u_{\text{вых}}(0)=0$ . Поэтому:

$$u_{\hat{a}\hat{o}} = \frac{1}{R_{\hat{a}\hat{o}} C} \int_0^t w_2 \frac{d\hat{O}}{dt} dt = \frac{1}{R_{\hat{a}\hat{o}} C} \int_0^{+\hat{O}} d\hat{O} = \frac{w_2}{R_{\hat{a}\hat{o}} C} \hat{O} = \frac{w_2}{R_{\hat{a}\hat{o}} C} BS,$$

где  $S$  – сечение сердечника а  $B$  – магнитная индукция.

Отсюда магнитная индукция в сердечнике:

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{R_{\hat{a}\hat{o}} C}{w_2 S} u_{\hat{a}\hat{o}}$$

Напряжённость магнитного поля определяется по закону полного тока:

$$H = \frac{I_1 w_1}{l},$$

где  $l$  – длина средней линии сердечника.

Включая катушку на различные по величине токи и измеряя выходное напряжение интегратора  $u_{\text{вых}}$  и ток  $I_1$ , можно вычислить начальную кривую намагничивания  $B(H)$ .

Цепь собирается на наборном поле блока генераторов напряжений как показано на монтажной схеме (рис. 7.2). Причём, миниблок «Интегратор» устанавливается в наборную панель точно на отведённое для его место. Тогда к интегратору автоматически подводятся напряжения питания «+» и «-» 15 В.

Для измерения тока используется мультиметр, а для измерения выходного напряжения интегратора – USB осциллограф с ноутбуком.

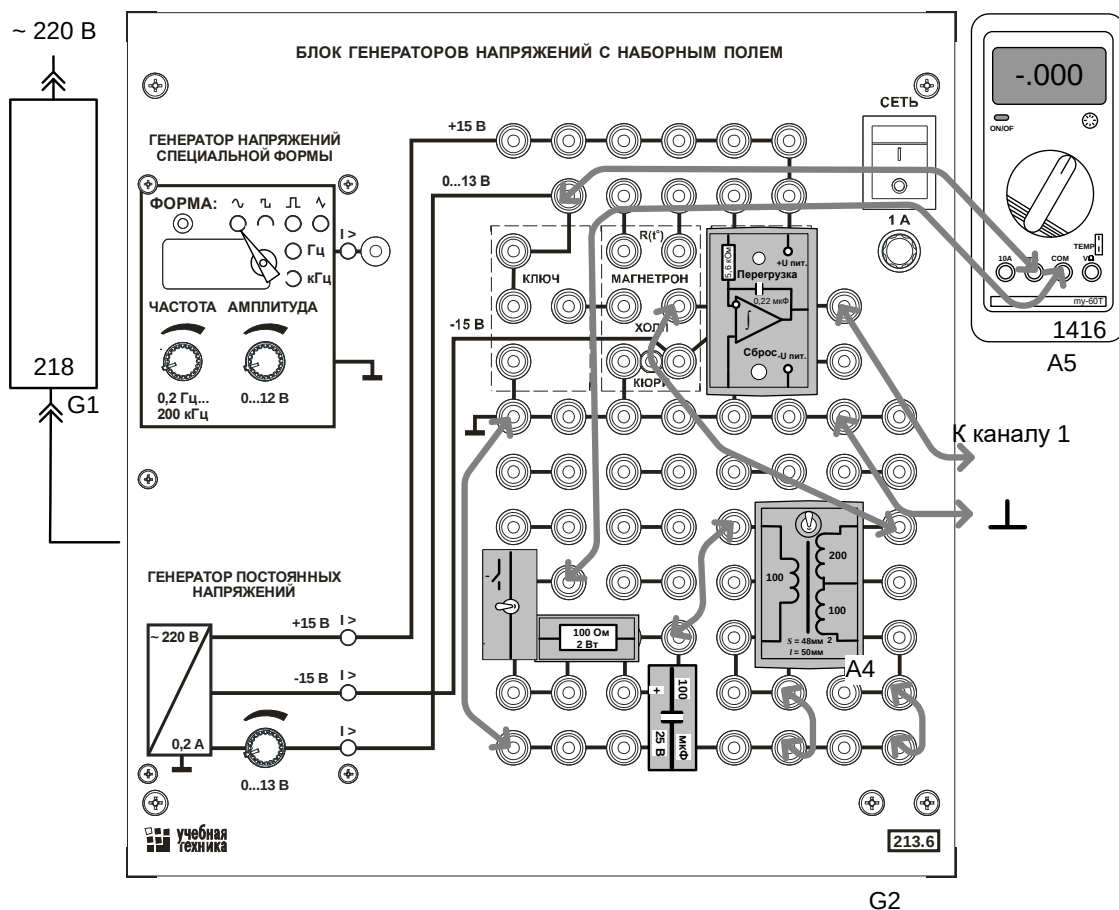


Рисунок 7.2 – Монтажная схема для снятия начальной кривой намагничивания

| Обозначение | Наименование                                    | Тип    | Параметры                                                                                                                                              |
|-------------|-------------------------------------------------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G1          | Однофазный источник питания                     | 218    | $\sim 220 \text{ В} / 16 \text{ А}$                                                                                                                    |
| G2          | Блок генераторов напряжения                     | 213.2  | $\pm 15 \text{ В}$ , $0 \dots +13 \text{ В}$ , $\sim 0 \dots 12 \text{ В}$ , $\Delta 12 \text{ В}$ , $0,2 \text{ Гц} \dots 200 \text{ кГц}$            |
| A4          | Набор миниблоков «Электротехнические материалы» | 600.18 | Миниблоки: «Трансформатор тор-роидальный», «Интегратор», «ГМ11ДС», «ГМ14ДС», «Резистор $100 \text{ Ом}$ », «Конденсатор $100 \text{ мкФ}$ », «Тумблер» |
| A5          | Мультиметр                                      | 1416   | Цифровой мультиметр МУ60Т                                                                                                                              |
|             | USB осциллограф                                 | 1419   |                                                                                                                                                        |
|             | Ноутбук                                         | 1420   |                                                                                                                                                        |
|             |                                                 |        |                                                                                                                                                        |

**Указание по технике безопасности:**

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

### **Указания по выполнению лабораторной работы:**

- Убедитесь, что переключатели «Сеть» блоков, используемых в эксперименте, выключены.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений (рис. 7.2). **При подключении осциллографа аттенюаторы пробника-делителя установите в положение '1. Для подключения пробника-делителя к цепи используйте подпружиненные штыри из комплекта аксессуаров.**
- Подключите кабель USB к осциллографу и к ноутбуку. При работающем компьютере подключайте кабель USB **сначала** к осциллографу а, **затем**, к ноутбуку. Включите ноутбук.
- Включите устройство защитного отключения и автоматический выключатель в однофазном источнике питания G1 (218).
- Установите минимальное выходное напряжение генератора постоянных напряжений блока генераторов A1 (213.2). Для этого ручку регулирования выходного напряжения 0...15В генератора постоянного напряжения поверните против часовой стрелки до упора и включите генератор. Переключатель на интеграторе должен быть в положении «Сброс».
- Запустите программу осциллографа двойным щелчком левой кнопки мыши на значке  «DSO -2090 USB» на рабочем столе Windows. Установите развёртку по горизонтали 10 мс/дел., включите инвертирование первого канала (пункты меню: Channel – CH1 Setting – Invert Off) и переключите первый канал на «открытый вход» (с постоянной составляющей). Второй канал можете отключить.
- Включите тумблер на входе исследуемой цепи и установите первое значение тока  $I_1$ , например, 5 мА. Включая и выключая тумблер, убедитесь по осциллографу, что на выходе появляется напряжение, причём, при включении и отключении цепи возникает колебательный процесс.
- Отрегулируйте чувствительность по оси Y так, чтобы броски напряжения при включении и выключении не выходили за пределы экрана.
- При выключенном токе переведите переключатель «Сброс» в нижнее положение и сразу же включите ток тумблером на входе цепи. На выходе интегратора произойдёт бросок напряжения, который нужно сразу зафиксировать (записать, запомнить или измерить с помощью курсора и горизонтальной оси, как описано в Руководстве пользователя). В дальнейшем напряжение будет медленно меняться в ту или другую сторону вследствие инте-

гирования токов утечки и неточности балансировки усилителя. Для большей достоверности повторите этот опыт несколько раз и запишите в табл. среднее, либо наиболее часто повторяющееся значение выходного напряжения. Переведите тумблер в положение «Сброс»

- Установите следующее значение тока, выключите ток и повторите опыт при новом значении тока. При этом возможно понадобится изменение масштаба по оси  $Y$ .

- Постепенно увеличивайте ток намагничивания и повторяйте опыт при каждом его значении, записывая результаты в табл. 7.1.

- Вычислите магнитную индукцию и напряжённость магнитного поля.

- Вычислите магнитную проницаемость по двум соседним в таблице значениям:

$$\mu = \frac{1}{\mu_0} \frac{B_{n+1} - B_n}{H_{n+1} - H_n},$$

где  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$  – магнитная проницаемость пустоты.

- Постройте графики  $B(H)$  и  $m(H)$ , относя каждое вычисленное значение  $m$  к среднему значению напряжённости

$$H_{cp} = \frac{H_{n+1} + H_n}{2}.$$

Таблица 7.1

| $I$ , мА | $U_{\text{ВЫХ}}$ мВ | $H$ , А/м | $B$ , Тл | $\mu$ | $H_{\text{ср}}$ , А/м |
|----------|---------------------|-----------|----------|-------|-----------------------|
| 2        |                     |           |          |       |                       |
| 4        |                     |           |          |       |                       |
| 6        |                     |           |          |       |                       |
| 8        |                     |           |          |       |                       |
| 10       |                     |           |          |       |                       |
| 15       |                     |           |          |       |                       |
| 20       |                     |           |          |       |                       |
| 30       |                     |           |          |       |                       |
| 50       |                     |           |          |       |                       |

***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

***Контрольные вопросы:***

1. Опишите магнитное поле в веществе.
2. Охарактеризуйте вещества по их магнитным свойствам.
3. Какой формулой определяется магнитная проницаемость вещества?
4. Что такое домены?
5. Как получается петля гистерезиса?



## **5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

#### **5.1.2 Перечень основной литературы:**

1. Бондаренко, Г. Г. Основы материаловедения : учебник / Г. Г. Бондаренко, Т. А. Ка-банова, В. В. Рыбалко ; под редакцией Г. Г. Бондаренко. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 761 с. — ISBN 978-5-00101-755-4. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/37076.html>
2. Электроматериаловедение : учеб. Пособие / А.С. Красько, С.Н. Павлович, Е.Г. Пономоренко. — 2-изд., стер. — Минск : РИПО, 2015. — 212 с. Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=463625](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=463625)
3. Привалов, Е. Е. Электротехнические материалы систем электроснабжения: учебное пособие / Е.Е. Привалов. — М.-Берлин: Директ-Медиа, 2016. — 266 с. Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=436753](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=436753)

#### **5.1.3 Перечень дополнительной литературы:**

1. Основы материаловедения: учебное пособие / Е.А. Астафьева, Ф.М. Носков, В.И. Аникина — Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. — 152 с. Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=364047](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=364047)

### **5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

1. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».
2. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».
3. Методические указания по выполнению контрольной работы по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».
4. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».

***5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет,  
необходимых для освоения дисциплины***

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

***Указание по технике безопасности***

До начала работы студенты обязаны изучить правила техники безопасности при работе с электроустановками. Об изучении правил техники безопасности и получении инструктажа студенты расписываются в специальном журнале. Студенты, не изучившие правила техники безопасности и не прошедшие инструктаж, к выполнению лабораторных работ не допускаются.

Учебная группа (или подгруппа) разбивается на бригады, число которых указывается преподавателем, а состав бригад комплектуется студентами на добровольных началах. Список группы (подгруппы), разбитой на бригады, староста предоставляет преподавателю, ведущему лабораторные занятия.

Каждая из бригад выполняет лабораторную работу в соответствии с графиком, находящемся в лаборатории.

Перед каждым занятием студент обязан подготовиться к выполнению лабораторной работы по данному методическому пособию и рекомендуемой литературе. Перед началом работы преподаватель проверяет знания студентов по содержанию выполняемой работы. Плохо подготовленные студенты к выполнению лабораторной работы не допускаются.

Работая в лаборатории, необходимо соблюдать следующие правила:

К выполнению лабораторной работы следует приступать только после полного уяснения ее содержания и получения допуска к ней.

2. Начинать работу следует с ознакомления с приборами и оборудованием, применяемыми в данной работе.

3. На лабораторном столе должны находиться только предметы, необходимые для выполнения данной работы.

4. Расположение аппаратуры на рабочем столе должно быть таким, чтобы схема соединений получилась наиболее простой, наглядной и работа с аппаратурой была удобной.

5. Желательно, чтобы схему собирал один из членов бригады, а другие контролировали.

6. При сборке сложных схем следует вначале соединить главную, последовательную цепь, начиная сборку от одного зажима источника тока и заканчивая на другом, а затем уже подключить параллельные цепи.

7. После того, как схема будет собрана, необходимо убедиться в правильной установке движков реостатов, автотрансформаторов и рукояток других регулирующих устройств.

8. Собранная схема обязательно должна быть проверена преподавателем или старшим лаборантом и только с их разрешения может быть включена под напряжение.

9. При включении схемы особое внимание следует обратить на показания амперметров и других измерительных приборов. В случае резкого движения стрелки амперметра к концу шкалы схему необходимо немедленно отключить от источника напряжения.

10. Необходимо бережно относиться к аппаратуре, используемой в работе. Обо всех замеченных неисправностях или повреждениях студент должен немедленно сообщить преподавателю или лаборанту.

11. После выполнения работы студент обязан, не разбирая схемы показать полученные данные преподавателю. Если результаты измерений верны, то преподаватель их подписывает. Эксперимент с неправильными результатами следует повторить.

12. Схему следует разбирать только после ее отключения от сети.

13. Категорически запрещается:

- трогать руками оголенные провода и части приборов, находящиеся под напряжением, даже если оно невелико;
- производить изменения в схеме при подключенном источнике питания;
- заменять или брать оборудование, или приборы с других рабочих мест
- без разрешения преподавателя или лаборанта;
- отходить от приборов и машин, находящихся под напряжением или оставлять схему под напряжением при обработке результатов измерений;
- перегружать приборы током или напряжением, превышающим номинальное значение.

Проверку наличия, подаваемого к схеме или элементам схемы напряжения необходимо производить только контрольной лампочкой или вольтметром, соблюдая правила техники безопасности.

При работе в лаборатории следует строго соблюдать меры предосторожности, так как электрический ток, проходящий через тело человека, величиной в 0,025 А уже является опасным для жизни.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

## **Методические указания**

по выполнению практических работ  
по дисциплине «ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ И КОНСТРУКЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕ-  
ДЕНИЕ»  
для студентов направления подготовки  
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

## Содержание

| №<br>п/п | Содержание                                                                                                                            | Стр. |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
|          | Введение                                                                                                                              |      |
| 1.       | Цель и задачи изучения дисциплины                                                                                                     |      |
| 2.       | Оборудование и материалы                                                                                                              |      |
| 3.       | Наименование практических работ                                                                                                       |      |
| 4.       | Содержание практических работ                                                                                                         |      |
| 4.1      | Практическая работа № 1. Строение металлов. Способы упрочнения металлов и сплавов.                                                    |      |
| 4.2      | Практическая работа №2. Общая теория сплавов. Сплавы цветных металлов.                                                                |      |
| 4.3.     | Практическая работа № 3. Диаграмма железо-цементит и фазовые превращения. Диаграммы состояния сплавов.                                |      |
| 4.4      | Практическая работа №4. Теория и технология термической обработки стали. Термическая обработка углеродистых сталей.                   |      |
| 4.5      | Практическая работа №5. Диэлектрики. Расчет опорно-стержневого изолятора наружной установки.                                          |      |
| 4.6      | Практическая работа №6. Электропроводность металлов. Расчет свинцового высоковольтного кабеля.                                        |      |
| 4.7      | Практическая работа №7. Классификация проводниковых материалов и их основные свойства. Расчет питающей линии электрической установки. |      |
| 5        | Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины                                                                           |      |
| 5.1      | Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины                                                    |      |
| 5.2      | Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине                                            |      |
| 5.3      | Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины                               |      |

## Введение

Практические занятия создают оптимальные дидактические условия для деятельностного освоения студентами содержания и методологии изучаемой дисциплины. Практические занятия занимают преимущественное место при изучении общепрофессиональных и профессиональных дисциплин. Практические занятия проводятся с целью выработки практических умений и приобретения навыков в решении задач, отработки упражнений, выполнении чертежей, производстве расчётов и т.п.

Целью практических занятий является формирование практических умений – профессиональных (выполнять определённые действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных, необходимых в последующей учебной деятельности по общепрофессиональным и профессиональным дисциплинам.

Библиографический список содержит сведения о справочной литературе и дополнительных изданиях, необходимых для углубленного изучения отдельных вопросов.

### **1. Цель и задачи изучения дисциплины**

Целью дисциплины является изучение состава и свойств конструкционных и электротехнических материалов в зависимости от их химического состава, структуры и той среды, в которой им предстоит находиться или работать.

Задачами изучения дисциплины являются:

- знакомство с основными достижениями в области электротехнического и конструкционного материаловедения;
- понимание процессов и явлений, которые происходят в электротехнических и конструкционных материалах при различных воздействиях;
- умение влиять на свойства материалов с помощью технологических процессов, позволяющих предотвращать вредные воздействия окружающей среды в процессе работы соответствующего оборудования.

### **2. Оборудование и материалы**

Аппаратные средства: переносной ноутбук, проектор, доска магнитно-маркерная.

Учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения.

### **3. Наименование практических работ**

Для заочной формы обучения предусмотрены следующие практические работы: Практическая работа № 3. Диаграмма железо-цементит и фазовые превращения. Диаграммы состояния сплавов – 2 часа; Практическая работа №5. Диэлектрики. Расчет опорно-стержневого изолятора наружной установки – 2 часа.

| № Темы дисциплины | Наименование тем дисциплины, их краткое содержание                                                                                                                                                                      | Объем часов | Из них практическая подготовка, часов |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------|
| 4 семестр         |                                                                                                                                                                                                                         |             |                                       |
| 1                 | <b>Практическая работа № 1. Строение металлов.</b> Способы упрочнения металлов и сплавов. Получить представление о способах упрочнения металлов и количественной зависимости предела текучести от параметров структуры. | 4           |                                       |
| 2                 | <b>Практическая работа №2. Общая теория сплавов.</b> Сплавы цветных металлов. Получить представление о сплавах на основе алюминия, меди, титана и других цветных ме-                                                    | 2           |                                       |



|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |           |  |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--|
|   | таллов. Ознакомиться с возможностями термической обработки цветных сплавов. Усвоить маркировку сплавов на основе алюминия и меди. Освоить основы выбора сплавов с необходимыми свойствами для конкретных условий эксплуатации.                                                                                                                                                                                                                                                                   |           |  |
| 3 | <b>Практическая работа № 3. Диаграмма железо-цементит и фазовые превращения.</b> Диаграммы состояния сплавов.<br>Изучить основные разновидности диаграмм состояния двойных сплавов; научиться анализировать диаграммы состояния: определять температуры начала и окончания плавления сплавов, находить области равновесного существования твёрдых растворов, обосновывать возможность проведения упрочняющей термической обработки сплавов, оценивать их технологические свойства.               | 4         |  |
| 4 | <b>Практическая работа №4. Теория и технология термической обработки стали.</b> Термическая обработка углеродистых сталей.<br>Получить представление об операциях термической обработки, применяемых для упрочнения и разупрочнения углеродистых сталей. Изучить взаимосвязь между содержанием углерода в стали, структурой и механическими свойствами стали после термической обработки; научиться выбирать режим термической обработки стали для получения необходимых в эксплуатации свойств. | 2         |  |
| 5 | <b>Практическая работа №5. Диэлектрики.</b> Расчет опорно-стержневого изолятора наружной установки.<br>Познакомиться с конструкцией и основами расчета опорных стержневых изоляторов.                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 2         |  |
| 6 | <b>Практическая работа №6. Электропроводность металлов.</b> Расчет свинцового высоковольтного кабеля.<br>Познакомиться с конструкцией и основами расчета свинцового высоковольтного кабеля.                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 2         |  |
| 7 | <b>Практическая работа №7. Классификация проводниковых материалов и их основные свойства.</b> Расчет питающей линии электрической установки.<br>Познакомиться с основами расчета питающей линии электрической установки.                                                                                                                                                                                                                                                                         | 2         |  |
|   | <b>Итого за 4 семестр:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>18</b> |  |
|   | <b>Итого:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>18</b> |  |

#### 4. Содержание практических работ

##### Практическая работа № 1. Строение металлов. Способы упрочнения металлов и сплавов.

**Цель:** Получить представление о способах упрочнения металлов и количественной зависимости предела текучести от параметров структуры.

##### Основы теории:

Значительная пластическая деформация деталей машин и конструкций при эксплуатации недопустима. Поэтому повышение прочности металлов и сплавов означает, прежде всего, повышение предела текучести.

Область II на диаграмме растяжения является областью борьбы за прочность (рис. 1.1). Здесь происходит пластическая деформация, т. е. движение дислокаций

Чтобы затруднить перемещение дислокаций, нужно создать препятствия для их движения – или избавиться от дислокаций совсем.

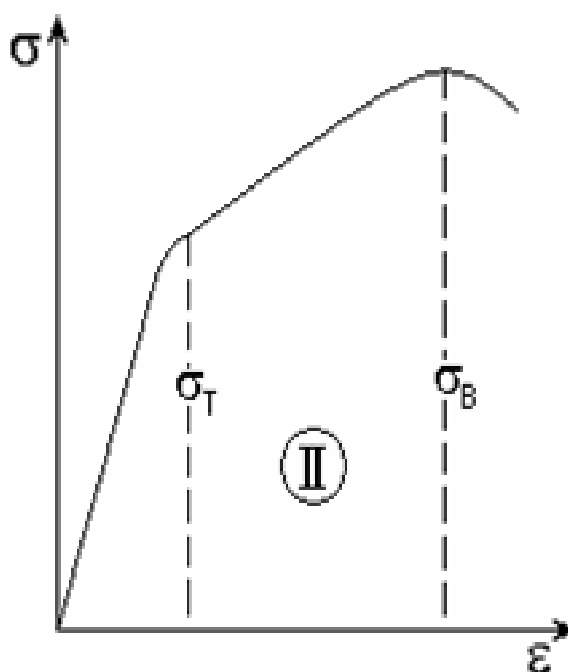


Рисунок 1.1 – Область пластической деформации

##### Упрочнение за счёт создания бездефектных кристаллов

Бездефектные кристаллы удастся вырастить в виде тонких нитей, или «усов» (их длина несколько миллиметров, толщина до 20 мкм). Их прочность действительно близка к теоретически рассчитанной.

Кристаллы крупных размеров вырастить без дефектов не удаётся.

Не совсем ясно, играет в прочности «усов» главную роль отсутствие дефектов или поверхностное натяжение. Изделия, содержащие такие кристаллы, высокой прочностью не обладают.

Можно сказать, что пока этот путь создания высокопрочных материалов не реализован.

Упрочнение за счёт торможения движущихся дислокаций

#### 1) Упрочнение самими дислокациями

В ходе пластической деформации создается такая высокая плотность дислокаций, что они сами начинают взаимно тормозить скольжение друг друга. Возникает так называемый «лес дислокаций». При повторном испытании уже продеформированного образца предел текучести оказывается больше:  $\sigma_{T2} > \sigma_{T1}$  (рис. 1.2).

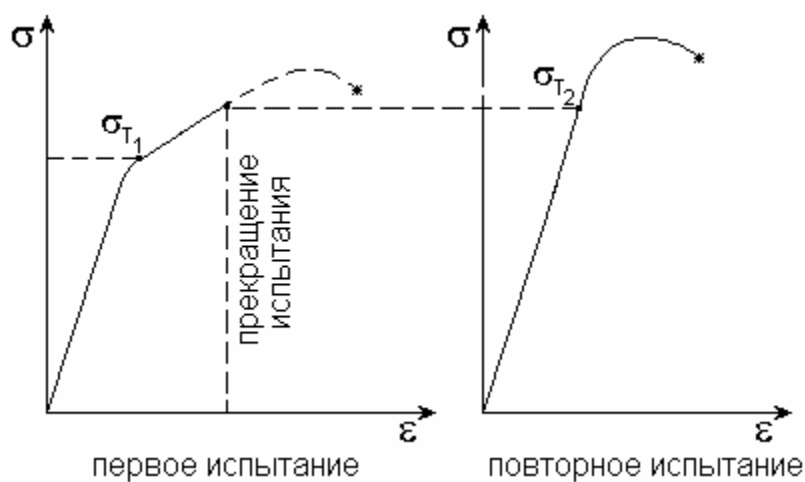


Рисунок 1.2 – Упрочнение металла при повторном испытании на растяжение

Увеличение предела текучести связано с плотностью дислокаций зависимостью

$$\sigma_T = \sigma_0 + \alpha \cdot G \cdot b \cdot \sqrt{\rho},$$

где  $\sigma_0$  – напряжение сдвига до упрочнения;  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от природы металла;  $G$  – модуль сдвига;  $b$  – вектор Бюргерса (равен расстоянию между соседними атомными плоскостями),  $\rho$  – плотность дислокаций.

Примерами использования такого механизма упрочнения являются дробеструйный наклёп пружин, рессор и штампов, патентирование проволоки, чистовая обработка поверхностным пластическим деформированием (обкатка роликами, дорнование отверстий).

#### 2) Упрочнение границами зёрен

В мелкозернистом металле площадь поверхности зёрен в единице объёма больше, чем в крупнозернистом (рис. 1.3). Мелкозернистый металл прочнее, так как на пути скольжения дислокаций встречается больше барьеров – границ зёрен:  $\sigma_{T2} > \sigma_{T1}$ .

Зависимость предела текучести от размера зерна описывается отношением Холла–Петча:

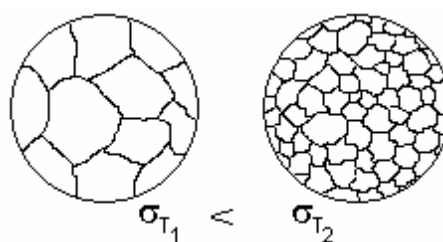


Рисунок 1.3 – Упрочнение границами зерен

$$\sigma_T = \sigma_0 + k \cdot d^{1/2},$$

где  $\sigma_0$  – напряжение сдвига до упрочнения;  $k$  – постоянная для данного металла,  $d$  – диаметр зерна.

Примеры: модифицирование сплавов при выплавке и литье, рекристаллизация сильно наклёпанного металла, измельчение зерна при фазовых превращениях.

### 3) Упрочнение растворёнными атомами примесей

Искажения решётки, вызванные атомами примесей, мешают дислокациям свободно скользить (рис. 1.4).

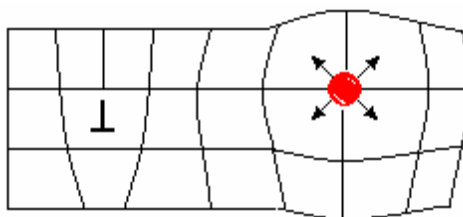


Рисунок 1.4 – Упрочнение твёрдым раствором

В первом приближении упрочнение при образовании твёрдого раствора можно определить по формуле Мотта-Набарро в зависимости от количества примеси:

$$\sigma_T = G \cdot \varepsilon^2 \cdot C,$$

где  $G$  – модуль сдвига,  $\varepsilon$  – параметр, зависящий от различия размеров атомов растворённого компонента  $r$  и растворителя  $r_0$ ,  $C$  – атомная концентрация растворённого компонента. Можно принять параметр  $\varepsilon = (r - r_0)/r_0$ .

Примерами применения такого механизма упрочнения являются практически все сплавы в современной технике. Все они являются твёрдыми растворами. При закалке сплавов создают пересыщенные твёрдые растворы, добиваясь значительного упрочнения.

### 4) Упрочнение дисперсными частицами второй фазы

Дисперсные, т. е. очень мелкие, частицы имеют размеры порядка 100 нм. Более крупные частицы не являются таким эффективным препятствием для дислокаций.

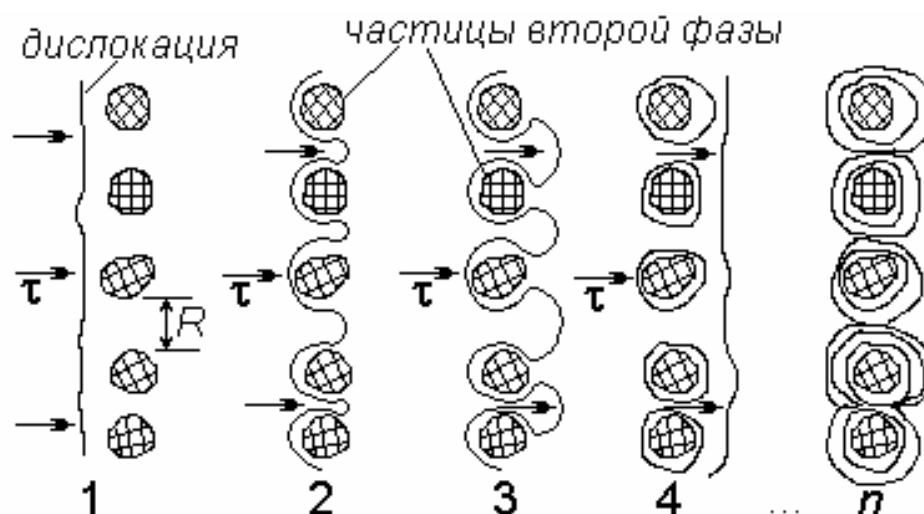


Рисунок 1.5 – Упрочнение дисперсными частицами второй фазы

Огибая мелкие частицы (рис. 1.5, 2), дислокации замыкаются вокруг них (3), при этом возникают дислокационные петли (4), или кольца. Прохождение множества дислокаций приводит к образованию так называемых колец Орована (n).

Дальнейшее скольжение дислокаций на этом участке затруднено.

Если частицы второй фазы не округлые, а игольчатые, то дислокации «наматываются» на них, как нитки на веретено.

Упрочнение дисперсными частицами зависит от расстояния между ними  $L$ :

$$\sigma_T = \sigma_0 + (G \cdot b) / L,$$

где  $\sigma_0$  – напряжение сдвига до упрочнения;  $G$  – модуль сдвига;  $b$  – вектор Бюргерса (равен расстоянию между соседними атомными плоскостями).

По такому механизму упрочняются очень многие сплавы: дуралюмины, бронзы, сплавы титана, некоторые стали.

В большинстве современных высокопрочных материалов используются несколько способов упрочнения одновременно: твёрдый раствор и мелкие частицы химического соединения, твёрдый раствор с высокой плотностью дислокаций и т. п.

По такому механизму упрочняются очень многие сплавы: дуралюмины, бронзы, сплавы титана, некоторые стали.

В большинстве современных высокопрочных материалов используются несколько способов упрочнения одновременно: твёрдый раствор и мелкие частицы химического соединения, твёрдый раствор с высокой плотностью дислокаций и т. п.

### Вопросы и задания

1. Объясните следующие явления на основе представлений о дислокациях:

- а) холодная механическая обработка повышает твёрдость алюминия;
- б) сплав, состоящий из 20 % цинка и 80 % меди, твёрже чистой меди;
- в) твёрдость никеля возрастает при введении в него частиц окиси тория.

2. Необходимо получить сплав:

а) с большим сопротивлением деформации, твёрдостью, прочностью, имеющий высокую долговечность и работоспособность при работе в условиях износа и значительных механических нагрузок;

б) с высокой пластичностью, низкими значениями твёрдости и сопротивления деформации, имеющий хорошую обрабатываемость резанием и давлением.

Опишите структуру сплава, которая обеспечит требуемые свойства в обоих случаях.

3. Определить предел текучести и величину упрочнения металла после холодной пластической деформации, в результате которой плотность дислокаций увеличилась до  $10^{10} \text{ см}^{-2}$ .

| Металл   | $\sigma_0$ , МПа | $b$ , нм | $\alpha$ | $G$ , ГПа |
|----------|------------------|----------|----------|-----------|
| Алюминий | 40               | 0,404    | 0,3      | 27        |
| железо   | 130              | 0,286    | 0,2      | 77        |

Связь между пределом текучести и плотностью дислокаций описывается уравнением

$$\sigma_T = \sigma_0 + \alpha \cdot G \cdot b \cdot \sqrt{\rho},$$

где  $\sigma_0$  – напряжение сдвига до упрочнения;  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от природы металла;  $G$  – модуль сдвига;  $b$  – вектор Бюргерса (равен расстоянию между соседними атомными плоскостями).

4. Сплав железа с 0,8 % углерода имеет структуру твёрдого раствора с дисперсными частицами карбида железа  $\text{Fe}_3\text{C}$ , очень твёрдыми и прочными. Определить предел текучести сплава, если расстояние между частицами  $\text{Fe}_3\text{C}$  составляет: а) 20 нм, б) 40 нм, в) 60 нм, г) 80 нм, д) 100 нм.

Считать, что дислокации проходят между частицами. Предел текучести зависит от расстояния между частицами следующим образом:

$$\sigma_T = \sigma_0 + (G \cdot b) / L,$$

где  $\sigma_0$  – напряжение сдвига до упрочнения;  $G$  – модуль сдвига;  $b$  – вектор Бюргерса (равен расстоянию между соседними атомными плоскостями).

| Металл | $\sigma_0$ , МПа | $b$ , нм | $G$ , ГПа |
|--------|------------------|----------|-----------|
| железо | 130              | 0,286    | 77        |

Построить график зависимости  $\sigma_T = f(L)$  и проанализировать его.

5. Определить предел текучести железа с величиной зерна 100, 50, 30, 10 и 5 мкм, используя отношение Холла–Петча:

$$\sigma_T = \sigma_0 + k \cdot d^{1/2},$$

где  $\sigma_0$  – напряжение сдвига до упрочнения (130 МПа для железа);  $k$  – постоянная для данного металла (129 МПа·мм<sup>1/2</sup> для железа).

Построить график зависимости  $\sigma_T = f(d)$  и проанализировать его.

6. Сплав алюминия с 4 % меди имеет структуру твёрдого раствора с дисперсными частицами интерметаллического соединения CuAl<sub>2</sub>, имеющими повышенную прочность. Определить предел текучести сплава, если расстояние между частицами CuAl<sub>2</sub> составляет: а) 24 нм, б) 40 нм, в) 60 нм, г) 80 нм, д) 100 нм.

Считать, что дислокации проходят между частицами. Предел текучести зависит от расстояния между частицами следующим образом:

$$\sigma_T = \sigma_0 + (G \cdot b) / L,$$

где  $\sigma_0$  – напряжение сдвига до упрочнения;  $G$  – модуль сдвига;  $b$  – вектор Бюргерса (равен расстоянию между соседними атомными плоскостями).

| Металл | $\sigma_0$ | $b$  | $G$ |
|--------|------------|------|-----|
| алюми- | 40         | 0,40 | 27  |

Построить график зависимости  $\sigma_T = f(L)$  и проанализировать его.

7. Определить напряжение сдвига  $\tau$ , необходимое, чтобы выгнуть линию дислокации в полуокружность между мелкими твердыми частицами, расположенными на расстоянии  $L$  друг от друга.

8. Предел текучести крупнозернистой латуни 20 МПа. При величине зерна 4 мкм – 120 МПа. Чем объясняется такое увеличение и чему равен коэффициент  $\beta$  для латуни? ( $\sigma_T = \beta \cdot d^{-1/2}$ .)

9. Определить предел текучести и величину упрочнения металла после холодной пластической деформации, в результате которой плотность дислокаций увеличилась до  $10^{10}$  см<sup>-2</sup>.

| Металл | $\sigma_0$ , МПа | $b$ , нм | $\alpha$ | $G$ , ГПа |
|--------|------------------|----------|----------|-----------|
| титан  | 450              | 0,296    | 0,4      | 44        |
| никель | 150              | 0,352    | 0,3      | 73        |

Связь между пределом текучести и плотностью дислокаций описывается уравнением

$$\sigma_T = \sigma_0 + \alpha \cdot G \cdot b \cdot \sqrt{\rho},$$

где  $\sigma_0$  – напряжение сдвига до упрочнения;  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от природы металла;  $G$  – модуль сдвига;  $b$  – вектор Бюргерса (равен расстоянию между соседними атомными плоскостями).

10. Два образца из одного и того же металла были пластически деформированы с уменьшением площади поперечного сечения. Один образец представляет собой цилиндр, а второй – прямоугольный параллелепипед; форма поперечного сечения в ходе деформации не изменилась.

Исходные и конечные размеры образцов следующие:

|                  | Цилиндрический<br>(диаметр, мм) | Призматический (мм) |
|------------------|---------------------------------|---------------------|
| Исходные размеры | 15,2                            | 125/175             |
| Конечные размеры | 11,4                            | 75/200              |

Какой из образцов приобрёл наибольшую твёрдость после деформации? Объясните ответ.

11. Недеформированный металл имеет средний размер зерна 40 мкм. Можно ли добиться уменьшения величины зерна до 10 мкм?

Если да, то объясните, каким способом это можно сделать и какие процессы произойдут в структуре металла. Если нет – объясните, почему.



## ***Практическая работа №2. Общая теория сплавов. Сплавы цветных металлов.***

**Цель:** Получить представление о сплавах на основе алюминия, меди, титана и других цветных металлов. Ознакомиться с возможностями термической обработки цветных сплавов. Усвоить маркировку сплавов на основе алюминия и меди. Освоить основы выбора сплавов с необходимыми свойствами для конкретных условий эксплуатации.

### ***Основы теории:***

Сталь – почти идеальный металлический материал, но она имеет существенный недостаток: детали и конструкции, сделанные даже из высокопрочной, стали, тяжелы. Во многих отраслях техники, особенно в самолётостроении, необходимы такие же прочные, но более лёгкие материалы. Лёгкими принято считать все металлы и сплавы, плотность которых составляет меньше половины плотности железа, т. е. не превышает  $3,5 \text{ г/см}^3$ . К ним относятся алюминий Al ( $\gamma = 2,7 \text{ г/см}^3$ ), магний Mg ( $\gamma = 1,74 \text{ г/см}^3$ ), бериллий Be ( $\gamma = 1,82 \text{ г/см}^3$ ). Наибольшее применение из этих металлов в качестве конструкционного материала имеет алюминий.

#### **Алюминий и его сплавы**

Алюминий – серебристо-белый металл с матовым оттенком. Кристаллическая решётка алюминия – гранецентрированный куб с периодом,  $a = 0,4041 \text{ нм}$ . Полиморфных превращений алюминий не имеет. Температура плавления –  $660^\circ\text{C}$ . Чистый отожжённый алюминий непрочен:  $\sigma_B = 50\text{--}60 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_{0,2} = 15\text{--}20 \text{ МПа}$ , твёрдость  $20\text{--}25 \text{ HB}$ , зато пластичность у него высокая: удлинение при разрыве составляет  $30\text{--}50 \%$ , относительное сужение –  $80\text{--}95 \%$ .

Чистый алюминий применяют в электротехнике для изготовления проводников тока, его электропроводимость  $37,6 \text{ м/Ом}\cdot\text{мм}^2$ . Он уступает только серебру с проводимостью  $63,0 \text{ м/Ом}\cdot\text{мм}^2$  и меди –  $60,1 \text{ м/Ом}\cdot\text{мм}^2$ . Все примеси, присутствующие в алюминии (постоянными являются Fe и Si), ухудшают его тепло- и электропроводимость. Алюминий устойчив к коррозии на воздухе, а также в среде многих газов и жидкостей благодаря защитному действию плотной пленки оксида  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Чем чище металл, тем выше его коррозионная стойкость.

Алюминий допускает глубокую вытяжку, хорошо сваривается газовой и контактной сваркой, плохо обрабатывается резанием, имеет низкие литейные качества.

Из алюминия высокой чистоты получают фольгу для электрических конденсаторов. Токоведущие детали изготавливают из алюминия технической чистоты.

Основная масса алюминия расходуется на производство алюминиевых сплавов. Предел прочности алюминиевых сплавов достигает 500–700 МПа при плотности не более 2,85 г/см<sup>3</sup>. По удельной прочности некоторые алюминиевые сплавы соответствуют высокопрочным сталям:  $\sigma_B/(\rho \cdot g) = 23$ .

В зависимости от способа изготовления деталей и изделий сплавы алюминия делятся на деформируемые и литейные.

Деформируемые сплавы легко поддаются обработке давлением и предназначены для прокатки,ковки, прессования. Литейные сплавы отличаются жидкотекучестью, хорошо заполняют форму, малочувствительны к литейным трещинам; их используют для изготовления фасонных отливок при помощи литья в землю или в металлические формы.

*Деформируемые сплавы*, в зависимости от химического состава, делятся на сплавы с естественной твёрдостью, т. е. не поддающиеся упрочнению термической обработкой, и термически упрочняемые сплавы. Сплавы, *не упрочняемые термической обработкой*, содержат мало легирующих элементов и применяются вместо чистого алюминия в тех случаях, когда его прочность недостаточна. Они легированы магнием в количестве 0,5–5 %, а также марганцем (до 1,2 %). Их прочность можно повысить путём холодной обработки давлением (явление наклёпа). Например, деформируемый алюминиевый сплав АМг3 ( $\approx 3$  % Mg) в отожжённом состоянии имеет прочность на разрыв 180 МПа и удлинение 15 %, при небольшом наклёпе – 230 МПа и 8 %, после сильного наклёпа – 260 МПа и 3 %. Как видно из этих данных, в результате холодной деформации прочность сплава возрастает, а пластичность снижается.

Эти сплавы предназначены для работы в коррозионных средах, так как и марганец, и магний увеличивают коррозионную стойкость алюминиевых сплавов.

Применяют сплавы, не упрочняемые термической обработкой, для изготовления оконных рам вагонов, кузовов автомобилей, трубопроводов для бензина и масла, сварных баков и т. д.

Большая часть деформируемых алюминиевых сплавов – это сплавы, упрочняемые термической обработкой, значительно повышающей прочностные свойства. Прочность возрастает в результате дисперсионного твердения, или старения, после закалки. Это многокомпонентные сплавы, в которые входят различные элементы для повышения прочности (Cu, Mg, Zn), жаропрочности (Fe), антикоррозионных свойств (Mn, Mg).

Химический состав некоторых алюминиевых сплавов, упрочняемых термической обработкой, приводится в табл. 4.1.

Таблица 4.1 – Химический состав термически упрочняемых алюминиевых сплавов (ГОСТ 4784-97)

| Сплавы        | Марка        | Химический состав, % |          |         |      |         |          |         |          |
|---------------|--------------|----------------------|----------|---------|------|---------|----------|---------|----------|
|               |              | Cu                   | Mg       | Si      | Zn   | Fe      | Mn       | Ni      | Cr       |
| Дуралюмины    | Д1           | 3,8–4,8              | 0,4–0,8  | □0,7    | □0,3 | □0,7    | 0,4–0,8  | □0,1    | –        |
|               | Д16          | 3,8–4,9              | 1,2–1,8  | <0,5    | <0,3 | <0,5    | 0,3–0,9  | 0,1     | –        |
|               | Д18          | 2,2–3                | 0,2–0,5  | 0,8     | 0,25 | 0,7     | 0,2      | –       | 0,1      |
| Авиаль        | АВ           | 0,2–0,6              | 0,45–0,9 | 0,5–1,2 | <0,2 | <0,5    | 0,15–0,3 | –       | –        |
| Ковочные      | АК6<br>(АК8) | 1,8–2,6              | 0,4–0,8  | 0,7–1,2 | <0,3 | <0,7    | 0,4–0,8  | <0,1    | –        |
| Жаропрочные   | АК2<br>(АК4) | 3,5–4,5              | 0,4–0,8  | 0,5–1,0 | <0,3 | 0,5–1,0 | <0,2     | 1,8–2,3 | –        |
| Высокопрочные | В95          | 1,4–2,0              | 1,8–2,8  | –       | 5–7  | –       | 0,2–0,6  | –       | 0,1–0,25 |

Типичным представителем упрочняемых термообработкой алюминиевых сплавов являются дуралюмины, в которых основной легирующий элемент – медь. Диаграмма состояния сплавов алюминий – медь приведена на рис. 4.1.



Рисунок 4.1 – Диаграмма состояния алюминий медь

На диаграмме видно, что алюминий в твёрдом состоянии способен растворять определённое количество меди, причем её растворимость максимальна при 548 С. Твёрдый раствор при этой температуре содержит 5,7 % Cu. С понижением температуры растворимость меди быстро уменьшается: при комнатной температуре она составляет 0,2 %. Структура алюминиевого сплава с 4 % Cu в равновесных условиях состоит из кристаллов твёрдого раствора, содержащего очень мало меди, и кристаллов интерметаллида CuAl<sub>2</sub>. Прочность такого сплава невелика (140 МПа).

Термическое упрочнение осуществляется в два этапа.

На первом этапе сплав нагревают под закалку до такой температуры, при которой

достигается максимальное растворение меди: выше линии предельной растворимости  $ab$ , но ниже солидуса. При этом химическое соединение растворяется, и образуется однородный твёрдый раствор с концентрацией меди 4 %. Быстрое охлаждение, чаще всего в воде, предотвращает выделение  $CuAl_2$ , т. е. в результате закалки фиксируется структурное состояние сплава, достигнутое при высокой температуре. Атомы меди остаются в пересыщенном (переохлаждённом) твёрдом растворе. Этот пересыщенный твёрдый раствор при комнатной температуре является неустойчивой фазой, с повышенным запасом свободной энергии, связанной с искажениями кристаллической решётки алюминия атомами меди. Вся медь сверх равновесной концентрации 0,2 % будет стремиться выделиться из твёрдого раствора.

Второй этап термического упрочнения заключается в том, что из полученного при закалке твёрдого раствора постепенно, с течением времени, выделяется медь, образуя дисперсные частицы химического соединения  $CuAl_2$ . В этом и состоит старение сплава.

Старением сплавов называют процессы распада твёрдого раствора, происходящие самопроизвольно в предварительно закалённом сплаве и приводящие к изменению структуры и свойств с течением времени.

Естественное старение происходит при комнатной температуре в течение нескольких суток (от 4 до 7). Искусственное старение (при повышенных температурах) происходит гораздо быстрее, в течение нескольких часов или минут, и дает наивысшие результаты.

Дисперсные частицы, возникающие в твёрдом растворе в процессе выдержки после закалки, препятствуют скольжению дислокаций при деформировании, поэтому прочность и твёрдость сплава возрастают. Прочность дуралюмина после естественного старения составляет около 400 МПа, т. е. почти вдвое больше, чем у отожжённого. Искусственное старение проводится при температурах 150–170 °С.

Все остальные алюминиевые сплавы, представленные в табл. 4.1, упрочняются такой же термической обработкой – закалкой и старением. Отличие только в выборе режима. Механические характеристики упрочнённых алюминиевых сплавов представлены в табл. 4.2.

Литейные алюминиевые сплавы должны обладать узким температурным интервалом кристаллизации для получения плотной отливки, т. е. это сплавы, близкие по составу к эвтектике или эвтектические. Широко применяются литейные сплавы  $Al-Cu$ ,  $Al-Zn$ ,  $Al-Si$ . Наилучшими литейными свойствами обладают сплавы алюминий – кремний, по составу близкие к эвтектическому. Эти сплавы называют силуминами. Маркируются литейные алюминиевые сплавы буквами АЛ (алюминиевый литейный) и кодирующей цифрой, определяющей химический состав сплава, например: АЛ2, АЛ4.

Таблица 4.2 – Механические свойства деформируемых алюминиевых сплавов

| Сплав | Вид полуфабриката   | Механические свойства |                 |                                                    |      |     |
|-------|---------------------|-----------------------|-----------------|----------------------------------------------------|------|-----|
|       |                     | σ <sub>B</sub>        | σ <sub>02</sub> | σ <sub>-1</sub><br>(5·10 <sup>6</sup> цик-<br>лов) | δ, % | НВ  |
|       |                     |                       |                 |                                                    |      |     |
| Д1*   | Листы               | 400                   | 240             | 105                                                | 20   | 95  |
|       | Прессованные прутки | 480                   | 320             | 125                                                | 14   | —   |
| Д16*  | Листы               | 440                   | 330             | 115                                                | 18   | 105 |
|       | Прессованные прутки | 530                   | 400             | 140                                                | 11   | —   |
| Д18*  | Проволока           | 300                   | 170             | 95                                                 | 24   | 70  |
| В95** | Листы               | 540                   | 470             | 150                                                | 10   | 150 |
|       | Прессованные прутки | 600                   | 560             | 150                                                | 8    | 150 |
| АК6** | Поковки             | 400                   | 299             | 125                                                | 12   | 100 |
| АК8** | Поковки             | 480                   | 380             | 130                                                | 9    | 135 |

Обычный силумин АЛ2 является заэвтектическим сплавом, содержащим 12–13 % Si (рис. 7.2). После кристаллизации структура этого сплава представляет собой крупные светлые включения избыточного кремния и грубоигольчатую эвтектику. Сплав с такой структурой обладает низкими механическими свойствами: прочность составляет 100–120 МПа, а относительное удлинение при разрыве – 3–5 %. Только путем модифицирования расплава натрием или смесью NaF и NaCl удаётся получить мелкозернистую эвтектику со значительно более мелкими кристалликами кремния. Это приводит к значительному повышению механических свойств:  $\sigma_B = 180\text{--}200$  МПа и  $\delta = 6\text{--}8$  %.

Двойные алюминии-кремнистые сплавы обладают очень хорошей жидкотекучестью, поэтому из них изготавливают фасонные отливки сложной формы, для которых не требуется высоких механических свойств. Для повышения эксплуатационных и механических свойств (отливки для нагруженных деталей авиационных двигателей, литые детали, предназначенные для работы при температурах 250–300 °С и т. д.) сплавы легируют магнием, медью, марганцем, никелем или подвергают термической обработке – закалке в воду и искусственному старению. При этом предел прочности может достигать 240–260 МПа при относительном удлинении 20–18 %.

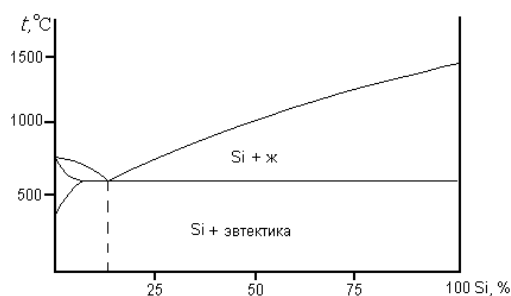


Рисунок 4.2 – Диаграмма состояния алюминий кремний

Легированные силумины могут применяться для изготовления корпусов компрессоров, картеров, головок цилиндров (АЛ9), деталей, работающих в условиях высокой влажности, в судостроении и самолетостроении (АЛ8, АЛ27).

#### Медь и её сплавы

Медь – действительно «цветной» металл: её цвет может варьироваться от светлорозового до красного. Медь имеет гранцентрированную кубическую решётку с параметром  $a = 0,361$  нм. Полиморфных превращений у меди нет; температура плавления  $1083^\circ\text{C}$ . Медь обладает высокой технологичностью: хорошо паяется, сваривается, легко обрабатывается давлением. В отожжённом состоянии предел прочности меди невелик, он составляет 200–250 МПа при относительном удлинении около 40–50 %.

Главными отличительными характеристиками меди являются высокая теплопроводность и электропроводимость, пластичность и коррозионная стойкость. Но так же, как и у алюминия, примеси отрицательно влияют на свойства меди. В зависимости от содержания примесей различают следующие марки меди (ГОСТ 859–78): М00 (99,99 % Cu), М0 (99,97 % Cu), М2 (99,7 % Cu). Благодаря высокой электропроводимости медь нашла широкое применение в электротехнике. Из меди изготавливают шины, ленты, кабели, рубильники, обмотки электродвигателей и т. д. Примеси понижают электропроводимость, особенно те, что образуют с медью твердые растворы: фосфор, мышьяк, алюминий, олово. Другое основное свойство меди – высокая теплопроводность. Поэтому медь используют в металлургии и литейном производстве для водоохлаждаемых тиглей, кристаллизаторов, поддонов и изложниц.

Вредными примесями меди также являются висмут и свинец. Они практически не растворяются в меди, а образуют легкоплавкие эвтектики (с температурой плавления  $326^\circ\text{C}$  и  $270^\circ\text{C}$  соответственно) и создают красноломкость при горячей прокатке меди.

На механические свойства меди примеси влияют незначительно; в большей мере свойства зависят от состояния (литое, деформированное и т. д.). Для повышения прочности медь легируют цинком, алюминием, оловом, никелем, железом или подвергают холодной пластической деформации. При этом её прочность может возрастать до 380–450 МПа при уменьшении электропроводимости на 3–5 %.

Медные сплавы, как и сплавы большинства других цветных металлов, по технологическим свойствам подразделяются на деформируемые (которые используются в производстве полуфабрикатов: листов, полос, проволоки и других профилей) и литейные (применяемые для изделий, которые получают путем литья в песчаные или металлические формы, а также методами непрерывной разливки и центробежного литья). По способности упрочняться с помощью термической обработки медные сплавы делятся на упрочняемые и

не упрочняемые термической обработкой. По химическому составу медные сплавы подразделяются на две основные группы: латуни и бронзы.

Сплавы меди с цинком носят название латуней. Специальные (многокомпонентные) латуни содержат и другие легирующие элементы, такие как алюминий, никель, марганец. Маркируются двойные латуни следующим образом: вначале ставится буква Л («латунь»), а затем цифра, показывающая содержание меди в процентах. В специальных латунях после буквы Л следуют буквы русского алфавита, обозначающие легирующий элемент: А – Al, Н – Ni, К – Si, С – Pb, О – Sn, Ж – Fe, Мц – Mn, Ф – P, Б – Be. После букв ставятся цифры, показывающие среднее содержание меди и легирующих элементов в процентах (см. табл. 4.3).

Введение тех или иных легирующих элементов повышает механические и антикоррозионные свойства латуни.

Медь с цинком образует много твёрдых растворов, что очевидно из диаграммы состояния Cu–Zn (рис. 4.3).

Практически применяются сплавы с содержанием цинка не более 42 %, которые имеют хорошие механические свойства (см. рис. 4.4).

В технике применяются однофазные или двухфазные латуни. Однофазные латуни имеют структуру  $\alpha$ -твёрдого раствора, и поскольку в этой области нет фазовых превращений, то в  $\alpha$ -латуни нельзя получить неравновесное состояние, – следовательно, её нельзя закалить.

Таблица 4.3 – Химический состав и механические свойства деформируемых латуней после отжига (ГОСТ 15527-70)

| Марка латуни | Медь     | Прочие элементы                                      | $\sigma_B$ | $\sigma_{02}$ | $\delta$ | $\psi$ | KCU, МДж/м <sup>2</sup> | HB  |
|--------------|----------|------------------------------------------------------|------------|---------------|----------|--------|-------------------------|-----|
|              | % (мас.) |                                                      | МПа        |               | %        |        |                         |     |
| Л90          | 88-91    | —                                                    | 260        | 120           | 45       | 80     | 1,76                    | 53  |
| Л68          | 67-70    | —                                                    | 320        | 90            | 55       | 70     | 1,68                    | 55  |
| Л60          | 59-62    | —                                                    | 380        | 160           | 25       | 62     | 0,78                    | 77  |
| ЛАН59-3-2    | 57-60    | 2,5–3,5 Al<br>2–3 Ni                                 | 380        | 300           | 50       | —      | 0,5                     | 75  |
| ЛЖМц59-1-1   | 57-60    | 0,1–0,4 Al<br>0,6–1,2 Fe<br>0,5–0,8 Mn<br>0,3–0,7 Sn | 450        | 170           | 50       | 58     | 1,18                    | 88  |
| ЛО70-1       | 69-71    | 1–1,5 Sn                                             | 350        | 100           | 60       | 70     | 0,6                     | 60  |
| ЛК80-3       | 79-81    | 2,5–4 Si                                             | 310        | 200           | 58       | 55     | 0,4                     | 100 |

Практически применяются сплавы с содержанием цинка не более 42 %, которые имеют хорошие механические свойства (см. рис. 4.4).

В технике применяются однофазные или двухфазные латуни. Однофазные латуни имеют структуру  $\alpha$ -твердого раствора, и поскольку в этой области нет фазовых превращений, то в  $\alpha$ -латуни нельзя получить неравновесное состояние, – следовательно, её нельзя закалить.

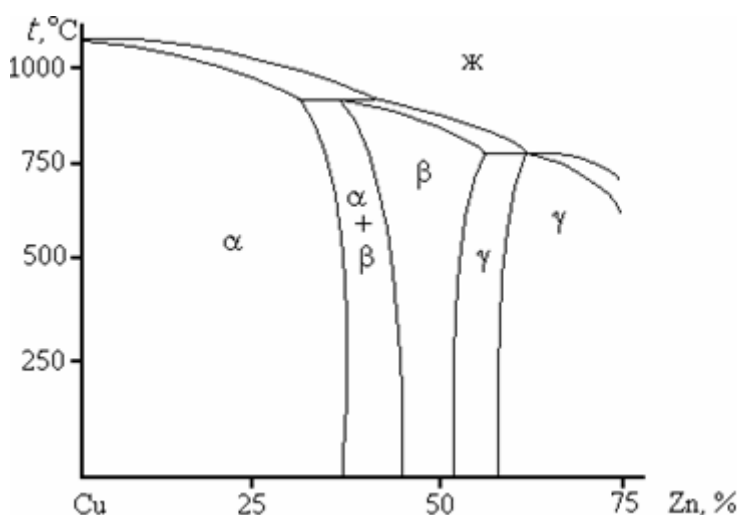


Рисунок 4.3 – Диаграмма состояния медь-цинк

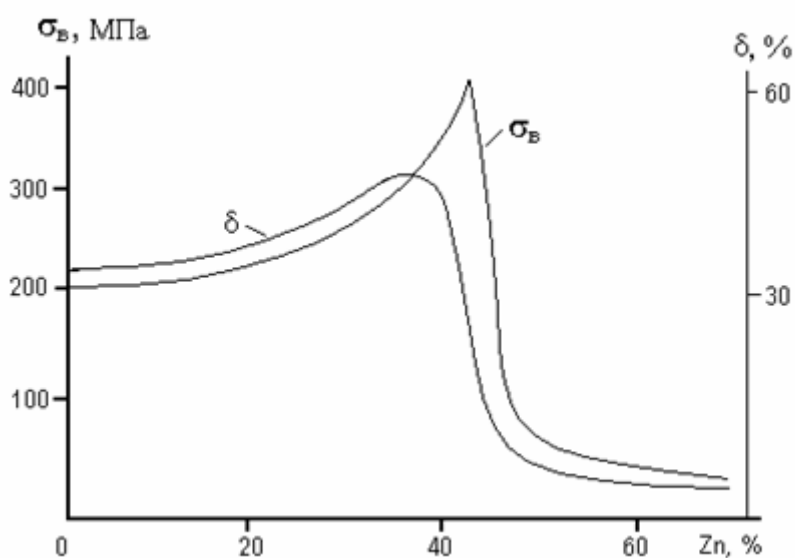


Рисунок 4.4 – Влияние цинка на механические свойства меди

Однофазная латунь представляет собой материал относительно невысокой твёрдости и прочности, обладающий значительной пластичностью. При переходе за предел насыщения (39 % Zn) появляется вторая фаза  $\beta$  – электронное соединение  $\text{CuZn}$ , что сопровождается резким снижением пластичности и повышением прочности и твёрдости. Это объясняется тем, что  $\beta$ -фаза является твёрдой и хрупкой, поэтому при увеличении ее количества



наблюдается повышение твёрдости и хрупкости сплава. Применение находят или однофазные латуни, или двухфазные, в которых нет преобладания хрупкой фазы (т. е. содержащие 41–42 % Zn).

Однофазные латуни благодаря высокой пластичности хорошо деформируются в холодном состоянии, при этом увеличивается и прочность, и твёрдость латуни. Двухфазные латуни подвергают прокатке и прессованию в горячем состоянии. Латунь очень хорошо поддается обработке резанием, особенно если она легирована свинцом. При резании свинцовистых латуней образуется короткая ломкая стружка, что облегчает обработку изделий. Для повышения прочности и твёрдости латунь легируют алюминием (4 %).

Латунь используется как конструкционный материал там, где требуются высокая прочность и коррозионная стойкость: в трубопроводной арматуре, в химическом машиностроении и особенно в судостроении. Изготавливают из латуней листы, ленты, проволоку, а затем из этого проката – радиаторные трубки, снарядные гильзы, трубопроводы, шайбы, гайки, втулки, уплотнительные кольца, токопроводящие детали электрооборудования.

Бронзы – это сплавы меди со всеми другими элементами, кроме цинка. В их названии используют прилагательные, указывающие на второй компонент. В зависимости от состава и структурного состояния после обработки прочность бронз может быть повышена с 200 до 750 МПа. Бронзы подразделяются на алюминиевые, оловянистые, кремнистые, бериллиевые и т. д. Бронзы маркируют буквами «Бр» (бронза), за которыми следуют буквы и цифры, указывающие на название и содержание в % легирующих элементов. Например, БрОФ10-1: 10 % Sn, 1 % P, остальное медь.

Оловянистые бронзы известны с глубокой древности; именно этот замечательный материал дал название бронзовому веку. Они, как и другие сплавы, делятся на деформируемые (10 % Sn) и литейные (10 % Sn). Когда-то бронзы получали название в зависимости от их назначения: монетная (4–10 % Sn), пушечная (8–18 % Sn), колокольная (20–30 % Sn), зеркальная (30–35 % Sn). Оловянистые бронзы отличаются хорошими литейными свойствами, например, малой усадкой при кристаллизации, поэтому можно отливать сложные по конфигурации изделия. С целью экономии дорогого олова в бронзы добавляют цинк в таком количестве, чтобы он полностью растворялся в меди, образуя твёрдый раствор, тем самым повышая механические свойства. Для повышения антифрикционных свойств и лучшей обрабатываемости резанием в оловянистые бронзы добавляют свинец. Литейные оловянистые бронзы применяются для пароводяной арматуры, так как обладают высокой коррозионной стойкостью в воде и на воздухе.

Деформируемые бронзы имеют однофазную структуру твёрдого раствора. После холодной обработки давлением бронзы подвергают отжигу при 600–700 °С. Они пластичнее

и прочнее, чем литейные. Кроме того, деформируемые оловянистые бронзы обладают высокими упругими свойствами, поэтому их используют для получения пружин и мембран в электротехнике и других областях.

Алюминиевые бронзы обычно содержат от 5 до 10 % алюминия. Механические и коррозионные свойства этих бронз выше, чем оловянистых. По мере изменения состава, аналогично латуням и оловянистым бронзам, меняются и свойства: твёрдость НВ, прочность и пластичность быстро растут, затем пластичность и прочность понижаются из-за образования второй хрупкой фазы. Поэтому в практике применяют двухфазные бронзы, содержащие не более 11 % Al. Двухфазные бронзы, отличаются высокой прочностью – до 600 МПа и твёрдостью свыше 100 НВ. Так как алюминиевые бронзы испытывают эвтектоидное превращение, то их можно подвергать закалке и старению. Однофазные алюминиевые бронзы (БрА7) более пластичны, чем двухфазные, и относятся к деформируемым. Они обладают высокой прочностью и пластичностью ( $\sigma_B = 400\text{--}450$  МПа,  $\delta = 60\%$ ).

Легируют алюминиевые бронзы железом, никелем, марганцем для устранения литейных недостатков и увеличения механических свойств после упрочняющей термической обработки (закалки и последующего старения). Например, у бронзы БрАЖН 10-4-4 твердость увеличивается от 140–160 НВ до 400 НВ. Поэтому из алюминий-железоникелевых бронз изготавливают детали, работающие в условиях износа: сёдла клапанов, направляющие втулки, части насосов и турбин, шестерни и др.

Кремнистые бронзы содержат до 3 % Si и являются заменителями оловянистых бронз. Они пластичны, коррозионностойки в некоторых агрессивных средах, хорошо свариваются и паяются. Для повышения твёрдости и прочности кремнистых бронз их легируют марганцем и никелем с последующей термической обработкой. Эти бронзы используют вместо более дорогих оловянистых при изготовлении антифрикционных деталей, а также для замены бериллиевых бронз при производстве пружин.

Свинцовистые бронзы (БрС30) обладают высокими антифрикционными свойствами, высокой теплопроводностью (до 300 °С). Прочность таких бронз небольшая, но они очень пластичны, хорошо сопротивляются ударам. Поэтому из этих бронз изготавливают вкладыши подшипников, работающих при больших давлениях и скоростях.

Бериллиевые бронзы (БрБ2) содержат не более 2–2,5 % бериллия. Так как бериллий образует с медью твёрдый раствор переменной растворимости, то эту бронзу применяют только после упрочняющей термической обработки (закалки от 780 °С и старения при 320 °С). При этом повышаются как прочностные, так и упругие свойства:  $\sigma_B = 1300\text{--}1500$  МПа,  $\sigma_{упр} = 600\text{--}740$  МПа. Кроме того, бериллиевые бронзы обладают высокой электропроводностью, поэтому их применяют в виде пружин в электроаппаратуре, в качестве упругих контактов

и т. д. Но высокая стоимость не позволяет широко применять эту бронзу. Заменяют её более дешёвой – титановой или титановохромистой бронзой. После термической обработки она имеет почти такие же прочностные свойства, но более пластична и имеет высокую релаксационную стойкость при температуре до 400 °С. Поэтому упругие элементы из такой бронзы могут работать при более высокой температуре, чем из бериллиевой.

Состав и механические характеристики некоторых литейных и деформируемых бронз приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.4 – Химический состав и механические свойства бронз

| Бронза               | Содержание элементов, % |         |     |                          | $\sigma_B$ | $\sigma_{02}$ | $\delta$ , % |
|----------------------|-------------------------|---------|-----|--------------------------|------------|---------------|--------------|
|                      | Sn                      | Pb      | Zn  | Прочие                   | МПа        |               |              |
| Деформируемые бронзы |                         |         |     |                          |            |               |              |
| БрОЦС4-4-2,5         | 3–5                     | 1,5–3,5 | 3–5 | –                        | 350        | 130           | 40           |
| БрОФ6,5-0,4          | 6–7                     | –       | –   | 0,26–0,4 Р               | 400        | 250           | 60–70        |
| БрАЖН10-4-4          |                         |         |     | 0,1–0,2 Ni;<br>9,5–11 Al | 750–       |               |              |
| (закалка и старе-    | –                       | –       | –   | 3,5–5,5 Fe               | 830        | –             | 9–15         |
| БрБНТ1,9             |                         |         |     | 1,85–2,1 Be              |            |               |              |
| (закалка и старе-    | –                       | –       | –   | 0,2–0,4 Ni               | 1200       | –             | 4            |
| Литейные бронзы      |                         |         |     |                          |            |               |              |
| БрО5Ц5С5             | 4–6                     | 4–6     | 4–6 | –                        | 180        | 100           | 4            |
| БрС30                | –                       | 27–31   | –   | –                        | 60         | –             | 4            |

#### Антифрикционные сплавы

Антифрикционные материалы предназначены для изготовления подшипников (опор) скольжения, которые широко применяют в современных машинах и приборах из-за их устойчивости к вибрациям, бесшумности работы, небольших габаритов. Антифрикционность – это способность материала обеспечивать низкий коэффициент трения скольжения и тем самым низкие потери на трение и малую скорость изнашивания сопряжённой детали – стального или чугунного вала.

Хороший антифрикционный материал должен иметь высокую теплопроводность, хорошо смачиваться смазкой, образовывать на поверхности защитные плёнки мягкого металла, хорошо прирабатываться, иметь высокое сопротивление усталости.

Подшипниковый материал оценивают по коэффициенту трения и по допустимым значениям давления на опору  $p$  и скорости скольжения  $v$ . Параметр  $p_v$  определяет удельную мощность трения.

Металлические подшипниковые материалы предназначены для работы в режиме

жидкостного трения, сочетающемся в условиях эксплуатации с режимом граничной смазки. Из-за перегрева возможно разрушение граничной масляной плёнки, в этом случае важно, как материал сопротивляется схватыванию. Поэтому в структуре сплава должна быть мягкая составляющая.

По структуре подшипниковые материалы подразделяются на два типа: 1) сплавы с мягкой матрицей и твёрдыми включениями; 2) сплавы с твёрдой матрицей и мягкими включениями.

Сплавы первого типа – это баббиты, а также медные сплавы, в основном, бронзы. Мягкая матрица в этих сплавах обеспечивает хорошую прирабатываемость и особый микрорельеф поверхности, улучшающий распределение смазки и теплоотвод. Твёрдые включения, на которые опирается вал, обеспечивают высокую износостойкость.

Баббиты – мягкие (30 НВ) антифрикционные сплавы на оловянной или свинцовой основе. В соответствии с ГОСТ 1320–74 к сплавам на оловянной основе относятся баббиты Б83 (83 % Sn, 11 % Sb, 6 % Cu) и Б88, на свинцовой основе – Б16 (16 % Sn, 16 % Sb, 2 % Cu), БС6 и БН. Особую группу образуют более дешёвые свинцово-кальциевые баббиты: БКА и БК2 (ГОСТ 1209-90).

По антифрикционным свойствам баббиты превосходят все остальные сплавы, но значительно уступают им по сопротивлению усталости. В связи с этим баббиты применяют только для тонкого (менее 1 мм) покрытия рабочей поверхности опоры скольжения. Наилучшими свойствами обладают оловянистые баббиты, у которых  $p_v = (500–700) \cdot 10^5$  Па·м/с. Из-за высокого содержания дорогого олова их используют для подшипников ответственного назначения (дизелей, паровых турбин и т. п.), работающих при больших скоростях и нагрузках (табл. 4.5). Их структура (см. рис. 4.5) состоит из твёрдого раствора сурьмы в олове (мягкая фаза, тёмный фон) и твёрдых включений  $\beta$  (SnSb) и  $Cu_3Sn$ .

Таблица 4.5 – Характеристики антифрикционных материалов

| Материал | НВ  | Коэффициент трения по стали |                         | Допустимый режим работы |           |                 |
|----------|-----|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------------|
|          |     | Без смазочного материала    | Со смазочным материалом | $p$ , МПа               | $v$ , м/с | $p_v$ , МПа·м/с |
| Баббиты: |     |                             |                         |                         |           |                 |
| Б83      | 30  | 0,07–0,12                   | 0,004–0,006             | 15                      | 50        | 75              |
| Б16      | 30  |                             |                         | 10                      | 30        | 3               |
| БК2      | 32  |                             |                         | 15                      | 15        | 6               |
| Бронзы:  |     |                             |                         |                         |           |                 |
| БрО10Ф1  | 100 | 0,1–0,2                     | 0,004–0,009             | 15                      | 10        | 15              |
| БрО5Ц5С5 | 60  |                             |                         | 8                       | 3         | 12              |
| БрС30    | 25  |                             |                         | 25                      | 12        | 30              |

|                   |     |           |             |      |    |     |
|-------------------|-----|-----------|-------------|------|----|-----|
| Латуни:           |     |           |             |      |    |     |
| ЛЦ16К4            | 100 | 0,15–0,24 | 0,009–0,016 | 12   | 2  | 10  |
| ЛЦ38Мц2С2         | 80  |           |             | 10,6 | 1  | 10  |
| Алюминиевый сплав |     |           |             |      |    |     |
| А09–2             | 31  | 0,1–0,15  | 0,008       | 25   | 20 | 100 |

Бронзы относятся к лучшим антифрикционным материалам. Особое место среди них занимают оловянистые и оловянисто-цинково-свинцовистые бронзы. К первым относятся бронзы БрО10Ф1, БрО10Ц2, ко вторым — БрО5Ц5С5, БрО6Ц6С3 (ГОСТ 613–79). Бронзы применяют для монолитных подшипников скольжения турбин, электродвигателей, компрессоров, работающих при значительных давлениях и средних скоростях скольжения (табл. 4.2)

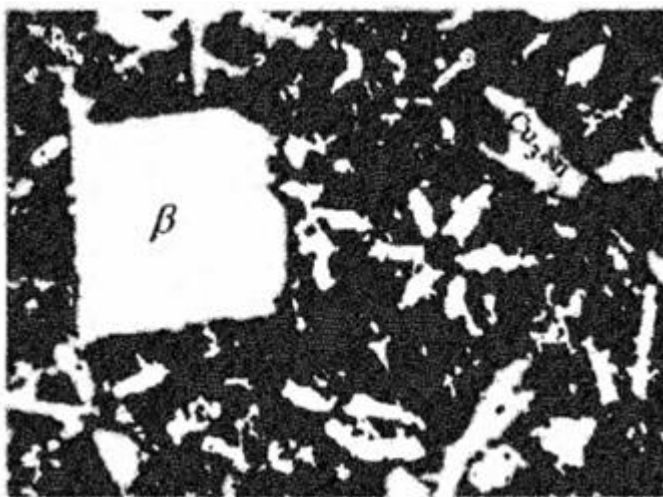


Рисунок 4.5 – Микроструктура баббита Б86.х400

В последнее время бронзы широко используются как компоненты порошковых антифрикционных материалов или тонкостенных пористых покрытий, пропитанных твёрдыми смазочными материалами.

Латуни применяют в качестве заменителей бронз для опор трения. Однако по антифрикционным свойствам они уступают бронзам. Двухфазные латуни ЛЦ16К4, ЛЦ38Мц2С2, ЛЦ40Мц3А и т.д. (ГОСТ 17711–93) применяют при малых скоростях скольжения ( $< 2$  м/с) и невысоких нагрузках. Их часто используют для опор трения приборов.

К сплавам второго типа относятся свинцовистая бронза БрС30 с 30 % Рb (ГОСТ 493–79), и алюминиевые сплавы с оловом, например, сплав А09–2 (9 % Sn, 2 % Cu). Функцию мягкой составляющей в этих сплавах выполняют включения свинца или олова. При граничном трении на поверхность вала переносится тонкая плёнка этих мягких легкоплавких металлов, защищая шейку стального вала от повреждения.

Антифрикционные свойства сплавов достаточно высокие, особенно у алюминиевых сплавов. Из-за хорошей теплопроводности граничный слой смазочного материала на этих сплавах сохраняется при больших скоростях скольжения и высоком давлении (см. табл. 4.2).

Алюминиевый сплав А09–2 применяют для отливки монометаллических вкладышей, бронзу – для наплавки на стальную ленту.

В настоящее время наибольшее распространение получили многослойные подшипники, в состав которых входят многие из рассмотренных выше сплавов. Сплавы или чистые металлы в них уложены слоями, каждый из которых имеет определённое назначение.

Строение четырёхслойного подшипника, применяемого в современном автомобильном двигателе, показано на рис. 4.6.

Он состоит из стального основания, слоя (250 мкм) свинцовистой бронзы (БрС30), тонкого ( $\approx 10$  мкм) слоя никеля или латуни и слоя свинцово-оловянного сплава толщиной 25 мкм. Стальная основа обеспечивает прочность и жёсткость подшипника; верхний мягкий слой улучшает прирабатываемость. Когда он изнашивается, рабочим слоем становится свинцовистая бронза. Слой бронзы, имеющий невысокую твёрдость, также обеспечивает хорошее прилегание шейки вала, высокую теплопроводность и сопротивление усталости. Слой никеля служит барьером, не допускающим диффузию олова из верхнего слоя в свинец бронзы.

### ***Вопросы и задания***

1. Какой термической обработке подвергается сплав дуралюмин? Для обоснования ответа приведите диаграмму состояния алюминий – медь. Каков механизм упрочнения дуралюмина?

2. Какой материал используют для часовых и приборных пружин? Опишите его состав и структуру, приведите механические характеристики.

3. Назначьте марку латуни, устойчивой к коррозии в морской воде. Расшифруйте её состав и опишите структуру, используя диаграмму состояния медь – цинк. Укажите способ упрочнения и основные свойства латуни.

4. Из чего изготавливают вкладыши подшипников скольжения? Опишите состав и структуру сплавов, назовите марки.

5. Для изготовления ответственных деталей (втулки, клапаны, зубчатые колёса) выбран сплав БрАЖН10-4-4. Расшифруйте состав, укажите режим термической обработки, механические свойства и опишите структуру, используя диаграмму состояния медь – алюминий.

6. Для изготовления мембран и других упругих элементов применяют бронзу БрБНТ1,9. Укажите состав, режим термической обработки и механические свойства материала. Какие процессы происходят при термической обработке? Объясните природу упрочнения в связи с диаграммой состояния медь – бериллий.

7. Приведите марки и опишите структуру литейных алюминиевых сплавов. Каким образом повышают их эксплуатационные свойства? Укажите области применения отливок из алюминиевых сплавов.

8. Для изготовления деталей в авиастроении применяется сплав Д18. Расшифруйте состав сплава, укажите способ изготовления деталей из него и приведите характеристики механических свойств.

9. Для изготовления некоторых деталей в авиастроении применяется сплав АК6. Расшифруйте состав сплава, укажите способ изготовления деталей из него и приведите характеристики механических свойств. Какой упрочняющей термообработке подвергают этот сплав?

10. Для деталей уплотнения используют бронзу БрОФ6,5-0,4. Расшифруйте состав сплава, опишите структуру и термическую обработку бронзы, приведите характеристики механических свойств.

11. Для деталей пароводяной арматуры выбрана бронза БрО5Ц5С5. Расшифруйте состав сплава, опишите структуру и объясните назначение легирующих элементов. Приведите характеристики механических свойств.

12. Для изготовления деталей способом глубокой вытяжки применяют латунь Л68. Укажите состав и опишите структуру сплава. Назначьте режим термической обработки, применяемой между отдельными операциями вытяжки, и обоснуйте его выбор. Приведите характеристики механических свойств этого сплава.

13. Образец из сплава Д16 медленно охладили от 550 °С до комнатной температуры. Твёрдость составила 65 НВ. Второй образец закалили с той же температуры в воде, а затем подвергли нагреву на 150 °С в течение 100 ч. Твёрдость сплава оказалась равна 120 НВ. Объясните разницу значений твёрдости.

14. Образцы закалённого сплава Д16 нагревали на 150 °С в течение различного времени. Измерения твёрдости дали следующие результаты:

15. Постройте графическую зависимость твёрдости от времени отжига. Объясните такое поведение сплава.

16. Какой сплав следует выбрать для изготовления подшипников скольжения турбины? Поясните структуру сплава и её влияние на антифрикционные свойства.

### ***Практическая работа № 3. Диаграмма железо-цементит и фазовые превращения. Диаграммы состояния сплавов.***

**Цель:** Изучить основные разновидности диаграмм состояния двойных сплавов; научиться анализировать диаграммы состояния: определять температуры начала и окончания плавления сплавов, находить области равновесного существования твёрдых растворов, обосновывать возможность проведения упрочняющей термической обработки сплавов, оценивать их технологические свойства.

#### ***Основы теории:***

Для практической работы с двойными сплавами необходимо знать их структуру, возможность её 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 её температурного режима нужно знать закономерности изменения фазового состава в зависимости от температуры и химического состава сплава в данной системе. Графическая зависимость, содержащая эту информацию, называется 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 твёрдом 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. На диаграмме состояния будут, по крайней мере, две линии: начала кристаллизации (ликвидус) и окончания кристаллизации (солидус). У многих сплавов, кроме того,



происходят различные превращения в твёрдом состоянии, что тоже отражается линиями на диаграмме.

В зависимости от характера взаимодействия компонентов в сплаве, соответствия или различия в их атомно-кристаллическом строении возможно образование различных фаз: твёрдых 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.

### **Вопросы и задания**

1. Зарисовать, соблюдая масштаб, приведенную ниже диаграмму состояния медь-серебро и выполнить следующие задания:

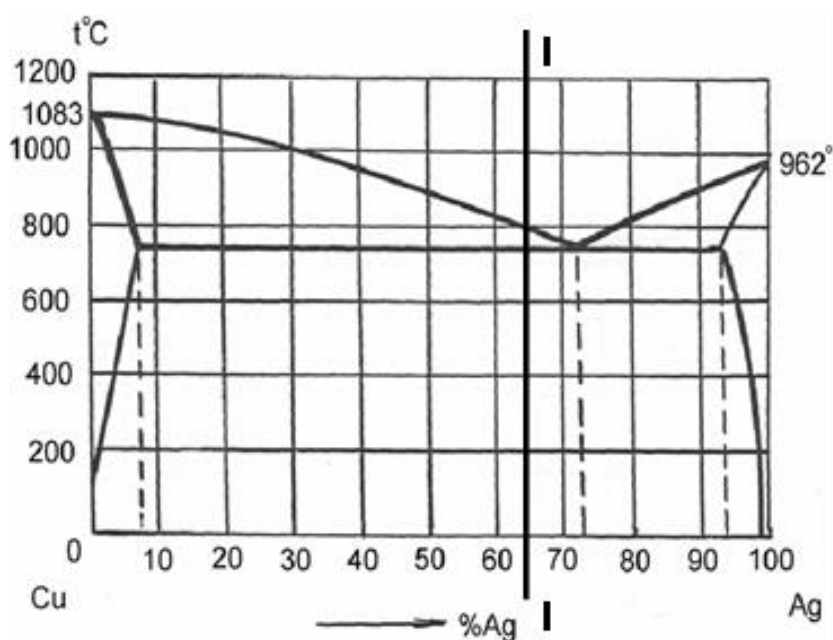


Рисунок 2.1 – Диаграмма медь-серебро

- 1) Установить тип диаграммы состояния.
- 2) Каков физический смысл температур 1083 и 962 °С?
- 3) Укажите линии ликвидус и солидус и объясните их физический смысл.
- 4) Заполнить все области на диаграмме состояния буквенными обозначениями.

Дать определения сплавам, соответствующим этим обозначениям.

5) Указать химический состав сплава, обладающего минимальной температурой плавления. Какова эта температура? Как называется такой сплав?

6) Определить химический состав сплава по заданной на диаграмме линии I-I и охарактеризовать его структуру при комнатной температуре.

7) Определить, используя правило рычага (отрезков), для сплава, содержащего 30 % Ag, концентрацию Ag в жидкой фазе при 900 °С и отношение масс жидкой и твёрдой фаз.

8) Дать заключение о возможностях использования диаграмм состояния для практической работы со сплавами.

2. Зарисовать, соблюдая масштаб, приведенную ниже диаграмму состояния магний-германий и выполнить следующие задания:

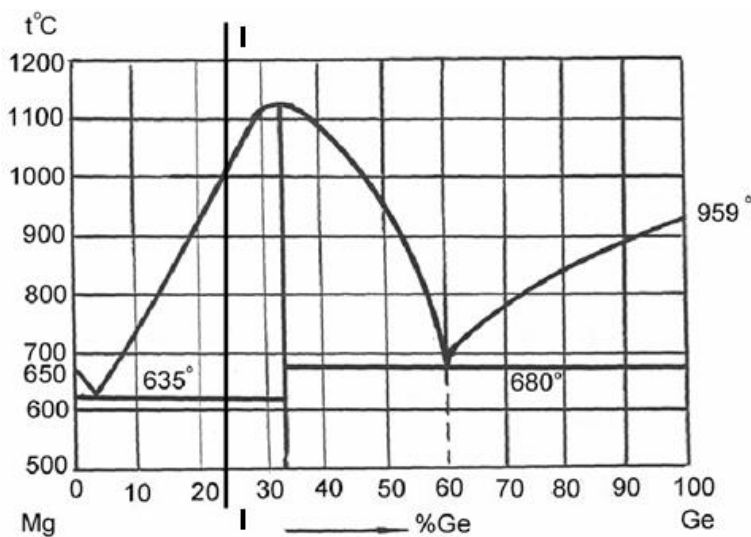


Рисунок 2.2 – Диаграмма магний германий

- 1) Установить тип диаграммы состояния.
- 2) Каков физический смысл температур 650, 1110 и 959 °С?
- 3) Укажите линии ликвидус и солидус и объясните их физический смысл.
- 4) Заполнить все области на диаграмме состояния буквенными обозначениями.

Дать определения сплавам, соответствующим этим обозначениям.

5) Указать химический состав сплава, обладающего минимальной температурой плавления. Какова эта температура? Как называется такой сплав?

6) Определить химический состав сплава по заданной на диаграмме линии I-I и охарактеризовать его структуру при комнатной температуре.

7) Определить, используя правило рычага (отрезков), для сплава, содержащего 80 % Ge, концентрацию Ge в жидкой фазе при 800 °С и отношение масс жидкой и твёрдой фаз.

8) Дать заключение о возможностях использования диаграмм состояния для практической работы со сплавами.

## **Практическая работа №4. Теория и технология термической обработки стали. Термическая обработка углеродистых сталей.**

**Цель:** Получить представление об операциях термической обработки, применяемых для упрочнения и разупрочнения углеродистых сталей. Изучить взаимосвязь между содержанием углерода в стали, структурой и механическими свойствами стали после термической обработки; научиться выбирать режим термической обработки стали для получения необходимых в эксплуатации свойств.

### **Основы теории:**

Термическая обработка – совокупность операций нагрева и охлаждения с целью изменить структуру и свойства сплава в нужном направлении.

Любую операцию термической обработки можно представить графически в виде кривой в координатах «температура – время», включающей участки нагрева, выдержки и охлаждения. Главные параметры, определяющие результат термической обработки, – температура нагрева  $t_n$ , время выдержки  $\tau_v$  и скорость охлаждения  $v_{охл}$ . (рис. 3.1).

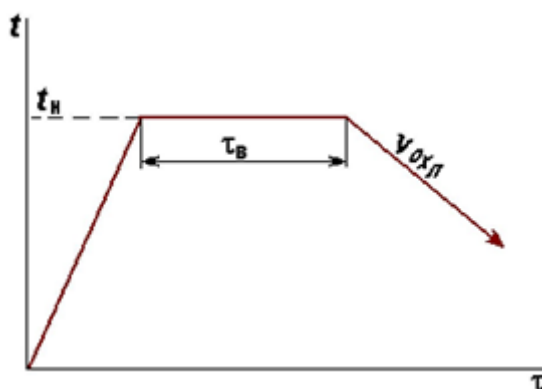


Рисунок 3.1 – Графическое изображение режима термической обработки

Различают упрочняющую термическую обработку, при которой повышаются твёрдость, прочность и износостойкость, и разупрочняющую обработку, повышающую пластические свойства и вязкость, но снижающую твёрдость и сопротивление деформации и разрушению.

Для стальных изделий широко применяются оба варианта термической обработки.

Термическая обработка стали основана на фазовых превращениях, происходящих при её нагреве выше критических температур и охлаждении с различными скоростями. Благодаря разной растворимости углерода в железе с ОЦК и ГЦК решёткой, существует возможность значительного упрочнения стали в результате закалки. Получаемый при закалке

пересыщенный твёрдый раствор углерода в  $\alpha$ -железе можно подвергнуть отпуску для получения более равновесных структур. При этом в зависимости от режима отпуска можно получить широкий спектр механических характеристик стали, что обуславливает её применение для деталей и конструкций, работающих в разных условиях нагружения.

Превращения при нагреве стали

Температуры превращений, или критические точки, при нагреве стали принято обозначать (рис. 3.2):

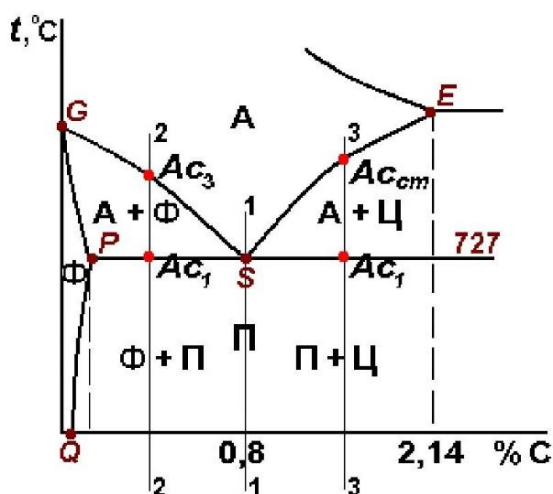


Рисунок 3.2 – Критические точки при нагреве стали

Основные виды термообработки стали – отжиг, нормализация, закалка и отпуск.

Отжиг

Отжиг является разупрочняющей термической обработкой.

Отжигом I рода называют, нагрев стали с неравновесной в результате предшествующей обработки структурой до (или ниже) температуры фазового превращения.

Обычно причиной появления неравновесной структуры является холодная обработка давлением или ускоренное охлаждение после горячей обработки. Температурный режим отжига I рода не связан с фазовыми превращениями в стали.

Цель: Перевести сталь в более устойчивое, равновесное состояние. Пример: рекристаллизационный отжиг для снятия наклёпа; смягчающий отжиг для улучшения обрабатываемости резанием (его ещё называют низким).

Отжигом II рода называют нагрев стали выше температуры фазового превращения с последующим медленным охлаждением (вместе с печью).

Цель: Получить устойчивое, равновесное состояние (как на диаграмме).

Разновидности:

Полный отжиг доэвтектоидных (конструкционных) сталей выполняется с целью

полной фазовой перекристаллизации.

Для этого сталь нагревают на 30-50° выше критической точки  $A_{c3}$  (т. е. линии GS) и после небольшой выдержки медленно охлаждают.

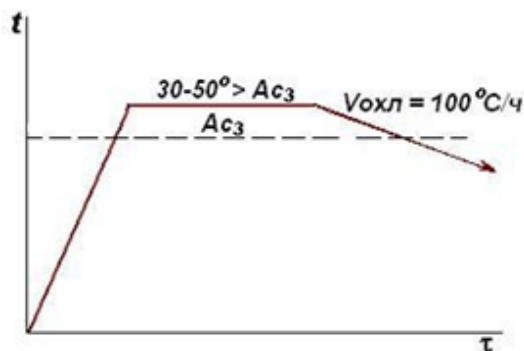


Рисунок 3.3 – Режим полного отжига

Практически детали охлаждаются вместе с печью со скоростью 30–100 С/ч (рис. 3.3). При нагревании феррит и перлит доэвтектоидной стали превращаются в аустенит. Затем, при медленном охлаждении, распад аустенита происходит в верхней части С-образной диаграммы с образованием новых зёрен феррита и перлита. Таким образом, если структура была дефектная (крупные зёрна, зёрна искажённой формы и т. п.), то при полном отжиге она исправляется, получается однородной и мелкозернистой.

Сталь после отжига имеет хорошие пластические свойства и низкую твёрдость. Это обеспечивает хорошую обрабатываемость стали резанием и давлением.

Нормализация является разновидностью отжига II рода с ускоренным охлаждением.

Нормализация заключается в нагреве стали до температур на 50– 70 С выше линии GSE и в охлаждении на воздухе после небольшой выдержки. В этом случае распад аустенита происходит в верхней части С-образной диаграммы, но при несколько меньших температурах, чем при отжиге. Это связано с более быстрым охлаждением.

Поэтому при нормализации получается более мелкая перлитная структура, чем при полном отжиге. Может даже образоваться сорбит – более мелкая, чем перлит, феррито-цементитная смесь.

Для доэвтектоидных сталей нормализация часто заменяет полный отжиг как более производительная и экономичная операция.

После нормализации сталь твёрже и прочнее, чем после полного отжига. Микроструктура тоже отличается от равновесной: феррит образует сетку вокруг участков перлита. (Кажется, что в стали больше углерода, чем есть на самом деле.)

Закалка

Закалка – это упрочняющая термическая обработка, которая таким образом изменяет структуру стали, чтобы максимально повысить твёрдость и прочность.

Закалка заключается в нагреве стали выше температуры фазового превращения с последующим достаточно быстрым охлаждением (со скоростью больше критической).

Цель: получение неравновесной структуры – пересыщенного твёрдого раствора углерода в железе – мартенсита. Практическая цель – получение максимальной твёрдости, возможной для данной марки стали.

Быстрое охлаждение при закалке необходимо, чтобы углерод не успел выделиться из твёрдого раствора – аустенита – и остался в решётке железа после охлаждения (рис. 3.4).

Чтобы закалить сталь, необходимо правильно выбрать температуру нагрева и скорость охлаждения. Эти два параметра являются определяющими при проведении закалки.

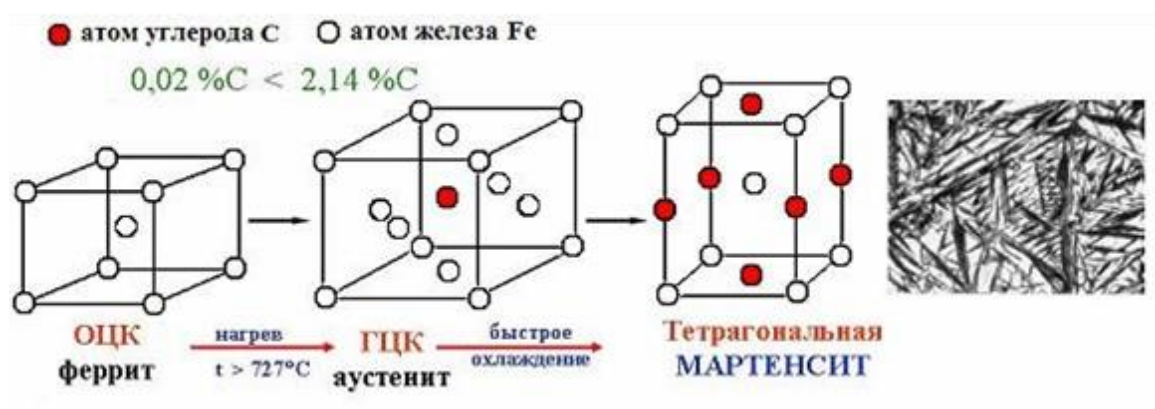


Рисунок 3.6 – Схема образования структуры, закаленной стали – мартенсита

Чтобы закалить сталь, необходимо правильно выбрать температуру нагрева и скорость охлаждения. Эти два параметра являются определяющими при проведении закалки.

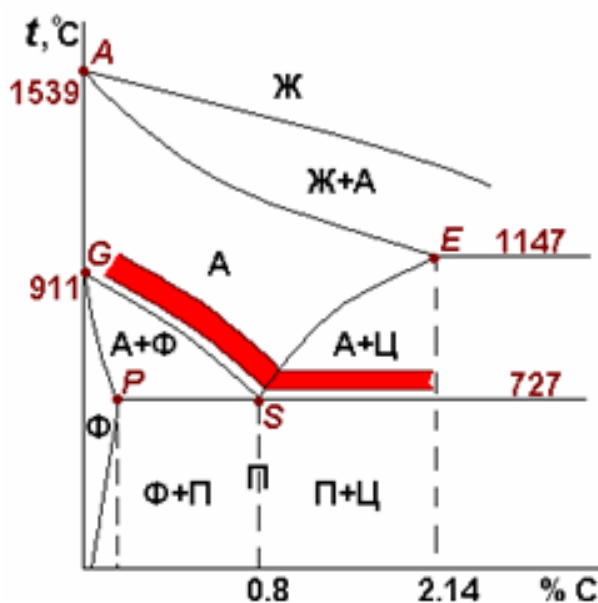


Рисунок 3.7 – Температурный интервал нагрева стали под закалку

При выборе температуры нагрева действует следующее правило: доэвтектоидные стали нагреваются под закалку на 30–50 С выше критической точки  $A_{c3}$ , а заэвтектоидные – на 30–50 С выше точки  $A_{c1}$  (рис. 3.7).

Небольшое превышение критической точки необходимо, так как в печах для термообработки неизбежны некоторые колебания температуры относительно заданного значения.

Почему закалочная температура выбирается для доэвтектоидных и заэвтектоидных сталей по-разному?

В структуре доэвтектоидных сталей ниже линии GS присутствует феррит. Если закалить сталь из этой температурной области, то аустенит превратится в твёрдый и прочный мартенсит, а феррит не изменится, так как он является равновесной фазой. Поскольку феррит очень мягкий, то его присутствие в закалённой стали снижает ее твёрдость. Цель закалки не будет достигнута. Поэтому необходим нагрев до более высоких температур (выше линии GS), где феррит уже отсутствует.

Закалка из однофазной (аустенитной) области, с температур выше  $A_{c3}$ , называется полной. Так закалывают доэвтектоидные (конструкционные) стали.

Для заэвтектоидных сталей такой высокий нагрев не требуется, так как выше точки  $A_1$ , но ниже линии SE структура состоит из аустенита и цементита. При закалке из этой области аустенит превратится в мартенсит, а цементит сохранится, так как он является равновесной фазой. Наличие в закалённой стали такой твёрдой структурной составляющей полезно, потому что мелкие частицы цементита являются дополнительными препятствиями для движения дислокаций, повышают твёрдость и износостойкость.

Закалка из двухфазной области, где присутствуют аустенит и цементит, или аустенит и феррит, называется неполной. Такой закалке подвергают заэвтектоидные (инструментальные) стали.

Закалённая сталь очень твёрдая, но она хрупкая, у неё низкая пластичность и большие внутренние напряжения. В таком состоянии изделие не работоспособно, не надёжно в эксплуатации. Поэтому для уменьшения внутренних напряжений и повышения пластичности после закалки всегда следует ещё одна операция термической обработки, которая называется отпуск.

Отпуск – это нагрев закалённой стали до температур ниже критических с последующим охлаждением, обычно на воздухе.

Цель отпуска – создание требуемого комплекса эксплуатационных свойств стали, получение более устойчивой, чем после закалки, структуры, уменьшение внутренних напряжений.

Отпуск – последняя операция в технологической цепочке термообработки стали, поэтому полученная при отпуске структура должна обеспечивать свойства, необходимые при работе детали.

В процессе отпуска происходит распад мартенсита за счет выделения из него углерода, тем более полный, чем больше температура и время выдержки. Поэтому уменьшаются внутренние напряжения и плотность дислокаций. Остаточный аустенит при отпуске превращается в мартенсит.

При *низкотемпературном* (или *низком*) *отпуске* (150–200 °С) из мартенсита выделяется часть избыточного углерода с образованием мельчайших карбидных частиц. Но поскольку скорость диффузии здесь еще мала, некоторая часть углерода в мартенсите остается.

Такая структура представляет собой малоуглеродистый мартенсит и очень мелкие карбидные частицы. Ее называют *отпущенный мартенсит*.

В результате низкого отпуска уменьшаются внутренние напряжения, немного увеличивается вязкость и пластичность, твердость почти не снижается. Детали могут работать в условиях, где необходима высокая твердость и износостойкость.

Низкий отпуск применяют для режущего и мерительного инструмента, деталей подшипников качения.

Среднетемпературный (или средний) отпуск проводится при более высоких температурах – 300–450 °С. При этом из мартенсита уже выделяется весь избыточный углерод с образованием цементитных частиц. Тетрагональные искажения кристаллической решетки железа снимаются, она становится кубической. Мартенсит превращается в феррито-цементитную смесь с очень мелкими, в виде иголок, частицами цементита, которая называется трооститом отпуска.

Средний отпуск ещё уменьшает внутренние напряжения, увеличивает вязкость, при этом прочность остается высокой, а предел текучести и предел выносливости достигают максимума. Такому отпуску подвергают рессоры, пружины и другие упругие элементы, а также штамповый инструмент.

В интервале 500–650 °С скорость диффузионных процессов уже настолько возрастает, что при распаде мартенсита образуется феррито-цементитная смесь с более крупными, сферической формы, зернами цементита. Такой отпуск называется высокотемпературным (или высоким); получаемая структура – сорбит отпуска.

В результате высокого отпуска сильно возрастают вязкость и пластичность стали, внутренние напряжения снимаются почти полностью, твердость и прочность снижаются, но все же остаются достаточно высокими.



Закалка с высоким отпуском называется термическим улучшением стали. Такой обработке подвергают детали машин, работающие в условиях знакопеременных и ударных нагрузок: валы, рычаги, шестерни и др.

Для некоторых деталей при эксплуатации необходима высокая твёрдость и износостойкость поверхности в сочетании с хорошей вязкостью в сердцевине. Это касается деталей, работающих в условиях износа с одновременным действием динамических нагрузок (например, шестерни, пальцы, скрепляющие звенья трака гусеничных машин).

В таких случаях подвергают упрочнению не всю деталь, а только тонкий (несколько мм) поверхностный слой.

Поверхностная закалка – это нагрев до закалочных температур только поверхностного слоя детали с последующим быстрым охлаждением и образованием мартенситной структуры только в этом слое.

Осуществляют такую закалку быстрым нагревом поверхности, при котором сердцевина не успевает прогреваться за счет теплопроводности. При таком нагреве температура по сечению детали резко падает от поверхности к центру.

После охлаждения в сечении детали получаются три характерных зоны с разной структурой и свойствами (см. рис. 3.8).

В зоне I после закалки получается мартенситная структура с максимальной твёрдостью, так как эта зона нагревалась выше критической температуры  $A_{c3}$ .

В зоне II после закалки в структуре, кроме мартенсита, будет присутствовать и феррит. Следовательно, твёрдость там будет ниже.

В зоне III нагрев и охлаждение не приводят к каким-либо изменениям структуры. Значит, здесь сохраняется исходная феррито-перлитная структура с низкой твёрдостью, но высокими пластическими свойствами.

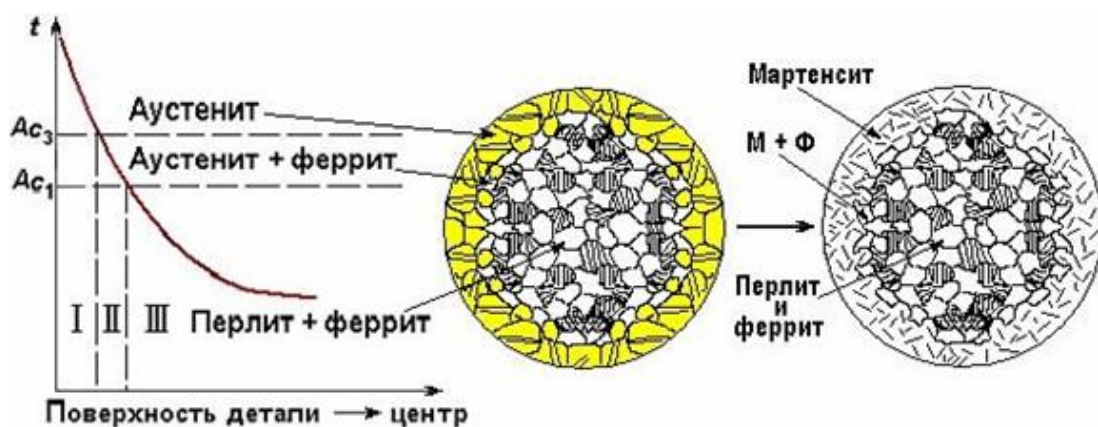


Рисунок 3.8 – Поверхностная закалка стали

а – распределение температур по сечению; б – структура при поверхностном нагреве; в – структура после закалки

После поверхностной закалки деталь может сопротивляться динамическим нагрузкам за счет вязкой сердцевины и хорошо работать в условиях износа благодаря твёрдой поверхности.

Быстрый нагрев поверхности, необходимый при такой технологии, осуществляется чаще всего индукционным способом (закалка ТВЧ). Деталь помещается в индуктор, подключённый к генератору тока высокой частоты. Переменное магнитное поле высокой частоты наводит в тонком поверхностном слое металла вихревые токи, и нагрев осуществляется за счет сопротивления металла протеканию этих токов. Немедленно после нагрева, который длится секунды, деталь помещают в спрейер для охлаждения.

Поверхностная закалка должна сопровождаться низким отпуском.

Чем выше частота внешнего переменного магнитного поля, тем тоньше слой, в котором сосредоточены вихревые токи. Поэтому глубина закалённого слоя может легко регулироваться и составляет от десятых долей миллиметра до 3–5 мм. Операцию закалки ТВЧ можно полностью автоматизировать. Способ очень производительный; коробление и окисление поверхности детали при этом минимально.

Иногда для поверхностной закалки используют и другие способы нагрева: газопламенный, лазерный, в расплавах солей, в электролитах.

Для такого способа термообработки специально созданы стали пониженной прокаливаемости, например, 55ПП (0,55 % С и не более 0,5 % примесей).

### ***Вопросы и задания***

1. Используя диаграмму состояния железо – цементит, определите температуру полной и неполной закалки для стали 40.
2. Дайте описание структуры и свойств стали после каждого вида термической обработки.
3. Что такое отжиг? Используя диаграмму состояния железо – цементит, назначьте температуру отжига для сталей 35 и У10.
4. Опишите превращения, происходящие в сталях при выбранном режиме обработки, получаемую структуру и свойства.
5. Режущий инструмент из стали У12 был перегрет при закалке. Чем вреден перегрев, и как можно исправить этот дефект?
6. Назначьте режим термической обработки для исправления структуры, обеспечивающий нормальную работу инструмента.
7. Опишите структуру и свойства стали после правильной термообработки.

8. Используя диаграмму состояния железо – цементит и график зависимости твёрдости от температуры отпуска, назначьте режим термической обработки (температуру закали, охлаждающую среду и температуру отпуска) втулок из стали 45, которые должны иметь твёрдость HRC 28–30.

9. Опишите превращения, происходящие на всех этапах термической обработки, и получаемую структуру.

10. С помощью диаграммы состояния железо – цементит определите температуру нормализации, отжига и закали для стали 30.

11. Охарактеризуйте эти режимы термической обработки и опишите структуру и свойства стали после каждого вида обработки.

12. После закали углеродистой стали была получена структура, состоящая из феррита и мартенсита.

13. Проведите на диаграмме состояния железо – цементит примерную ординату, соответствующую составу заданной, стали, укажите принятую в данном случае температуру нагрева под закалику.

14. Как называется такая обработка? Какие превращения произошли при нагреве и охлаждении стали?

15. Сталь 40 закалили от температур 760 и 840 °C. Укажите на диаграмме состояния железо – цементит выбранные температуры нагрева и опишите превращения, которые произошли при двух режимах закали.

16. Какому режиму следует отдать предпочтение и почему?

17. Углеродистые стали 45 и У8 после закали и отпуска имеют структуру мартенсит отпуска. Твёрдость первой – HRC 50, второй – HRC 60.

18. Используя диаграмму состояния железо – карбид железа и учитывая превращения, происходящие в этих сталях при отпуске, укажите температуру закали и температуру отпуска для каждой стали.

19. Опишите превращения, происходящие в этих сталях в процессе закали и отпуска, и объясните, почему сталь У8 имеет большую твёрдость, чем сталь 45.

20. Изделия из стали 50 требуется подвергнуть улучшению.

21. Назначьте режим термической обработки, опишите сущность происходящих превращений, структуру и свойства стали после обработки.

22. Что такое нормализация?

23. Используя диаграмму состояния железо – цементит, назначьте температуру нормализации любой доэвтектоидной стали.

24. Опишите превращения, происходящие в стали при выбранном режиме обработки, получаемую структуру и свойства.

25. На изделиях из стали 20 требуется получить поверхностный слой высокой твердости. Выберите способ химико-термической обработки и обоснуйте выбор.

26. Какая структура будет на поверхности стали и в сердцевине после окончательной термообработки?

27. Требуется произвести поверхностное упрочнение изделий из стали 15.

28. Назначьте вид обработки, опишите технологию, происходящие в стали превращения, структуру и свойства поверхности и сердцевины изделия.

29. Валики из стали 40 закалены: один – от температуры 760 С, а другой – от температуры 840 С.

30. Нанесите выбранные температуры нагрева на диаграмму состояния железо – цементит и объясните, какой из этих валиков имеет более высокую твердость и лучшие эксплуатационные свойства и почему.

31. В структуре углеродистой стали 30 после закалки остаточный аустенит не обнаруживается, а в структуре стали У12 наблюдается до 3 % остаточного аустенита. Объясните причину этого явления. Какой обработкой можно устранить остаточный аустенит?

32. Как можно устранить крупнозернистую структуру в ковanej стали 30?

33. Используя диаграмму состояния железо – цементит, обоснуйте выбор режима термической обработки для исправления структуры. Опишите структурные превращения и изменение свойств стали.

34. Шестерни из стали 45 закалены: первая – от температуры 750 С, а вторая – от 850 0С.

35. Нанесите выбранные температуры нагрева на диаграмму состояния железо – цементит, и объясните, какая из этих шестерен имеет более высокую твердость и лучшие эксплуатационные свойства и почему.

36. В чем преимущества и недостатки поверхностного упрочнения стальных изделий при нагреве токами высокой частоты по сравнению с упрочнением методом цементации? Назовите марки стали, применяемые для этих видов обработки.

37. Для каких сталей применяется отжиг на зернистый перлит? Объясните выбор режима и цель этого вида обработки.

38. Вычертите диаграмму изотермического превращения аустенита для стали У8. Нанесите на нее кривую режима изотермической обработки, обеспечивающей получение твердости НВ 150. Укажите, как этот режим называется, и какая структура получается в данном случае.

39. После термической обработки углеродистой стали получена структура цементит и мартенсит отпуска. Нанесите на диаграмму состояния железо – цементит примерную ординату заданной стали и обоснуйте выбор температуры нагрева этой стали под закалку. Укажите температуру отпуска и опишите превращения, которые произошли при термической обработке.

40. При непрерывном охлаждении стали У8 получена структура троостит. Нанесите на диаграмму изотермического превращения аустенита кривую охлаждения, обеспечивающую получение данной структуры. Укажите температурный интервал превращения и опишите его характер.

41. Используя диаграмму состояния железо – цементит, установите температуры нормализации, отжига и закалки для стали 50. Охарактеризуйте эти режимы термической обработки и опишите структуру и свойства стали после каждого вида обработки.

42. Углеродистые стали 35 и У8 после закалки и отпуска имеют структуру мартенсит отпуска и твердость: первая HRC 45, вторая HRC 60.

43. Используя диаграмму состояния железо – карбид железа и учитывая превращения, происходящие при отпуске, укажите температуру закалки и отпуска для каждой стали, объясните, почему сталь У8 имеет большую твердость, чем сталь 35.

44. С помощью диаграммы состояния железо – цементит установите температуру полного и неполного отжига и нормализации для стали 20. Охарактеризуйте эти режимы термической обработки и опишите структуру и свойства стали в каждом случае.

## ***Практическая работа №5. Диэлектрики. Расчет опорно-стержневого изолятора наружной установки.***

**Цель:** Познакомиться с конструкцией и основами расчета опорных стержневых изоляторов.

### ***Основы теории:***

Опорные стержневые изоляторы, как правило, представляют собой сплошные керамические стержни с выступающими ребрами. На торцевых частях изоляторов закреплены металлические фланцы (электроды) с нарезными отверстиями для крепления на аппаратах и в распределительных устройствах.

В обозначениях типов опорных стержневых изоляторов буквы и цифры обозначают: О - опорный; Н - наружной установки; С - стержневой; 1-я цифра - нормальное напряжение, кВ; 2-я цифра – минимальная разрушающая нагрузка на изгиб.

Например, ОНС-35-2000 (опорный стержневой изолятор наружной установки на напряжение 35 кВ, разрушающая нагрузка его 2000 Па). Опорный стержневой изолятор типа ОНС (см. рис. 5.1) имеет следующие основные размеры можно выразить диэлектрические потери в изоляционных материалах:

$h$  – высота, мм;

$A$  – диаметр керамического стержня, мм;

$D$  – диаметр, учитывающий величину выступающих ребер, которые увеличивают длину пути утечки тока по поверхности изолятора, мм.

Последовательность расчета изоляторов

1. Для определения полного тока утечки следует учитывать ток утечки через объем изолятора и ток утечки по его поверхности, а для этого надо определить полное электрическое сопротивление опорного изолятора по формуле

$$\frac{1}{R_n} = \frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_s}$$

где  $R_n$  – полное сопротивление изолятора, им;  $R_v$  – объемное сопротивление, Ом;  $R_s$  – поверхностное сопротивление, Ом;

Чтобы упростить решение задачи, длину пути прохождения тока по поверхности изолятора следует принять равной 1,75  $l$ , т.е. считать её в 1,75 раза больше длины прохождения тока по объему.

Длину электрода (фланца), соприкасающегося с поверхностью, рас-считать по диа-метру А. Помнить, что объемное электрическое сопротивление зависит от удельного объ-емного сопротивления и размеров изолятора ( $\rho_v$ , S, h), а поверхностное сопротивление зависит от удельного поверхностного сопротивления, длины окружности стержня, сопри-касающегося с электродом, и высоты стержня - изолятора ( $\rho_s$ , b, H).

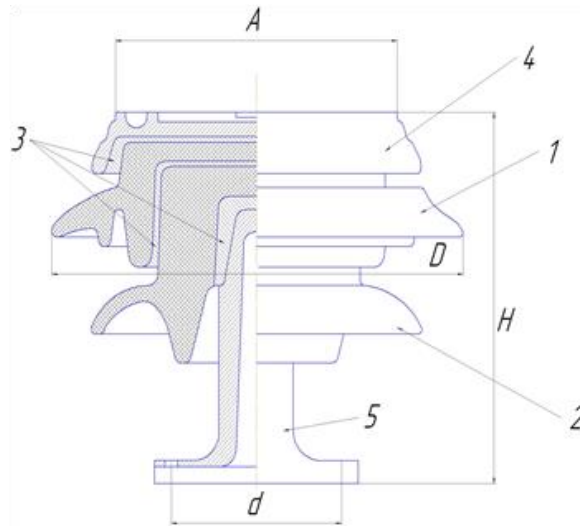


Рисунок 5.1. Опорно-стержневой изолятор наружной установки:

- 1 – верхняя часть изолятора, 2 – нижняя часть изолятора,  
3 – цементно-песчаная связка, 4 – чугунный колпак,  
5 – чугунный штырь

$$R_v = \rho_v \cdot \frac{H}{S} \text{ где } S = \frac{\pi A}{4};$$

$$R_s = \rho_s \cdot \frac{H_s}{l_A}, \text{ где } l_A = \pi A, H_s = 1,75 \cdot H$$

2. При расчете емкости изолятора площадь электрода, находящегося под напряже-нием, следует определять по наименьшему диаметру стержня А, а расстояние между элек-тродами будет равно высоте стержня h. Формулой пользоваться для расчета емкости обыч-ного конденсатора:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 S}{h}$$

где С – ёмкость конденсатора, Ф.

3. Диэлектрические потери в опорном изоляторе складываются из потерь на поляри-зацию в материале стержня и из потерь, обусловленных сквозной проводимостью, то есть это активная мощность, рассеиваемая в изоляторе, которая вызывает его нагрев Ра:

$$Pa = U^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta$$

4. Все величины в расчетные формулы надо подставлять в единицах СИ.

### **Вопросы и задания**

1. Опорный стержневой керамический изолятор ОНС изолирует и поддерживает шины контактных деталей в открытом распределительном устройстве. Изолятор представляет собой сплошной круглый стержень с выступающими ребрами. На торцевых частях изолятора закреплены металлические фланцы (колпаки), являющиеся электродами (рис.5.1). Определить полный ток утечки, протекающий в изоляторе, емкость и диэлектрические потери в нем

Таблица 5.1 – Исходные данные

| Материал изолятора | Уд. объёмное сопр $\rho_v$ , Ом м | Уд. поверхн. сопр. $\rho_s$ , Ом м | Отн. диэл. прониц, $\epsilon$ | Тангенс угла потерь $\text{tg}\delta$ | Напряжение $U$ , кВ | Высота и зол. $A$ , мм | Диаметр $D$ , мм | Диаметр $A$ , мм | Частота |
|--------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------|------------------------|------------------|------------------|---------|
| стеатит            | $7 \cdot 10^{10}$                 | $10^{13}$                          | 8,6                           | 0,001                                 | 35                  | 420                    | 220              | 160              | 50      |



**Практическая работа №6. Электропроводность металлов. Расчет свинцового высоковольтного кабеля.**

**Цель:** Познакомиться с конструкцией и основами расчета свинцового высоковольтного кабеля.

**Основы теории:**

Электрическое поле кабеля подобно полю цилиндрического конденсатора, которое характеризуется осевой симметрией. Последовательность решения следующая.

1. В соответствии с теоремой Гаусса, напряженность электрического поля по толщине изоляции выражается формулой

$$E_x = \frac{q}{\varepsilon \varepsilon_0 2\pi r_x l}$$

где  $q$  — заряд жилы кабеля, Кл;

$r_x$  - переменная величина, определяющая гиперболический закон изменения напряженности электрического поля по толщине изоляции кабеля, м;  $l$  - длина кабеля, м;

$E_x$  — напряженность электрического поля, кВ/м.

2. Напряжение между жилой кабеля и свинцовой оболочкой выражается через определенный интеграл вектора напряженности поля по пути убывания (знак минус) потенциала вдоль направления силовых линий:

$$U = - \int_R^0 E_x dx = - \frac{q}{\varepsilon \varepsilon_0 2\pi r_x l} \int_R^0 \frac{dx}{rx}$$

где  $R=r+d$ - внутренний радиус свинцовой оболочки, мм;  $r$  – радиус медной жилы, мм;  $d$  – толщина изоляции, мм;  $U$  – напряжение, кВ.

2. В соответствии с определением ёмкости кабеля, как отношения заряда к напряжению, имеем

$$C = \frac{2\pi \varepsilon \varepsilon_0 l}{\ln \frac{R}{r}}$$

где  $C$  – ёмкость кабеля, Ф. 4. Подставив в (1)  $q = UC$ , получим

$$E_x = \frac{U}{x \ln \frac{R}{r}}$$

3. Реактивная мощность в кабеле (зарядная мощность) выражения

$$Q = \omega C U_{\Phi}^2$$

### ***Задание №1***

1. Питание электрической установки осуществляется трехфазным током с помощью трех свинцовых высоковольтных кабелей.
2. Определить ёмкость одного свинцового высоковольтного кабеля, минимальную и максимальную напряженности электрического поля в изоляции кабеля и реактивную (зарядовую) мощность в нём, если известны: линейное напряжение  $U$ , частота поля  $f$ , сечение алюминиевой жилы кабеля  $S$ , толщина бумажной пропитанной изоляции  $d$  с диэлектрической проницательностью  $\epsilon$ , длина кабеля  $l$ . Числовые значения всех параметров указаны в табл. 6.1.

Таблица 6.1 – Исходные данные

| Напряжение<br>$U$ , кВ | Сечение жилы<br>кабеля $S$ , мм | Толщина изо-<br>ляции $d$ , мм | Диэл.<br>прониц, $\epsilon$ | Длина ка-<br>беля $l$ , км | Частота $f$ , Гц |
|------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------|
| 10                     | 70                              | 10                             | 4                           | 18                         | 50               |

**Практическая работа №7. Классификация проводниковых материалов и их основные свойства. Расчет питающей линии электрической установки.**

**Цель:** Познакомиться с основами расчета питающей линии электрической установки.

**Основы теории:**

Согласно ПУЭ проводники любого назначения должны удовлетворять требованиям в отношении предельно допустимого нагрева. Количество теплоты, выделяемое ежесекундно в проводе сопротивлением  $R$  в проходящем токе, определяется выражением

$$\frac{W}{t} = I^2 R$$

где  $W$  - количество теплоты, Вт;  $t$  - время, с.

Часть этого тепла идет на повышение температуры провода, а другая часть рассеивается в окружающей среде.

В установившемся тепловом режиме количество рассеиваемого ежесекундно тепла станет равным количеству тепла, выделяемого током. Уравнение теплового баланса имеет следующий вид

$$I^2 R = \sigma S_{\text{п}} \theta_{\text{уст}}$$

где  $\sigma$  - коэффициент теплоотдачи, Вт/мм<sup>2</sup> • град;

$S_{\text{п}}$  - поверхность охлаждения провода, мм<sup>2</sup>;

$\theta_{\text{уст}}$  - установившаяся разность температур провода и окружающей среды:

$$\theta_{\text{уст}} = \theta_{\text{пред}} - \theta_{\text{окр}}$$

Плотность тока определяется из выражения

$$\delta = \frac{l}{S}$$

где  $\delta$  - плотность тока, А/мм

Сопротивление провода:

$$R = \frac{l}{\gamma S}$$

где  $l$  - длина провода, м;

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \text{ - сечение провода (диаметра), мм}^2;$$

$\gamma$  - удельная проводимость токоведущей жилы провода (обратная величине удельного сопротивления), Ом<sup>-1</sup> м<sup>-1</sup>

R - сопротивление провода, Ом.

Принимаем в первом приближении, что поверхность охлаждения равна боковой поверхности цилиндрического провода, т.е.

$$S_{\text{п}} = \pi d l \cdot 10^3, \text{ где } l \text{ выражено в мм.}$$

Уравнение теплового баланса будет иметь вид

$$\delta^2 S^2 \frac{l}{\gamma S} = k S_n \theta_{\text{уст}}$$

$$\delta^2 \frac{\pi d^2 t}{4 \gamma} = k \pi d l \theta_{\text{уст}} 10^3$$

Соответственно получим, что плотность тока определяется из выражения:

$$\delta = \sqrt{\frac{4 k \theta_{\text{уст}} \gamma 10^3}{d}}$$

где  $\delta$  - плотность тока, А/мм<sup>2</sup>.

Допустимая плотность тока  $I_{\text{доп}}$  получается, если в это выражение подставить значение  $\gamma = \gamma_{\theta}$  т.е. удельную проводимость проводника при изменении температуры до  $\theta_{\text{пред}}$ .

При нагреве сопротивление проводника возрастает. Температурный коэффициент сопротивления

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(\theta_2 - \theta_1)}$$

где  $R_1$  - сопротивление проводника при температуре  $\theta_1 = 20^\circ \text{C}$  т.е. температуре, для которой приводятся в справочниках удельные сопротивления (проводимости) материалов;

$R_2$  — сопротивление проводника, соответствующее температуре:

$$\theta_{\text{пред}} = \theta_2$$

$$R_2 = R_1(1 + \alpha(\theta_2 - \theta_1))$$

При нагреве провода до  $\theta_2$  его удельное сопротивление возрастает значения

$$\rho_0 = \rho_{20}(1 + \alpha(\theta_2 - \theta_1))$$

и, следовательно,

$$\gamma_0 = \frac{1}{\rho_0}$$

Параметры  $\rho$ ,  $\gamma$  и  $\lambda$  задаются в справочниках для каждого материала проводника.

Получив для предельной температуры  $\delta = \delta_{доп}$ , определяем длительно допустимый ток:

$$I_{доп} = \delta_{доп} S$$

где  $S$  - площадь сечения провода, мм<sup>2</sup>. Рабочий ток определяется по формуле:

$$I_{раб} = \frac{P}{U}$$

где  $I_{раб}$  - рабочий ток, А.

После полученных результатов необходимо сделать вывод о работе установки.

### **Вопросы и задания**

Электрическая установка, имеющая мощность  $P$ , питается от электрической сети напряжением  $U$ . Питающая линия выполнена проводами, имеющими предельно допускаемую температуру нагрева  $\theta_{пред}$ , и коэффициент теплопередачи  $\sigma$ .

Рассчитать допустимую по условиям нагрева плотность тока и допустимый ток, сравнить его с рабочим током и определить надежность и экономичность работы установки с данными проводами.

Числовые значения параметров установки, материалы проводов и их изоляции приведены в табл.7.1.

Таблица 7.1 – Исходные данные

| Материал провода | Материал изоляции | Сечение провода $S$ , мм <sup>2</sup> | Предельно допустимая температура $\theta_{пред}$ , °C | Мощность уст-ки $P$ , Вт | Напряже-ние сети $U$ , В | Коэфф. тепло-отдачи $\sigma \cdot 10^5$ Вт/мм <sup>2</sup> град |
|------------------|-------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| М                | ПХ                | 2,5                                   | 100                                                   | 800                      | 220                      | 3,2                                                             |

## **5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

#### **5.1.2 Перечень основной литературы:**

1. Бондаренко, Г. Г. Основы материаловедения : учебник / Г. Г. Бондаренко, Т. А. Ка-банова, В. В. Рыбалко ; под редакцией Г. Г. Бондаренко. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 761 с. — ISBN 978-5-00101-755-4. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/37076.html>
2. Электроматериаловедение : учеб. Пособие / А.С. Красько, С.Н. Павлович, Е.Г. Пономоренко. — 2-изд., стер. — Минск : РИПО, 2015. — 212 с. Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=463625](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=463625)
3. Привалов, Е. Е. Электротехнические материалы систем электроснабжения: учебное пособие / Е.Е. Привалов. — М.-Берлин: Директ-Медиа, 2016. — 266 с. Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=436753](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=436753)

#### **5.1.3 Перечень дополнительной литературы:**

1. Основы материаловедения: учебное пособие / Е.А. Астафьева, Ф.М. Носков, В.И. Аникина — Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. — 152 с. Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=364047](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=364047)

### **5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

1. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».
2. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».
3. Методические указания по выполнению контрольной работы по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».
4. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».

***5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет,  
необходимых для освоения дисциплины***

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

## **Методические указания**

по выполнению контрольной работы  
по дисциплине «ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ И КОНСТРУКЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕ-  
ДЕНИЕ»  
для студентов направления подготовки  
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника



## Содержание

| №<br>п/п | Содержание                                                                                                 | Стр. |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
|          | Введение                                                                                                   | 3    |
| 1.       | Цель, задачи и реализуемые компетенции дисциплины                                                          | 4    |
| 2.       | Формулировка задания и ее объем                                                                            | 6    |
| 3.       | Общие требования к написанию и оформлению работы                                                           | 13   |
| 4.       | Рекомендации по выполнению задания                                                                         | 15   |
| 5.       | План-график выполнения задания                                                                             | 19   |
| 6.       | Критерии оценивания работы                                                                                 | 20   |
| 7.       | Порядок защиты работы                                                                                      | 22   |
| 8        | Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины                                                | 23   |
| 8.1      | Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освое-<br>ния дисциплины                    | 23   |
| 8.2      | Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обу-<br>чающихся по дисциплине            | 23   |
| 8.3      | Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет,<br>необходимых для освоения дисциплины | 24   |

## Введение

Одним из основных видов занятий по курсу дисциплины «Электротехническое и конструкционное материаловедение» является выполнение контрольной работы. Предлагаемые в методическом указании задания охватывают весь основной материал курса и соответствуют утвержденной программе.

## 1. Цель, задачи и реализуемые компетенции дисциплины

Целью дисциплины является изучение состава и свойств конструкционных и электротехнических материалов в зависимости от их химического состава, структуры и той среды, в которой им предстоит находиться или работать.

Задачами изучения дисциплины являются:

- знакомство с основными достижениями в области электротехнического и конструкционного материаловедения;
- понимание процессов и явлений, которые происходят в электротехнических и конструкционных материалах при различных воздействиях;
- умение влиять на свойства материалов с помощью технологических процессов, позволяющих предотвращать вредные воздействия окружающей среды в процессе работы соответствующего оборудования.

При выполнении контрольной работы реализуются следующий перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

| Код, формулировка компетенции                                                                                                                               | Код, формулировка индикатора                                                                                                                                                                                                                                                         | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-5 Способен использовать свойства конструкционных и электротехнических материалов в расчетах параметров и режимов объектов профессиональной деятельности | ИД-1 <sub>ОПК-5</sub> Демонстрирует знание областей применения, свойств, характеристик и методов исследования конструкционных материалов, выбирает конструкционные материалы в соответствии с требуемыми характеристиками для использования в области профессиональной деятельности. | Знает современные способы получения материалов и изделий из них с заданным уровнем эксплуатационных свойств, классификацию современных конструкционных электротехнических материалов по их назначению, составу и свойствам, основные характеристики электротехнических материалов для эффективного использования электротехнического оборудования, организации его технического обслуживания и ремонта, а также для технической диагностики и прогнозирования оставшегося ресурса работы. |
|                                                                                                                                                             | ИД-2 <sub>ОПК-5</sub> Демонстрирует знание областей применения, свойств, характеристик                                                                                                                                                                                               | Умеет работать со справочной литературой, отражающей                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

|  |                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>и методов исследования электротехнических материалов, выбирает электротехнические материалы в соответствии с требуемыми характеристиками.</p> | <p>щей характеристики материалов, правильно выбрать или оценить материал для элемента, изделия, устройства, для работы в электроэнергетике в тех или иных условиях.</p> <p>Владеет методами оценки свойств и способами подбора материалов для проектируемых систем, методиками выполнения расчетов применительно к использованию электротехнических и конструкционных материалов, навыками проведения стандартных испытаний и входного контроля материалов и комплектующих электроэнергетического и электротехнического оборудования.</p> |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## **2. Формулировка задания и ее объем**

Задание на контрольную работу состоит из двух частей соответственно по разделам «Конструкционное материаловедение» и «Электротехническое материаловедение». Вариант задания выбирается по списку группы.

### **Задание №1**

Дать ответ на следующие теоретические вопросы (по варианту):

1. Исследование точечных дефектов. Исследование линейных дефектов. Исследование поверхностных дефектов.
2. Твердые растворы. Химические соединения. Фазы внедрения.
3. Отжиг. Нормализация. Закалка.
4. Отпуск. Легирование, как метод защиты цветных металлов от коррозии. Закалка.
5. Оксидирование, как метод защиты цветных металлов от коррозии. Электроискровая обработка металлов. Электроимпульсная обработка металлов.
6. Анодно – механическая обработка металлов. Электрохимическая обработка металлов. Ультразвуковая обработка металлов.
7. Фазы внедрения. Особенности применения сварки плавлением и давлением. Легирование, как метод защиты цветных металлов от коррозии.
8. Плакирование, как метод защиты цветных металлов от коррозии. Закалка. Исследование поверхностных дефектов.
9. Нормализация. Анодно-механическая обработка металлов. Образование сварного соединения.
10. Отжиг. Электрохимическая обработка металлов. Твердые растворы.
11. Исследование точечных дефектов. Химические соединения. Особенности применения сварки плавлением и давлением.
12. Фазы внедрения. Исследование поверхностных дефектов. Нормализация.
13. Ультразвуковая обработка металлов. Отжиг. Анодно – механическая обработка металлов.
14. Исследование линейных дефектов. Нормализация. Легирование, как метод защиты цветных металлов от коррозии.
15. Плакирование, как метод защиты цветных металлов от коррозии. Закалка. Химические соединения.
16. Оксидирование, как метод защиты цветных металлов от коррозии. Электроимпульсная обработка металлов. Отпуск.

17. Ультразвуковая обработка металлов. Твердые растворы. Исследование точечных дефектов.
18. Легирование, как метод защиты цветных металлов от коррозии. Исследование поверхностных дефектов. Закалка.
19. Особенности применения сварки плавлением и давлением. Ультразвуковая обработка металлов. Фазы внедрения.
20. Твердые растворы. Легирование, как метод защиты цветных металлов от коррозии. Закалка.
21. Фазы внедрения. Особенности применения сварки плавлением и давлением. Легирование, как метод защиты цветных металлов от коррозии.
22. Нормализация. Химические соединения. Образование сварного соединения.
23. Анодно-механическая обработка металлов. Образование сварного соединения. Отжиг.
24. Плакирование, как метод защиты цветных металлов от коррозии. Закалка. Исследование поверхностных дефектов.
25. Твердые растворы. Электроимпульсная обработка металлов. Отжиг.
26. Исследование точечных дефектов. Исследование линейных дефектов. Исследование поверхностных дефектов.
27. Ультразвуковая обработка металлов. Твердые растворы. Исследование точечных дефектов.
28. Нормализация. Анодно-механическая обработка металлов. Образование сварного соединения.
29. Отжиг. Электрохимическая обработка металлов. Твердые растворы.
30. 3 Фазы внедрения. Особенности применения сварки плавлением и давлением. Легирование, как метод защиты цветных металлов от коррозии.

### ***Задание №2***

В соответствии с данными таблицы 2 требуется:

1. Определить  $E$ ,  $\nu$  и  $G$  – параметры упругих свойств материала.
2. Определить  $\delta$  и  $\psi$  – параметры пластических свойств материала.
3. По заданной диаграмме рисунок 2 определить  $\sigma_{пл}$ ,  $\sigma_{в}$ ,  $\sigma_{т}$  (или  $\sigma_{0,2}$ ) – параметры прочностных свойств материала (для диаграммы с выраженной площадкой текучести найти  $\sigma_{т}$ , если площадка текучести отсутствует – оценить величину  $\sigma_{0,2}$ ).

4. Определить  $G$ , исходя из данных, полученных в эксперименте на кручение образца.

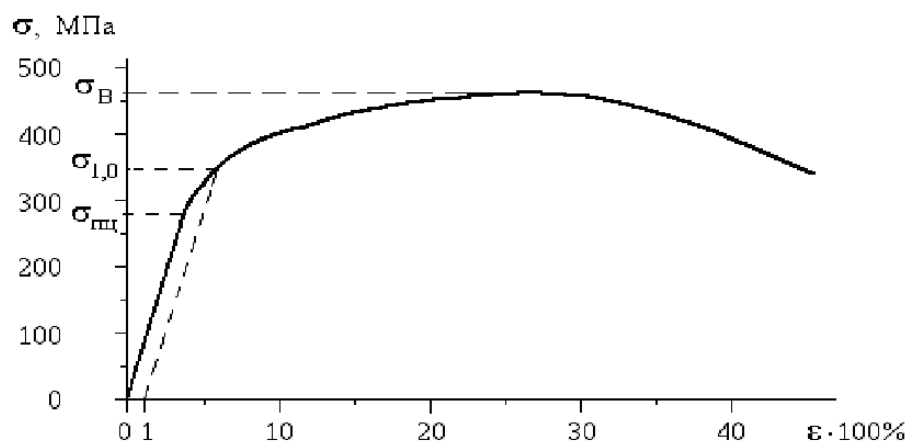


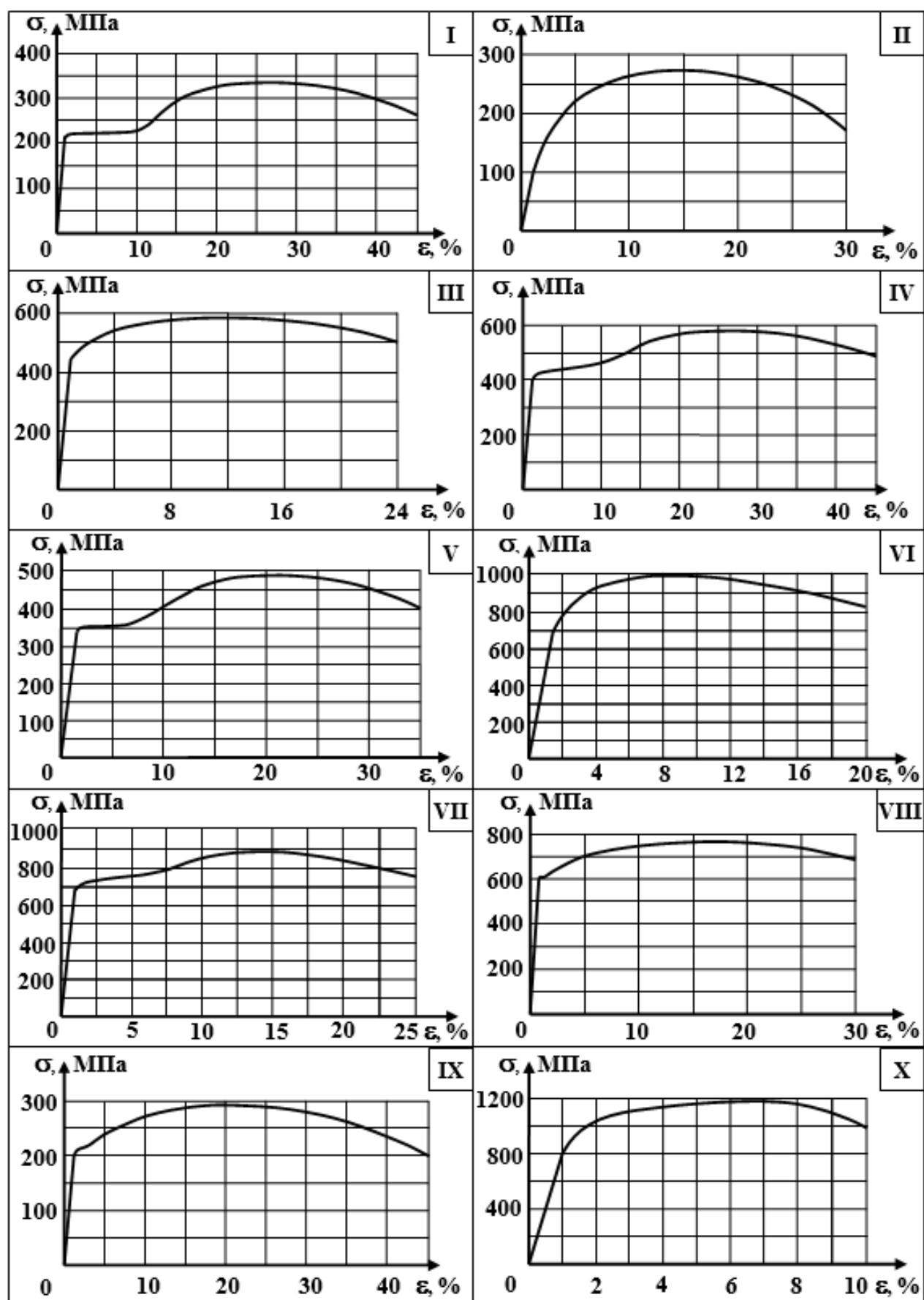
Рисунок 1 – Пример диаграммы растяжения

Таблица 1 – Исходные данные к заданию 2

| Номер строки | $l_0$ , мм | $A_0$ , мм <sup>2</sup> | $F$ , Н | $l \cdot 10^3$ , мм | $A_k$ , мм <sup>2</sup> | $l_k$ , мм | $\varepsilon'$ , % | $\varepsilon$ , % | $M$ , Н·м | $\square$ , рад | $d$ , мм | Номер диаграммы рисунок |
|--------------|------------|-------------------------|---------|---------------------|-------------------------|------------|--------------------|-------------------|-----------|-----------------|----------|-------------------------|
| 1            | 100        | 320                     | 1680    | 2,5                 | 272                     | 130        | 0,06               | -0,25             | 90        | 0,005           | 24       | I                       |
| 2            | 80         | 180                     | 810     | 2,0                 | 135                     | 104        | -0,02              | 0,25              | 80        | 0,003           | 22       | II                      |
| 3            | 75         | 80                      | 530     | 2,6                 | 57                      | 84         | 0,08               | -0,35             | 60        | 0,014           | 15       | III                     |
| 4            | 50         | 50                      | 360     | 1,7                 | 35                      | 56         | -0,15              | 0,38              | 50        | 0,03            | 18       | IV                      |
| 5            | 40         | 30                      | 190     | 1,6                 | 24                      | 50         | 0,05               | -0,40             | 30        | 0,02            | 16       | V                       |
| 6            | 30         | 20                      | 160     | 1,2                 | 18                      | 39         | -0,13              | 0,32              | 20        | 0,009           | 20       | VI                      |
| 7            | 25         | 12                      | 82      | 1,0                 | 10                      | 35         | -0,09              | 0,37              | 10        | 0,01            | 10       | VII                     |
| 8            | 20         | 10                      | 72      | 0,6                 | 7,5                     | 24         | 0,14               | -0,33             | 8         | 0,008           | 25       | VIII                    |
| 9            | 15         | 8                       | 24      | 0,5                 | 6,2                     | 18         | -0,13              | 0,31              | 6         | 0,009           | 12       | IX                      |
| 10           | 125        | 490                     | 3090    | 3,7                 | 392                     | 150        | -0,05              | 0,3               | 100       | 0,004           | 25       | X                       |
| 11           | 100        | 320                     | 1680    | 2,5                 | 272                     | 130        | 0,05               | -0,40             | 60        | 0,014           | 15       | III                     |
| 12           | 80         | 180                     | 810     | 2,0                 | 135                     | 104        | -0,13              | 0,32              | 50        | 0,03            | 18       | IV                      |
| 13           | 75         | 80                      | 530     | 2,6                 | 57                      | 84         | -0,09              | 0,37              | 30        | 0,02            | 16       | V                       |
| 14           | 50         | 50                      | 360     | 1,7                 | 35                      | 56         | 0,14               | -0,33             | 20        | 0,009           | 20       | VI                      |
| 15           | 40         | 30                      | 190     | 1,6                 | 24                      | 50         | -0,13              | 0,31              | 10        | 0,01            | 10       | VII                     |
| 16           | 30         | 20                      | 160     | 1,2                 | 18                      | 39         | -0,05              | 0,3               | 8         | 0,008           | 25       | VIII                    |
| 17           | 25         | 12                      | 82      | 1,0                 | 10                      | 35         | 0,06               | -0,25             | 6         | 0,009           | 12       | IX                      |
| 18           | 20         | 10                      | 72      | 0,6                 | 7,5                     | 24         | -0,02              | 0,25              | 100       | 0,004           | 25       | X                       |
| 19           | 15         | 8                       | 24      | 0,5                 | 6,2                     | 18         | 0,08               | -0,35             | 90        | 0,005           | 24       | I                       |
| 20           | 125        | 490                     | 3090    | 3,7                 | 392                     | 150        | -0,15              | 0,38              | 80        | 0,003           | 22       | II                      |
| 21           | 100        | 320                     | 1680    | 2,5                 | 272                     | 130        | 0,05               | -0,40             | 60        | 0,014           | 15       | III                     |
| 22           | 80         | 180                     | 810     | 2,0                 | 135                     | 104        | -0,13              | 0,32              | 50        | 0,03            | 18       | IV                      |
| 23           | 75         | 80                      | 530     | 2,6                 | 57                      | 84         | -0,09              | 0,37              | 30        | 0,02            | 16       | V                       |
| 24           | 50         | 50                      | 360     | 1,7                 | 35                      | 56         | 0,14               | -0,33             | 20        | 0,009           | 20       | VI                      |
| 25           | 40         | 30                      | 190     | 1,6                 | 24                      | 50         | -0,13              | 0,31              | 10        | 0,01            | 10       | VII                     |
| 26           | 30         | 20                      | 160     | 1,2                 | 18                      | 39         | -0,05              | 0,3               | 8         | 0,008           | 25       | VIII                    |
| 27           | 25         | 12                      | 82      | 1,0                 | 10                      | 35         | 0,05               | -0,40             | 6         | 0,009           | 12       | IX                      |
| 28           | 20         | 10                      | 72      | 0,6                 | 7,5                     | 24         | -0,13              | 0,32              | 100       | 0,004           | 25       | X                       |

|    |     |     |      |     |     |     |       |       |    |       |    |     |
|----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-------|-------|----|-------|----|-----|
| 29 | 15  | 8   | 24   | 0,5 | 6,2 | 18  | -0,09 | 0,37  | 60 | 0,014 | 15 | III |
| 30 | 125 | 490 | 3090 | 3,7 | 392 | 150 | 0,14  | -0,33 | 10 | 0,01  | 10 | VII |





### **Задание №3**

Дать ответ на следующие теоретические вопросы (по варианту):

1. Классификация материалов по электрическим свойствам. Сущность зоной теории проводимости.
2. Классификация материалов по магнитным свойствам.
3. Классификация проводниковых материалов. Основные свойства и характеристики проводниковых материалов.
4. Материалы с высокой проводимостью. Медь и ее сплавы. Свойства, области применения.
5. Материалы с высокой проводимостью. Алюминий и его сплавы. Свойства и области применения.
6. Материалы с высоким сопротивлением. Проводниковые резистивные материалы. Области применения.
7. Проводниковые материалы. Благородные материалы. Область применения.
8. Тугоплавкие металлы. Вольфрам, титан, молибден, их свойства и область применения.
9. Сверхпроводники, их свойства, области применения.
10. Криопроводники, их свойства, области применения.
11. Материалы для электроугольных изделий. Графит. Основные характеристики и области применения.
12. Материалы для подвижных контактов, их свойства.
13. Припой. Область применения, свойства. Твердые и мягкие припой.
14. Обмоточные провода, марки, область применения, виды изоляции проводов.
15. Монтажные провода, марки, виды изоляции, область применения.
16. Полупроводниковые материалы. Свойства полупроводников.
17. Электропроводность полупроводников, виды электропроводности.
18. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках.
19. Полимеризационные синтетические полимеры, их свойства, области применения.
20. Поликонденсатные синтетические полимеры, их свойства области применения.
21. Электроизоляционные пластмассы, их состав, свойства, области применения.
22. Слоистые пластики, их виды, состав, области применения.
23. Пленочные электроизоляционные материалы, их виды, области применения.
24. Полярные пленки, их свойства, области применения.

25. Электроизоляционные материалы на основе каучука, их виды, свойства, области применения.

26. Лаки и эмали, их виды, свойства, области применения.

27. Компаунды, их виды, свойства, области применения.

28. Твердые неорганические диэлектрики, их виды, свойства, области применения.

29. Жидкие диэлектрики, их виды, свойства, области применения.

30. Газообразные диэлектрики, их виды, свойства, области применения.

#### **Задание №4**

Опорный стержневой керамический изолятор ОНС изолирует и поддерживает шины контактных деталей в открытом распределительном устройстве. Изолятор представляет собой сплошной круглый стержень с выступающими ребрами. На торцевых частях изолятора закреплены металлические фланцы (колпаки), являющиеся электродами (рис.2).

Определить полный ток утечки, протекающий в изоляторе, емкость и диэлектрические потери в нем, если известны: номинальное напряжение на нем  $X_{H\text{H}}$  частота электрического поля  $f$  размеры и основные электрические параметры диэлектрика, из которого изготовлен изолятор -  $\rho_s$ ,  $\rho_v$ ,  $\text{tg}\delta$  и др. Исходные данные приведены в табл. 2.

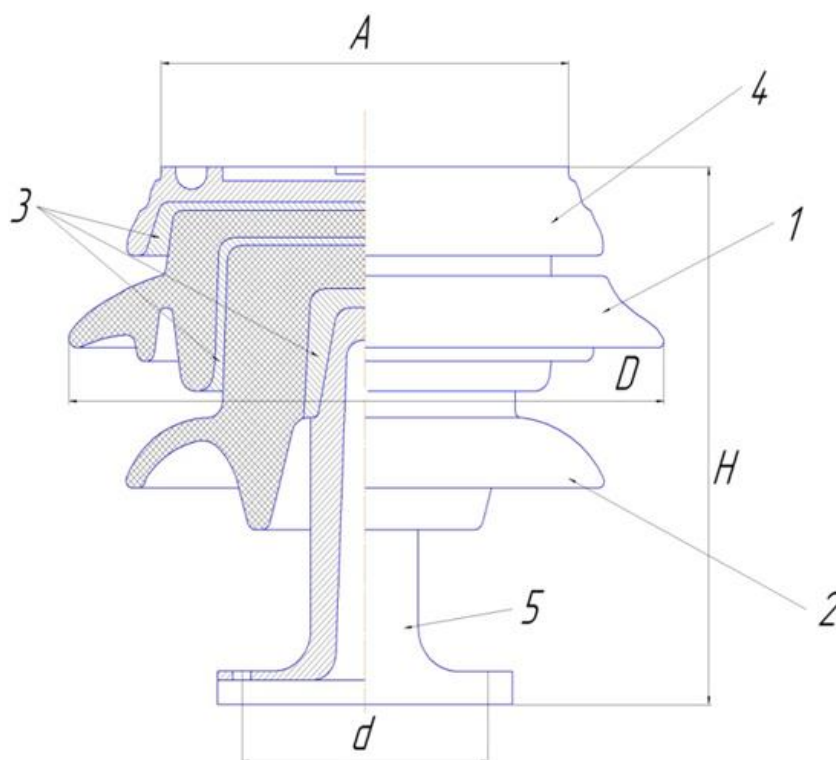


Рисунок 2 – Опорно-стержневой изолятор наружной установки

1 – верхняя часть изолятора, 2 – нижняя часть изолятора,  
3 – цементно-песчаная связка, 4 – чугунный колпак, 5 – чугунный штырь

Таблица 2 – Исходные данные к задаче 4

| Параметры                                  | Варианты и исходные данные |           |              |                   |                   |                   |                   |           |                   |                   |
|--------------------------------------------|----------------------------|-----------|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------|-------------------|-------------------|
|                                            | 1                          | 2         | 3            | 4                 | 5                 | 6                 | 7                 | 8         | 9                 | 10                |
| Предпоследняя цифра шрифта                 |                            |           |              |                   |                   |                   |                   |           |                   |                   |
| Материал изолятора                         | электрофарфор              | ультра    | стеатит      | ультрафар-        | электрофарфор     | стеатит           | электрофарфор     | стеатит   | ультрафар-        | электрофарфор     |
| Уд. объёмное сопротивление $\rho_v$ , Ом м | $7 \cdot 10^{10}$          | $10^{12}$ | $10^{13}$    | $10^{13}$         | $2 \cdot 10^{11}$ | $5 \cdot 10^{13}$ | $8 \cdot 10^{10}$ |           | $5 \cdot 10^{12}$ | $4 \cdot 10^{11}$ |
| Уд. пов-верхн.                             | $10^{12}$                  | $10^{13}$ | $5 \cdot 10$ | $5 \cdot 10^{13}$ | $5 \cdot 10^{12}$ | $8 \cdot 10^{13}$ | $10^{13}$         | $10^{14}$ | $10^{14}$         | $3 \cdot 10^{12}$ |
| Отн. диэл. прониц, $\epsilon$              | 6                          | 8,6       | 6,3          | 8                 | 7                 | 6,8               | 6                 | 7         | 8,5               | 7                 |
| Тангенс угла по-                           | 0,025                      | 0,001     | 0,001        | 0,0005            | 0,03              | 0,002             | 0,035             | 0,003     | 0,0008            | 0,032             |
| Последняя цифра шифра                      |                            |           |              |                   |                   |                   |                   |           |                   |                   |
| Напряже-ние U, кВ                          | 10                         | 35        | 20           | 10                | 35                | 10                | 20                | ПО        | 35                | 10                |
| Высота и зол. А, мм                        | 170                        | 420       | 315          | 1050              | 500               | 210               | 360               | 1060      | 420               | 240               |
| Диаметр Д, мм                              | 160                        | 180       | 170          | 220               | 225               | 170               | 180               | 220       | 200               | 180               |
| Диаметр А, мм                              | 140                        | 160       | 150          | 200               | 200               | 150               | 160               | 200       | 180               | 160               |
| Частота                                    | 50                         | 50        | 50           | 50                | 50                | 50                | 50                | 50        | 50                | 50                |

### ***3. Общие требования к написанию и оформлению работы***

#### **Основные требования к работе**

При выполнении и оформлении контрольной по ГОСТу надо учитывать общие требования, которые предъявляются к работе:

- студент должен придерживаться заданной тематики;
- запрещено менять тему самостоятельно без обращения к преподавателю;
- при оформлении работы нужно учитывать нормы и ГОСТы;
- контрольная выполняется на основании не менее семи источников, выбранных автором;
- работа должна быть авторской, в ней должны содержаться собственные выводы студента;
- текст контрольной должен иметь объем не менее 7 листов.

#### **Оформление по ГОСТу текста контрольной**

Когда работа выполнена, ее необходимо привести в соответствующий вид согласно ГОСТам:

- контрольную набирают в Word или другом текстовом редакторе с аналогичным функционалом;
- при наборе нужно использовать шрифт Times New Roman;
- интервал между строк — полуторный;
- размер шрифта — 14;
- текст выравнивается по ширине;
- в тексте делают красные строки с отступом в 12,5 мм;
- нижнее и верхнее поля страницы должны иметь отступ в 20 мм;
- слева отступ составляет 30 мм, справа — 15 мм;
- контрольная всегда нумеруется с первого листа, но на титульном листе номер не ставят;
- номер страницы в работе всегда выставляется в верхнем правом углу;
- заголовки работы оформляются жирным шрифтом;
- в конце заголовков точка не предусмотрена;
- заголовки набираются прописными буквами;
- все пункты и разделы в работе должны быть пронумерованы арабскими цифрами;
- названия разделов размещаются посередине строки, подразделы — с левого края;
- работа распечатывается в принтере на листах А4;

– текст должен располагаться только на одной стороне листа.

**Работа имеет такую структуру:**

1. Титульный лист;
2. Оглавление и введение;
3. Основной текст и расчет контрольной;
4. Заключительная часть работы;
5. Перечень использованной литературы и источников;
6. Дополнения и приложения.

Если в работе есть приложения, о них надо упоминать в оглавлении.

Ссылки нумеруются арабскими цифрами, при этом учитывают структуру работы (разделы и подразделы).

#### 4. Рекомендации по выполнению задания

В данном разделе приведены основные положения и расчетные формулы, необходимые для решения задач в данной контрольной работе.

##### Указание к решению задачи №1

Дать развернутый ответ на теоретический вопрос.

##### Указание к решению задачи №2

Основные положения и расчетные формулы. Прочность материала, его твердость, упругость, пластичность, вязкость, ползучесть относятся к механическим свойствам. Они являются основными свойствами конструкционных материалов и определяются по результатам испытаний. Наиболее важными из них являются статические испытания на растяжение. Пример диаграммы такого испытания приводится на рисунке 2. Здесь по оси абсцисс откладывается продольная относительная деформация образца  $\varepsilon = (l - l_0) / l_0 = \Delta l / l_0$ , выраженная в процентах. По оси ординат откладывается нормальное напряжение в поперечном сечении образца –  $\sigma = F/A_0$  Па. В формулах использованы следующие обозначения:  $l_0$ , м – длина ненагруженного измеряемого участка,  $l$  – его длина при действии нагрузки  $F$ , Н и  $A_0$ , м<sup>2</sup> – площадь поперечного сечения ненагруженного образца.

Основные механические свойства материалов при нормальных температурах характеризуются параметрами упругости, пластичности и прочности.

К упругим параметрам относятся:

Модуль упругости при растяжении (сжатии), или модуль Юнга I рода:

$$E = \sigma / \varepsilon = F l_0 / (\Delta l A_0), \text{ Па};$$

Коэффициент Пуассона:

$$\nu = |\varepsilon' / \varepsilon|, \quad 0 < \nu < 0,5,$$

где  $\varepsilon$  – поперечная относительная деформация;

Модуль сдвига, или модуль Юнга II рода,

$$G = M l_0 / (\varphi l_p), \text{ Па},$$

Определяемый при испытаниях образцов на кручение, здесь  $M$ , Н\*м – величина крутящего момента,  $\varphi$  – угол поворота сечения под действием момента  $M$ ;  $l_p = \pi d^4 / 32 \approx 0,1 d^4$ , м<sup>4</sup> – полярный момент инерции поперечного сечения образца.

Для изотропного материала упругие параметры связаны следующей зависимостью:

Для изотропного материала упругие параметры связаны следующей зависимостью:

$$G = E / [2 (1 + \nu)] .$$

Пластичность материала характеризуют следующие параметры: относительное остаточное удлинение:

$$\delta = [(l_k - l_0) / l_0] 100\% ,$$

где  $l_k$  – длина измеряемого участка после разрыва образца;

Относительное остаточное сужение:

$$\psi = [(A_0 - A_k) / A_0] 100\% ,$$

где  $A_k$  – минимальная площадь поперечного сечения измеряемого образца после его разрыва.

Прочность материала определяют параметры:

предел пропорциональности:

$$\sigma_{пц} = F_{пц} / A_0 ,$$

Наибольшее напряжение, до которого материал следует закону Гука:

Предел текучести:

$$\sigma_T = F_T / A_0 ,$$

Напряжение, при котором рост деформации происходит без заметного увеличения нагрузки (для диаграмм I, IV, V, VII, VIII, и IX с выраженной площадкой текучести).

Условный предел текучести  $\sigma_{0,2}$  – величина напряжения, при котором остаточная деформация  $\epsilon_{ост} = 0,002$  или 0,2% для диаграмм II, III, VI, и X, на которых площадка текучести отсутствует;

Предел прочности (или временное сопротивление) –

$$\sigma_B = F_B / A_0 ,$$

Отношение максимальной нагрузки  $F_B$ , которую способен выдержать образец, к его начальной площади поперечного сечения.

### ***Указание к решению задачи №3***

Дать развернутый ответ на теоретический вопрос.

### ***Указание к решению задачи №4***

Опорные стержневые изоляторы, как правило, представляют собой сплошные керамические стержни с выступающими ребрами. На торцевых частях изоляторов закреплены металлические фланцы (электроды) с нарезными отверстиями для крепления на аппаратах и в распределительных устройствах.



В обозначениях типов опорных стержневых изоляторов буквы и цифры обозначают: О - опорный; Н - наружной установки; С - стержневой; 1-я цифра - нормальное напряжение, кВ; 2-я цифра — минимальная разрушающая нагрузка на изгиб.

Например, ОНС-35-2000 (опорный стержневой изолятор наружной установки на напряжение 35 кВ, разрушающая нагрузка его 2000 Па). Опорный стержневой изолятор типа ОНС (см. рис. 2) имеет следующие основные размеры можно выразить диэлектрические потери в изоляционных материалах?

h - высота, мм;

A - диаметр керамического стержня, мм;

Д — диаметр, учитывающий величину выступающих ребер, которые увеличивают длину пути утечки тока по поверхности изолятора, мм.

Последовательность решения задачи:

1. Для определения полного тока утечки следует учитывать ток утечки через объем изолятора и ток утечки по его поверхности, а для этого надо определить полное электрическое сопротивление опорного изолятора по формуле

$$\frac{1}{R_n} = \frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_s}$$

где  $R_n$  - полное сопротивление изолятора, Ом;  $R_v$  - объемное сопротивление, Ом;  $R_s$  - поверхностное сопротивление, Ом;

Чтобы упростить решение задачи, длину пути прохождения тока по поверхности изолятора следует принять равной  $1,75 l$ , т.е. считать её в 1,75 раза больше длины прохождения тока по объему.

Длину электрода (фланца), соприкасающегося с поверхностью, рассчитать по диаметру A. Помнить, что объемное электрическое сопротивление зависит от удельного объемного сопротивления и размеров изолятора ( $\rho_v$ , S, h), а поверхностное сопротивление зависит от удельного поверхностного сопротивления, длины окружности стержня, соприкасающегося с электродом, и высоты стержня - изолятора ( $\rho_s$ , b, H).

$$R_v = \rho_v \cdot \frac{H}{S} \text{ где } S = \frac{\pi A^2}{4};$$

$$R_s = \rho_s \cdot \frac{H_s}{l_A} \text{ где } l_A = \pi A, H_s = 1,75 \cdot H$$

2. При расчете емкости изолятора площадь электрода, находящегося под напряжением, следует определять по наименьшему диаметру стержня A, а расстояние между электродами будет равно высоте стержня h. Формулой пользоваться для расчета емкости обычного конденсатора:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 S}{h}$$

где  $C$  — ёмкость конденсатора, Ф.

3. Диэлектрические потери в опорном изоляторе складываются из потерь на поляризацию в материале стержня и из потерь, обусловленных сквозной проводимостью, то есть это активная мощность, рассеиваемая в изоляторе, которая вызывает его нагрев  $P_a$ :

$$P_a = U^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta$$

4. Все величины в расчетные формулы надо подставлять в единицах СИ.

### 5. План-график выполнения задания

Работа над контрольной работой может быть представлена в виде выполнения следующих этапов:

| №<br>п/п                      | Наименование этапа                           | Сроки выполнения                  |
|-------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Очная форма обучения</b>   |                                              |                                   |
| 1.                            | Получения задания                            | На первом практическом занятии    |
| 2.                            | Первичная консультация с преподавателем      | На первом практическом занятии    |
| 3.                            | Работа с информационными источниками         | В течении семестра                |
| 4.                            | Написание контрольной работы                 | В течении семестра                |
| 5.                            | Предоставление контрольной работы на кафедру | В течении семестра                |
| 6.                            | Защита контрольной работы                    | На последнем практическом занятии |
| <b>Заочная форма обучения</b> |                                              |                                   |
| 1.                            | Получения задания                            | На первом практическом занятии    |
| 2.                            | Первичная консультация с преподавателем      | На первом практическом занятии    |
| 3.                            | Работа с информационными источниками         | В течении сессии                  |
| 4.                            | Написание контрольной работы                 | В течении сессии                  |
| 5.                            | Предоставление контрольной работы на кафедру | В течении сессии                  |
| 6.                            | Защита контрольной работы                    | На последнем практическом занятии |

## **6. Критерии оценивания работы**

В целях повышения качества выполняемых контрольных работ преподаватель руководствуется следующими критериями оценивания письменных работ студентов.

### **Оценка «зачтено (отлично)» выставляется, если студент:**

- представил контрольную работу в установленный срок и оформил ее в строгом соответствии с изложенными требованиями;
- использовал рекомендованную и дополнительную учебную и страноведческую литературу;
- при выполнении упражнений показал высокий уровень знания лексико-грамматического и страноведческого материала по заданной тематике, проявил творческий подход при ответе на вопросы, умение глубоко анализировать проблему и делать обобщающие выводы;
- выполнил работу грамотно с точки зрения поставленной задачи, т.е. без ошибок и недочетов или допустил не более одного недочета.

### **Оценка «зачтено (хорошо)» выставляется, если студент:**

- представил контрольную работу в установленный срок и оформил ее в соответствии с изложенными требованиями;
- использовал рекомендованную и дополнительную литературу;
- при выполнении упражнений показал хороший уровень знания лексико-грамматического и страноведческого материала по заданной тематике, практически правильно сформулировал ответы на поставленные вопросы, представил общее знание информации по проблеме;
- выполнил работу полностью, но допустил в ней: а) не более одной негрубой ошибки и одного недочета б) или не более двух недочетов.

### **Оценка «зачтено (удовлетворительно)» выставляется, если студент:**

- представил работу в установленный срок, при оформлении работы допустил незначительные отклонения от изложенных требований;
- показал достаточные знания по основным темам контрольной работы;
- использовал рекомендованную литературу;
- выполнил не менее половины работы или допустил в ней а) не более двух грубых ошибок, б) или не более одной грубой ошибки и одного недочета, в) или не более двух-трех негрубых ошибок, г) или одной негрубой ошибки и трех недочетов, д) или при отсутствии ошибок, но при наличии 4-5 недочетов.

**Оценка «незачтено (неудовлетворительно)» выставляется:**

- когда число ошибок и недочетов превосходит норму, при которой может быть выставлена оценка «зачтено (удовлетворительно)» или если правильно выполнено менее половины работы;
- если студент не приступал к выполнению работы или правильно выполнил не более 10 процентов всех заданий.

## ***7. Порядок защиты работы***

Написанная студентом контрольная работа сдается на кафедру в срок для рецензирования. Студент защищает расчетно-графическую работу до экзамена (зачета) перед преподавателем. Без защиты КР студент к экзамену (зачету) не допускается.

Работа не допускается к защите, если она не носит самостоятельного характера, списана из литературных источников или у других авторов, если основные вопросы не раскрыты, изложены схематично, фрагментарно, в тексте содержатся ошибки, научный аппарат оформлен неправильно, текст написан небрежно.

В ходе защиты контрольной работы задача студента — показать углубленное понимание вопросов конкретной темы, хорошее владение материалом по теме.

Защита расчетно-графической работы может проходить в различных формах по усмотрению преподавателя:

- в форме индивидуальной беседы студента с руководителем по основным положениям работы;
- в форме индивидуальной защиты в присутствии всей группы студентов;
- в форме групповой защиты – одновременной защиты контрольной работы по одному направлению. В этом случае каждый следит за ходом рассуждений товарищей, дополняет, уточняет их, что, несомненно, усиливает работу мысли и способствует развитию экономического мышления.

Любая форма защиты контрольной работы учит отстаивать свою точку зрения, убедительно аргументировать ее, что способствует перерастанию знаний в убеждения.

## **8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **8.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

#### **8.1.2 Перечень основной литературы:**

1. Бондаренко, Г. Г. Основы материаловедения : учебник / Г. Г. Бондаренко, Т. А. Ка-банова, В. В. Рыбалко ; под редакцией Г. Г. Бондаренко. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 761 с. — ISBN 978-5-00101-755-4. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/37076.html>
2. Электроматериаловедение : учеб. Пособие / А.С. Красько, С.Н. Павлович, Е.Г. Пономоренко. — 2-изд., стер. — Минск : РИПО, 2015. — 212 с. Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=463625](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=463625)
3. Привалов, Е. Е. Электротехнические материалы систем электроснабжения: учебное пособие / Е.Е. Привалов. — М.-Берлин: Директ-Медиа, 2016. — 266 с. Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=436753](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=436753)

#### **8.1.3 Перечень дополнительной литературы:**

1. Основы материаловедения: учебное пособие / Е.А. Астафьева, Ф.М. Носков, В.И. Аникина — Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. — 152 с. Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=364047](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=364047)

### **8.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

1. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».
2. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».
3. Методические указания по выполнению контрольной работы по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».
4. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».

***8.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет,  
необходимых для освоения дисциплины***

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

## **Методические указания**

по организации и проведению самостоятельной работы  
по дисциплине «ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ И КОНСТРУКЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕ-  
ДЕНИЕ»  
для студентов направления подготовки  
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

|   |                                                                                                                                          |  |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|   | Введение                                                                                                                                 |  |
| 1 | Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Электротехническое и конструкционное материаловедение» |  |
| 2 | План-график выполнения самостоятельной работы                                                                                            |  |
| 3 | Контрольные точки и виды отчетности по ним                                                                                               |  |
| 4 | Методические рекомендации по изучению теоретического материала                                                                           |  |
| 5 | Методические указания по подготовке к контрольной работе                                                                                 |  |
| 6 | Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины                                                                              |  |

## **Введение**

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

## **Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Электротехническое и конструкционное материаловедение»**

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента. Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения. В связи с этим, обучение в ВУЗе включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРС должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой специалиста и бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. В соответствии с рабочей программой дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы студента:

- самостоятельное изучение литературы;
- самостоятельное решение задач;
- выполнение курсового проекта.

**Цель самостоятельного изучения литературы** – самостоятельное овладение знаниями, опытом исследовательской деятельности.

**Задачами** самостоятельного изучения литературы являются:

- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов.

**Цель самостоятельного решения задач** - овладение профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю будущей деятельности.

**Задачами** самостоятельного решения задач являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

**Целью самостоятельного выполнения расчетно-графической работы** по дисциплине является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности.

**Задачами** данного вида самостоятельной работы студента являются:

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

В результате освоения дисциплины формируются следующий перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы:

| Код, формулировка компетенции                                                                                                                               | Код, формулировка индикатора                                                                                                                                                                                                                                                         | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-5 Способен использовать свойства конструкционных и электротехнических материалов в расчетах параметров и режимов объектов профессиональной деятельности | ИД-1 <sub>ОПК-5</sub> Демонстрирует знание областей применения, свойств, характеристик и методов исследования конструкционных материалов, выбирает конструкционные материалы в соответствии с требуемыми характеристиками для использования в области профессиональной деятельности. | Знает современные способы получения материалов и изделий из них с заданным уровнем эксплуатационных свойств, классификацию современных конструкционных электротехнических материалов по их назначению, составу и свойствам, основные характеристики электротехнических материалов для эффективного использования электротехнического оборудования, организации его технического обслуживания и ремонта, а также для технической диагностики и прогнозирования оставшегося ресурса работы.                                                                                       |
|                                                                                                                                                             | ИД-2 <sub>ОПК-5</sub> Демонстрирует знание областей применения, свойств, характеристик и методов исследования электротехнических материалов, выбирает электротехнические материалы в соответствии с требуемыми характеристиками.                                                     | Умеет работать со справочной литературой, отражающей характеристики материалов, правильно выбрать или оценить материал для элемента, изделия, устройства, для работы в электроэнергетике в тех или иных условиях.<br>Владеет методами оценки свойств и способами подбора материалов для проектируемых систем, методиками выполнения расчетов применительно к использованию электротехнических и конструкционных материалов, навыками проведения стандартных испытаний и входного контроля материалов и комплектующих электроэнергетического и электротехнического оборудования. |

### План-график выполнения самостоятельной работы

| Коды реализуемых компетенций, индикатора(ов)            | Вид деятельности студентов                         | Средства и технологии оценки                             | Объем часов, в том числе |                                    |       |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|-------|
|                                                         |                                                    |                                                          | СРС                      | Контактная работа с преподавателем | Всего |
| Очная форма обучения                                    |                                                    |                                                          |                          |                                    |       |
| ОПК-5<br>ИД-1 <sub>ОПК-5</sub><br>ИД-2 <sub>ОПК-5</sub> | Самостоятельное изучение литературы по темам №1-18 | Собеседование                                            | 9,06                     | 0,34                               | 9,4   |
|                                                         | Подготовка к лекциям                               | Собеседование                                            | 3,24                     | 0,36                               | 3,6   |
|                                                         | Подготовка к практическим занятиям                 | Письменный отчет о решении типовых, разноуровневых задач | 3,24                     | 0,36                               | 3,6   |
|                                                         | Подготовка к лабораторным работам                  | Собеседование                                            | 4,86                     | 0,54                               | 5,4   |
|                                                         | Выполнение контрольной работы                      | Собеседование                                            | 12                       | 2                                  | 14    |
| Итого за 4 семестр:                                     |                                                    |                                                          | 32,4                     | 3,6                                | 36    |
| Итого:                                                  |                                                    |                                                          | 32,4                     | 3,6                                | 36    |
| Заочная форма обучения                                  |                                                    |                                                          |                          |                                    |       |
| ОПК-5<br>ИД-1 <sub>ОПК-5</sub><br>ИД-2 <sub>ОПК-5</sub> | Самостоятельное изучение литературы по темам №1-18 | Собеседование                                            | 72,24                    | 7,36                               | 79,6  |
|                                                         | Подготовка к лекциям                               | Собеседование                                            | 0,36                     | 0,04                               | 0,4   |
|                                                         | Подготовка к практическим занятиям                 | Письменный отчет о решении типовых, разноуровневых задач | 0,72                     | 0,08                               | 0,8   |
|                                                         | Подготовка к лабораторным работам                  | Собеседование                                            | 1,08                     | 0,12                               | 1,2   |
|                                                         | Выполнение контрольной работы                      | Собеседование                                            | 12                       | 2                                  | 14    |
| Итого за 4 семестр:                                     |                                                    |                                                          | 86,4                     | 9,6                                | 96    |
| Итого:                                                  |                                                    |                                                          | 86,4                     | 9,6                                | 96    |

### Контрольные точки и виды отчетности по ним

В рамках рейтинговой системы успеваемость студентов по каждой дисциплине оценивается в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

| №<br>п/п         | Вид деятельности студентов | Сроки<br>выполнения | Количество<br>баллов |
|------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| <b>4 семестр</b> |                            |                     |                      |
| 1.               | Практическое занятие № 2   | 6 неделя            | 25                   |
| 2.               | Лабораторная работа № 5    | 10 неделя           | 15                   |
| 3.               | Практическое занятие № 7   | 16 неделя           | 15                   |
|                  | <b>Итого за 4 семестр</b>  |                     | <b>55</b>            |
|                  | <b>Итого</b>               |                     | <b>55</b>            |

Максимально возможный балл за весь текущий контроль Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным 55. Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставляемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

| Уровень выполнения контрольного задания | Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание) |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Отличный                                | <b>100</b>                                                           |
| Хороший                                 | <b>80</b>                                                            |
| Удовлетворительный                      | <b>60</b>                                                            |
| Неудовлетворительный                    | <b>0</b>                                                             |

Рейтинговая система для заочной формы обучения не предусмотрена.



## Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Самостоятельная работа студента начинается с внимательного ознакомления с содержанием учебного курса.

Изучение каждой темы следует начинать с внимательного ознакомления с набором вопросов. Они ориентируют студента, показывают, что он должен знать по данной теме. Вопросы темы как бы накладываются на соответствующую главу избранного учебника или учебного пособия. В итоге должно быть ясным, какие вопросы темы учебного курса и с какой глубиной раскрыты в конкретном учебном материале, а какие вообще опущены. Требуется творческое отношение и к самому содержанию дисциплины.

Вопросы, составляющие ее содержание, обладают разной степенью важности. Есть вопросы, выполняющие функцию логической связки содержания темы и всего курса, имеются вопросы описательного или разъяснительного характера, а также исторического экскурса в область изучаемой дисциплины. Все эти вопросы не составляют сути понятийного, концептуального содержания темы, но необходимы для целостного восприятия изучаемых проблем.

Изучаемая дисциплина имеет свой категориально-понятийный аппарат. Научные понятия — это та база, на которой строится каждая наука. Понятия — узловые, опорные пункты как научного, так и учебного познания, логические ступени движения в учебе от простого к сложному, от явления к сущности. Без ясного понимания понятий учеба крайне затрудняется, а содержание приобретенных знаний становится тусклым, расплывчатым.

Студент должен понимать, что самостоятельное овладение знаниями является главным, определяющим. Высшая школа создает для этого необходимые условия, помогает будущему высококвалифицированному специалисту овладеть технологией самостоятельного производства знаний.

В самостоятельной работе студентам приходится использовать литературу различных видов: первоисточники, монографии, научные сборники, хрестоматии, учебники, учебные пособия, журналы и др. Изучение курса предполагает знакомство студентов с большим объемом научной и учебной литературы, что, в свою очередь, порождает необходимость выработки у них рационально-критического подхода к изучаемым источникам.

Чтобы не «утонуть» в огромном объеме рекомендованных ему для изучения источников, студент, прежде всего, должен научиться правильно их читать. Правильное чтение рекомендованных источников предполагает следование нескольким несложным, но весьма полезным правилам.

Предварительный просмотр книги включает ознакомление с титульным листом книги, аннотацией, предисловием, оглавлением. При ознакомлении с оглавлением необходимо выделить разделы, главы, параграфы, представляющие для вас интерес, бегло их просмотреть, найти места, относящиеся к теме (абзацы, страницы, параграфы), и познакомиться с ними в общих чертах.

Научные издания сопровождаются различными вспомогательными материалами — научным аппаратом, поэтому важно знать, из каких основных элементов он состоит, каковы его функции.

Знакомство с книгой лучше всего начинать с изучения аннотации — краткой характеристики книги, раскрывающей ее содержание, идейную, тематическую и жанровую направленность, сведения об авторе, назначение и другие особенности. Аннотация помогает составить предварительное мнение о книге.

Глубже понять содержание книги позволяют вступительная статья, в которой дается оценка содержания книги, затрагиваемой в ней проблематики, содержится информация о жизненной и творческой биографии автора, высказываются полемические замечания, разъясняются отдельные положения книги, даются комментарии и т.д. Вот почему знакомство с вступительной статьей представляется очень важным: оно помогает студенту сориентироваться в тексте работы, обратить внимание на ее наиболее ценные и важные разделы.

Той же цели содействует знакомство с оглавлением, предисловием, послесловием. Весьма полезными элементами научного аппарата являются сноски, комментарии, таблицы, графики, списки литературы. Они не только иллюстрируют отдельные положения книги или статьи, но и сами по себе являются дополнительным источником информации для читателя.

Если читателя заинтересовала какая-то высказанная автором мысль, не нашедшая подробного освещения в данном источнике, он может обратиться к тексту источника, упоминаемого в сноске, либо к источнику, который он может найти в списке литературы, рекомендованной автором для самостоятельного изучения.

Существует несколько форм ведения записей:

— план (простой и развернутый) — наиболее краткая форма записи прочитанного, представляющая собой перечень вопросов, рассматриваемых в книге или статье. Развернутый план представляет собой более подробную запись прочитанного, с детализацией отдельных положений и выводов, с выпиской цитат, статистических данных и т.д. Развернутый план — неоценимый помощник при выступлении с докладом на конкретную тему на семинаре, конференции;

— тезисы — кратко сформулированные положения, основные положения книги, статьи. Как правило, тезисы составляются после предварительного знакомства с текстом источника, при его повторном прочтении. Они помогают запомнить и систематизировать информацию.

#### Составление конспектов

Большую роль в усвоении и повторении пройденного материала играет хороший конспект, содержащий основные идеи прочитанного в учебнике и услышанного в лекции. Конспект — это, по существу, набросок, развернутый план связного рассказа по основным вопросам темы.

В какой-то мере конспект рассчитан (в зависимости от индивидуальных особенностей студента) не только на интеллектуальную и эмоциональную, но и на зрительную память, причем текст конспекта нередко ассоциируется еще и с текстом учебника или записью лекции. Поэтому легче запоминается содержание конспектов, написанных разборчиво, с подчеркиванием или выделением разрядкой ключевых слов и фраз.

Самостоятельно изученные темы предоставляются преподавателю в форме конспекта, по которому происходит собеседование. Теоретические темы курса (отдельные вопросы), выносимые на самостоятельное изучение, представлены ниже.

Типовые контрольные задания и иные материалы, характеризующие этапы формирования компетенций

#### Вопросы для собеседования

1. Что называют металлами?
2. Какие свойства относятся к физическим?
3. Какие свойства относятся к химическим?
4. Какие свойства относятся к механическим?
5. Какие свойства относятся к технологическим?
6. Какие свойства относятся к эксплуатационным?
7. Что называют элементарной ячейкой?
8. Какие существуют типы кристаллических решеток?
9. Что называют ферромагнетизмом?
10. Какие вещества относятся к ферромагнетикам?
11. Как изменяются ферромагнитные свойства при нагреве?
12. Что называют точкой Кюри (пример для железа)?
13. Какие дефекты относятся к точечным дефектам?
14. Назовите основные способы образования линейной дислокации.
15. Какие дефекты относятся к поверхностным дефектам?

16. Что называют линейными дефектами?
17. Что такое критическая температура для металла?
18. Что такое центры кристаллизации?
19. Опишите механизм кристаллизации
20. Какое вещество понимают под сплавом?
21. Какие сплавы различают в зависимости от характера взаимодействия компонентов?
22. Что является основным отличием процесса кристаллизации сплавов?
23. Какие методы построения диаграмм состояния знаете?
24. Назовите самые распространённые в промышленности сплавы железа.
25. Какую диаграмму называют стабильной диаграммой равновесия?
26. Охарактеризуйте основные компоненты в системе Fe – C.
27. Какую диаграмму называют метастабильной диаграммой равновесия?
28. Назовите химическую формулу цементита?
29. Назовите характерные точки диаграммы состояния Fe – Fe<sub>3</sub>C.
30. Какие состояния выражают горизонтальные линии диаграммы? Охарактеризуйте их.
31. Что такое деформация?
32. Что называют статическими испытаниями? Приведите примеры.
33. Дайте определение твердости и назовите методы измерения твердости?
34. Какие виды термической обработки стали вы знаете?
35. Какая термическая обработка называется отжигом? Цель отжига.
36. Какие вы знаете виды отжига?
37. Что такое закалка стали? Цель закалки.
38. Назовите способы охлаждения при закалке.
39. Что такое отпуск стали? Цель отпуска.
40. Какие вы знаете виды отпуска.
41. Что такое ХТО стали?
42. Что такое диффузионная металлизация?
43. С какой целью проводят цементацию?
44. Области применения и свойства конструкционных сталей.
45. Углеродистые конструкционные стали. Стали обыкновенного качества.
46. Качественные углеродистые стали.
47. Леггирующие элементы в конструкционных сталях.
48. Маркировка легированных конструкционных сталей.

49. Классификация и характеристика инструментальных сталей
50. Маркировка инструментальных сталей
51. Стали для режущего инструмента
52. Быстрорежущие стали
53. Стали для измерительного инструмента.
54. Из чего состоят атомы и молекулы?
55. Какие виды связей могут образовываться в молекулах в зависимости от строения внешних электронных оболочек атомов?
56. Что такое поляризация? Каким параметром она характеризуется?
57. В чем отличие электрического поля в конденсаторе без диэлектрика и с ним?
58. Что такое электропроводность металлов?
59. Назовите основные свойства металлических проводников.
60. Приведите классификацию проводниковых материалов. Их основные свойства.
61. Приведите классификацию металлических проводников.
62. Изобразите энергетическую диаграмму полупроводника.
63. Как можно управлять электропроводностью полупроводников?
64. Какие полупроводники называются собственными? Изобразите зонную диаграмму собственного полупроводника.
65. Приведите основные характеристики магнитного поля
66. Какие вещества называются парамагнетиками, а какие диамагнетиками?
67. Какие вещества относят к слабомагнитным и сильномагнитным?
68. Что называют отливками?
69. Назовите литейные свойства металлов?
70. Что такое цвет металла?
71. Назовите основные параметры кристалла.
72. Назовите ученого, который провел классификацию видов кристаллических решеток.
73. Назовите вещества с ОЦК-кристаллической решеткой.
74. Что такое изотропия и анизотропия?
75. Что такое аллотропия? Приведите пример.
76. Что называют дефектами Шотки?
77. Что такое дефекты Френкеля?
78. Как производится определение вектора Бюргерса?
79. Как взаимодействуют между собой силовые поля линейной дислокации?
80. Что называется, скоростью роста кристаллов?

81. От чего зависит структура кристаллизовавшегося металла?
82. Опишите процесс образования и схему строения слитка
83. Запишите правило фаз.
84. Что представляет собой диаграмма состояния?
85. Что называют линиями ликвидуса?
86. Что называют линиями солидуса?
87. Какие фазы различают в системе Fe – C?
88. Какие состояния выражают горизонтальные линии диаграммы? Охарактеризуйте их.
89. Что называют чугунами?
90. Что называют сталями?
91. Покажите на диаграмме линию солидуса.
92. Какие фазы различают в системе Fe – Fe<sub>3</sub>C?
93. Что называют эвтектикой?
94. Что называют эвтектоид?
95. Покажите на диаграмме линию ликвидуса.
96. Какие виды напряжений существуют?
97. Что такое упругая и пластическая деформации?
98. Как разрушается материал?
99. В чем заключаются методы Бринелля, Роквелла и Виккерса измерения твердости?
100. В чем заключается процесс нормализации?
101. Что называют закаливаетемостью и прокаливаемостью?
102. Что называют термической обработкой?
103. С какой целью проводят азотирование?
104. С какой целью и при каких условиях проводят цианирование?
105. С какой целью и в каких средах проводят нитроцементацию?
106. Назовите два класса углеродистых конструкционных сталей по ГОСТ?
107. Какие вещества упрочняют сталь?
108. Дайте расшифровку маркировки стали: 15X, 40XФА, 12ХНЗА, 20Х2Н4А, 18ХГ?
109. Какой твердостью обладают инструментальные стали?
110. Дайте расшифровку маркировки стали: У7, У8, У10, У10А.
111. В чем сущность зонной теории твердых тел?

112. Какие материалы называются диэлектриками, полупроводниками и проводниками?
113. Какие молекулы называются нейтральными и какие полярными?
114. Назовите основные виды поляризации диэлектриков
115. Охарактеризуйте диэлектрическую проницаемость газообразных, жидких и твердых диэлектриков.
116. Какие материалы относят к материалам высокой проводимости?
117. Что такое сверхпроводники и криопроводники?
118. Приведите классификацию неметаллических проводников.
119. Приведите классификацию жидких и газообразных проводников.
120. Какая проводимость называется примесной?

### *Методические указания по подготовке к контрольной работе*

Контрольная работа – это самостоятельная письменная работа студента, которая должна показать не только его владение теоретическим материалом, но и продемонстрировать практические умения проводить расчеты.

Цели выполнения контрольной работы заключаются:

- закрепить и систематизировать теоретические знания и практические навыки студента;
- научить работать с литературой – изучать, анализировать информацию из научных источников;

При выполнении контрольной работы реализуются следующие компетенции:

| Код, формулировка компетенции                                                                                                                               | Код, формулировка индикатора                                                                                                                                                                                                                                                         | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-5 Способен использовать свойства конструкционных и электротехнических материалов в расчетах параметров и режимов объектов профессиональной деятельности | ИД-1 <sub>ОПК-5</sub> Демонстрирует знание областей применения, свойств, характеристик и методов исследования конструкционных материалов, выбирает конструкционные материалы в соответствии с требуемыми характеристиками для использования в области профессиональной деятельности. | Знает современные способы получения материалов и изделий из них с заданным уровнем эксплуатационных свойств, классификацию современных конструкционных электротехнических материалов по их назначению, составу и свойствам, основные характеристики электротехнических материалов для эффективного использования электротехнического оборудования, организации его технического обслуживания и ремонта, а также для технической диагностики и прогнозирования оставшегося ресурса работы. |
|                                                                                                                                                             | ИД-2 <sub>ОПК-5</sub> Демонстрирует знание областей применения, свойств, характеристик и методов исследования электротехнических материалов, выбирает электротехнические материалы в соответствии с требуемыми характеристиками.                                                     | Умеет работать со справочной литературой, отражающей характеристики материалов, правильно выбрать или оценить материал для элемента, изделия, устройства, для работы в электроэнергетике в тех или иных условиях.<br>Владеет методами оценки свойств и способами подбора материалов для проектируе-                                                                                                                                                                                       |



|  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  | <p>мых систем, методиками выполнения расчетов применительно к использованию электротехнических и конструктивных материалов, навыками проведения стандартных испытаний и входного контроля материалов и комплектующих электроэнергетического и электротехнического оборудования.</p> |
|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

***Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины***

***Перечень основной литературы:***

1. Бондаренко, Г. Г. Основы материаловедения : учебник / Г. Г. Бондаренко, Т. А. Кабанова, В. В. Рыбалко ; под редакцией Г. Г. Бондаренко. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 761 с. — ISBN 978-5-00101-755-4. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/37076.html>
2. Электроматериаловедение : учеб. Пособие / А.С. Красько, С.Н. Павлович, Е.Г. Пономоренко. — 2-изд., стер. — Минск : РИПО, 2015. — 212 с. Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=463625](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=463625)
3. Привалов, Е. Е. Электротехнические материалы систем электроснабжения: учебное пособие / Е.Е. Привалов. — М.-Берлин: Директ-Медиа, 2016. — 266 с. Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=436753](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=436753)

***Перечень дополнительной литературы:***

1. Основы материаловедения: учебное пособие / Е.А. Астафьева, Ф.М. Носков, В.И. Аникина — Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. — 152 с. Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=364047](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=364047)

***Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине***

1. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».
2. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».
3. Методические указания по выполнению контрольной работы по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».
4. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение».

***Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины***

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks