

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Нововоронежский политехнический колледж –
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего
образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(НВПК НИЯУ МИФИ)

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНО-
ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

по дисциплине

ОП.05 Материаловедение

для специальности

13.02.03 Электрические станции, сети и системы

Преподаватель:

Рыжкова Т.А.

Нововоронеж 2020 г.

Пояснительная записка

Настоящие методические указания предназначены для проведения лабораторно-практических работ по дисциплине ОП.05 Материаловедение специальности 13.02.03 Электрические станции, сети и системы для закрепления на практике теоретических знаний по дисциплине и приобретения навыков по исследованию и испытаниям материалов, согласно которым оценивается надежность конструкционных и электроизоляционных материалов, определяются их области применения

В сборник входят методические указания по выполнению лабораторно-практических работ по следующим темам дисциплины «Материаловедение»:

- механические свойства материалов и основные методы их определения;
- сплавы железа с углеродом;
- диэлектрические материалы.

Сборник содержит указания по следующим практическим работам:

1. Анализ сплавов определенной концентрации углерода по диаграмме «железо – цементит» с описанием процессов, происходящих при медленном охлаждении.
2. Анализ видов термической и химико-термической обработок сплавов
3. Определение механических, химических, термических характеристик сталей по их маркировке.
4. Определение сплавов цветных металлов.
5. Исследование магнитных материалов.
6. Проводниковые материалы.
7. Полупроводниковые материалы.

Сборник содержит указания по следующим лабораторным работам:

1. Испытание металлов на твердость методом Бринелля.
2. Определение диаграммы деформирования малоуглеродистой стали при растяжении
3. Определение удельных электрических сопротивлений твердых диэлектриков.

4. Определение электрической прочности трансформаторного масла.
5. Определение электрической прочности воздуха при постоянном напряжении.
6. Определение электрической прочности волокнистых диэлектриков.

После выполнения указанных лабораторно-практических работ студенты должны уметь

- определять свойства и классифицировать конструкционные и сырьевые материалы, применяемые в производстве, по маркировке, внешнему виду, происхождению, свойствам, составу, назначению и способу приготовления;

- определять твердость материалов;

- определять режимы отжига, закалки и отпуска стали;

- подбирать конструкционные и электротехнические материалы по их назначению и условиям эксплуатации;

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

В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать:

- виды механической, химической и термической обработки металлов и сплавов;

- виды прокладочных и уплотнительных материалов;

- закономерности процессов кристаллизации и структурообразования металлов и сплавов, защиты от коррозии;

- классификацию, основные виды, маркировку, область применения и виды обработки конструкционных материалов, основные сведения об их назначении и свойствах, принципы их выбора для применения в производстве;

- методы измерения параметров и определения свойств материалов;

- основные сведения о назначении и свойствах металлов и сплавов, о технологии их производства;

- основные свойства полимеров и их использование;

- особенности строения металлов и сплавов;

- способы получения композиционных материалов;

- свойства смазочных и абразивных материалов;
- сущность технологических процессов литья, сварки, обработки металлов давлением и резанием;
- физическую природу диэлектриков и их основные свойства;
- классификацию, основные виды, область применения электротехнических материалов, основные сведения об их назначении и свойствах, принципы их выбора для применения в производстве.

ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Перед выполнением лабораторной работы необходимо:

- тщательно изучить содержание работы и порядок ее выполнения;
- повторить теоретический материал;
- подготовить черновик отчета, в котором указана таблица, необходимые формулы для занесения результатов наблюдения и вычислений;

Лабораторные работы выполняются бригадами в количестве трех человек. В процессе работы каждый член бригады выполняет определенные обязанности. В последующих работах эти обязанности должны менять так, чтобы каждый член бригады смог приобрести навыки по различным видам работ лабораторного исследования.

После выполнения лабораторных работ бригада отчитывается о проделанной работе с обсуждением полученных результатов и выводов. Лабораторная работа засчитывается, если отчет соответствует предъявляемым требованиям и если студент ответил на вопросы преподавателя. Контрольные вопросы даны в методических указаниях по выполнению лабораторной работы. При этом студент должен знать свойства объекта исследования, назначение всех элементов схемы и понимать физические процессы объясняющих полученные результаты, а так же уметь объяснить порядок действий перед выполнением любого в лабораторной работе.

Содержание отчета:

1. Наименование работы и её номер.

2. Цель работы.
3. Электрическая схема с исходными данными.
4. Таблицы и графики.
5. Анализ полученных результатов.
6. Ответить на контрольные вопросы.

Лабораторные работы, пропущенные студентами по уважительной причине, выполняются в дополнительное время консультаций по дисциплине.

Практическая работа № 1

Анализ сплавов определенной концентрации углерода по диаграмме «железо – цементит» с описанием процессов, происходящих при медленном охлаждении

Цель работы: получить представление о фазах и компонентах железоуглеродистых сплавов, научиться работать с диаграммой железо - углерод, изучить превращения, протекающие в сплаве при изменении температуры и концентрации.

1 Условие и варианты задания

Начертите диаграмму «железо - цементит». Укажите структуру во всех областях. Опишите превращения, протекающие в сплаве, содержащем X% углерода при медленном охлаждении от 1600 до 20 °С. Содержание углерода в % сплаве задано в таблице 1.1

Таблица 1.1 Исходные данные

Величина	Вариант											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
С, %	0,2	1,0	5,5	0,8	3,0	0,5	1,2	4,5	0,7	2,9	2,0	1,5

2 Методические указания к выполнению работы

Диаграмма состояния железо - цементит (в упрощенном виде) приведена на рис.2.1. На этой диаграмме точка А соответствует температуре плавления железа (1539), точка D - температуре плавления цементита (1250). Линия ACD - линия ликвидус (выше существует жидкий раствор). Она показывает начало первичной кристаллизации: по линии AC из жидкого раствора начинает кристаллизоваться аустенит, по CD - цементит, называемый цементитом первичным (Ц_I). Поэтому в области ACE существует жидкий раствор и кристаллы аустенита, в области CDF жидкий раствор и кристаллы цементита. Точка E показывает максимальную растворимость углерода в аустените 2,14 % при температуре 1147 °С. Она принята в качестве границы деления на стали и чугуны. В точке С с концентрацией 4,3 % углерода и температурой 1147 °С образуется эвтектика ледебурит (Л).

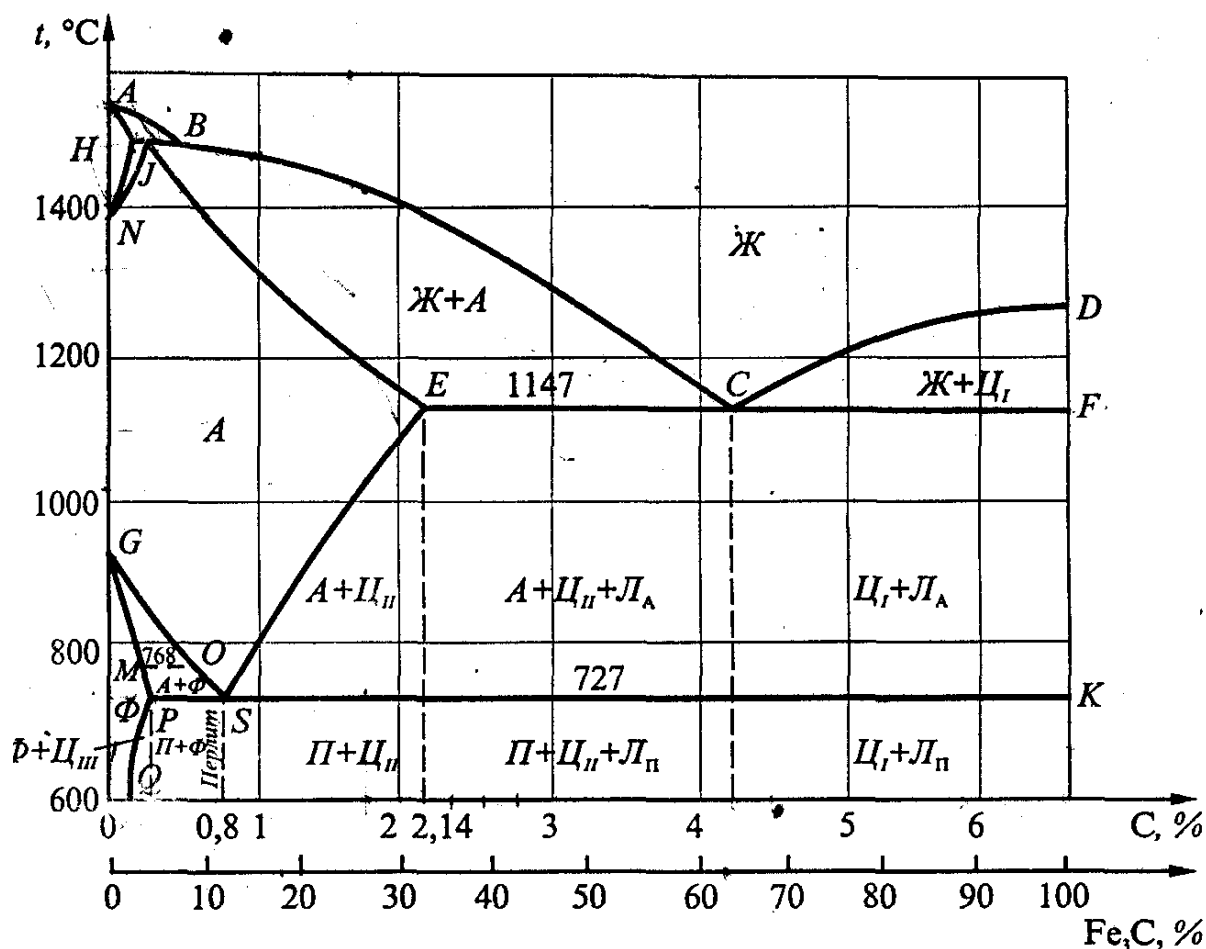


Рисунок 2.1 – Диаграмма состояния «железо-цементит»

Линия АЕСF - линия солидус. Она характеризует окончание первичной кристаллизации и является линией начала вторичной кристаллизации (перекристаллизации) характерной для твердой фазы.

Процесс кристаллизации для аустенита заканчивается по линии АЕ. После затвердевания ниже этой линии в области АЕСG будет находиться однофазная структура — аустенит (А).

Точка G соответствует температуре начала полиморфного превращения γ - железа в α - железо (911 °С). С увеличением содержания углерода до 0,8 % температура превращения аустенита в феррит снижаясь достигает 727 °С (точка S).

Линия GS - линия начала, линия GP - линия конца превращения аустенита в феррит. Поэтому область GPQ содержит только феррит (Ф). В точке S (концентрация 0,8 % углерода и температура 727 °С) в результате распада аустенита образуется эвтектоидная механическая смесь перлит (механическая смесь феррита и цементита вторичного (Ф+ЦI)). Линия PSK называется линией эвтектоидных превращений.

Линия SE является линией, ограниченной растворимостью углерода в аустените: при снижении температуры содержание углерода в аустените падает с 2,14 до 0,8 %. В связи с этим при охлаждении избыточный углерод выделяется из аустенита в виде вторичного цементита (ЦII).

В зависимости от содержания углерода стали делят на доэвтектоидные ($C < 0,8$ %), которые можно назвать конструкционными, эвтектоидными ($C = 0,8$ %) и заэвтектоидными ($C > 0,8$ %). Последние две группы можно назвать инструментальными сталями.

При температуре 1147 °С аустенит достигает предельной концентрации углерода соответствующей точке E (2,14 %C), а оставшаяся жидкость - эвтектического состава точки C (4,3 % C). При температуре эвтектики (линия ЕСF) из жидкого раствора образуется эвтектика - ледебурит, состоящая в момент образования из аустенита состава точки E и первичного цементита состава точки F (А+ЦII).

Линия ЕС является началом вторичной кристаллизации. При охлаждении ниже температуры 1147 °С из аустенита выделяется углерод в виде вторичного цементита

(ЦШ). По линии PSK аустенит претерпевает перлитное превращение. В области ЕС-СЕ присутствует аустенит, ледебурит и цементит вторичный (А+Л+ЦШ).

Линия GPSK является концом вторичной кристаллизации.

Данная диаграмма применима только для обычных углеродистых сплавов.

Рассмотренные превращения, протекающие в процессе охлаждения железоуглеродистых сплавов, являются обратимыми, т.е. при нагревании сплава наблюдаются обратные явления

3 Пример решения задания

Опишите превращения, протекающие в сплаве, содержащем 1,8% углерода при медленном охлаждении от 1600 до 20°C.

Точка I соответствует температуре плавления аустенита (1420 °C). Выше этой точки сплав находится в жидком растворе. Точка 1 лежит на линии ликвидус, которая показывает начало первичной кристаллизации.

При медленном охлаждении сплава от точки 1 до точки 2 сплав находится в двухфазной области - (аустенит + жидкий раствор), т.е. в этой области происходит кристаллизация аустенита. Точка 2 лежит на линии солидус, которая показывает конец первичной кристаллизации, начало вторичной кристаллизации.

При температуре 1180 °C сталь полностью затвердевает и структура её представляет аустенит.

Аустенит (А) - твердый раствор внедрения углерода в γ - железо. Аустенит немагнитная, твердая фаза.

От точки 2 до точки 3 структура стали не изменяется. При температуре 1050 °C (т.3) начинается выделение цементита вторичного. От точки 3 до точки 4 (727 °C) происходит выделение цементита вторичного и структура состоит из аустенита и цементита вторичного.

В точке 4 аустенит превращается в перлит. Ниже этой точки сталь имеет структуру перлит + цементит вторичный.

При дальнейшем охлаждении до температуры 20 °C в структуре сплава никаких изменений не происходит.

Перлит (П) - механическая смесь феррита и цементита, содержащая 0,8 % углерода.

Цементит (Ц) - химическое соединение железа с углеродом Fe₃C.

Критерии оценки

5 (отлично) – диаграмма состояния соединения «железо-цементит» начерчена полностью со всеми обозначениями, описание процесса проведено в полном объеме;

4 (хорошо) – диаграмма состояния соединения «железо-цементит» начерчена полностью со всеми обозначениями, описание процесса проведено в не полном объеме;

3 (удовл.) – диаграмма состояния соединения «железо-цементит» начерчена и описание процесса проведено в не полном объеме;

2 (неудовл) – диаграмма состояния соединения «железо-цементит» начерчена не полностью и не проведено описание процесса.

Практическая работа № 2

Анализ видов термической и химико-термической обработок сплава

Цель работы: научиться разрабатывать технологические процессы термической обработки деталей.

Теоретическая часть

Окончательная термическая обработка деталей состоит из закалки и отпуска. В результате закалки получают структуру мартенсит, а отпуском достигают необходимую структуру и свойства, требуемые при эксплуатации детали:

– высокие износостойкость и твердость HRC 58-65 (инструмент, поверхность шестерен, кулачков вала и др.);

– высокую упругость при средней твердости HRC 40-45 (пружины, рессоры);

– высокую вязкость при невысокой твердости HRC 20-30 (валы, оси, шатуны, болты шатунов и др.).

Термической обработкой называют процессы теплового воздействия на металлы с целью изменения их структуры и свойств. Термическая обработка является одним из распространенных и эффективных способов изменения структуры и свойств сталей и сплавов.

Термическая обработка может быть как промежуточной операцией (для облегченияковки, прокатки, обработки резанием), так и окончательной – для получения в материале или изделии необходимого комплекса свойств. Способы ее реализации подразделяются на собственно термическую, термомеханическую (ТМО) и химико-термическую (ХТО).

Основными видами термической обработкой являются:

- **отжиг;**
- **нормализация;**
- **закалка и отпуск.**

Отжиг и нормализация относятся к смягчающей термической обработке и проводятся как на материале, так и на готовой детали. Закалка и отпуск проводятся всегда в комплексе и только на готовой детали.

Основными параметрами любого вида термической обработки являются:

- температура нагрева;
- время выдержки;
- скорость охлаждения.

Закалка

Закалкой называется термическая обработка, состоящая в нагреве металла выше температур фазовых превращений (A_1 или A_3), выдержке при заданных температурах и последующем охлаждении со скоростью выше критической (*минимальная скорость* охлаждения, при которой возможно получить структуры мартенсит). В большинстве случаев при закалке необходимо получить наивысшую твердость (**мартенсит HB 500...700**). Закалку на мартенсит принято считать *истинной* закалкой.

В зависимости от температуры нагрева закалку называют полной и неполной. При *полной закалке* сталь нагревают выше критической точки A_3 , *при неполной*

закалке нагревают выше критической точки A_1 .

Дозэвтектоидные стали подвергают полной закалке, поэтому температуру закалки выбирают по формуле:

$$t_{\text{закалки}} = A_3 + (30 \dots 50)^\circ \text{C}.$$

Заэвтектоидные стали подвергают неполной закалке, поэтому температуру закалки выбирают по формуле:

$$t_{\text{закалки}} = A_1 + (30 \dots 50)^\circ \text{C}.$$

Низкоуглеродистые стали (содержащие углерода менее 0,30 %) закалке не подвергаются.

Продолжительность нагрева стали зависит от теплопроводности стали, ее химического состава, характера нагревающей среды (электропечь, пламенная печь, соляная ванна или др.), формы изделия (круг, квадрат), расположения деталей (единичное или навалом).

Приблизительно время выдержки при нагреве в электропечах можно выбрать по формуле:

$$\tau_{\text{выдержки}} = \tau_{\text{с.п.}} + \tau_{\text{и.в.}},$$

где $\tau_{\text{с.п.}}$ – время сквозного прогрева, ориентировочно для углеродистых сталей берется (1,0 ... 1,5) минуты на 1 мм минимального сечения детали;

$\tau_{\text{и.в.}}$ – время изотермической выдержки – составляет 25...30 % от времени сквозного прогрева.

Для легированных сталей время выдержки увеличивается на 25..30 %

Охлаждение при **закалке** проводят со скоростью выше критической, чтобы получить структуру мартенсит. Охлаждающую среду для конкретной стали можно выбрать по таблицам. Практически углеродистые стали охлаждают **в воде**, а легированные стали охлаждают **в масле**.

Отпуск

Отпуск – нагрев закаленных сталей ниже критической точки A_1 , выдержки с последующим медленным охлаждением.

Цель отпуска: 1) снять термические напряжения, возникшие после закалки;

2) получить структуру и свойства согласно техническим требованиям или условиям эксплуатации детали.

Отпуск, как правило, является окончательной термической обработкой. Часто технические требования на деталь (изделие) представлены в виде значений твердости. Например, **HB 285...327** или **HRC 42...44**. В зависимости от температурного интервала разработано три вида отпуска: низкотемпературный, среднетемпературный и высокотемпературный.

При низком отпуске только снимаются термические напряжения, возникшие при закалке. Твердость сохраняется высокая

(HB 500...700).

При среднем отпуске: 1) снимаются термические напряжения;

2) понижается твердость (HB 370...470); 3) повышается упругость.

При высоком отпуске: 1) снимаются термические напряжения; 2) значительно понижается твердость (HB 260...360); 3) повышается вязкость.

В таблице 2.1 показаны превращения, происходящие при отпуске.

Таблица 2.1- Превращения при отпуске

Температура отпуска, °С	Вид отпуска	Характер превращения	Значение твердости, HB
150...300	Низкий	Мартенсит (закалки) → мартенсит (отпуска)	500...700
350...520	Средний	Мартенсит (закалки) → троостит	370...470
520...650	Высокий	Мартенсит (закалки) → сорбит	260...360

Определение основных параметров при термической обработке

1. Определение параметров при закалке

1.1. Температура закалки

Область оптимальных температур нагрева можно определить по диаграмме Fe - C или по справочной литературе. При определении температуры по диаграмме Fe - C можно использовать следующие соотношения:

$$t_{\text{закалки}} = A_3 + (30...50)^\circ \text{C} - \text{для доэвтектоидных сталей};$$

$$t_{\text{закалки}} = A_1 + (30...50)^\circ \text{C} - \text{для заэвтектоидных сталей}.$$

При нагреве доэвтектоидных сталей (ниже A_3) после закалки в структуре кроме мартенсита останется феррит, который снизит твердость.

1.2. Продолжительность нагрева

Продолжительность нагрева зависит от теплопроводности стали, от ее химического состава, характера нагревающей среды (электропечь, пламенная печь, соляная ванна и др.), формы изделия (круг, квадрат), расположения деталей (единичное, навалом).

В таблице 2.2 приведены данные по продолжительности нагрева под закалку и выдержки при температуре закалки в зависимости от сечения деталей из углеродистой стали.

Таблица 2.2

Сечение детали, мм	пламенная печь		соляная ванна	
	время нагрева, мм	время выдержки, мм	время нагрева, мм	время выдержки, мм
50	40	10	17	8
100	80	20	33	17
150	120	30	50	25
200	160	40	65	35

В таблице 2.3 приведены данные по продолжительности нагрева в зависимости от температуры и сортамента заготовок.

Таблица 2.3 – Продолжительность нагрева в зависимости от сортамента и температуры нагрева

Температура нагрева, °С	Продолжительность нагрева мин / мм сечения	
	круг- диаметр, мм	квадрат- сторона, мм
300	1, 3	1, 6
400	1, 1	1, 3
500	1 0	1, 2
600	0, 9	1, 1
700	0, 7	0, 9
800	1, 5	2, 0
900	1, 3	1, 8

В электропечах продолжительность увеличивается в 2-3 раза против времени нагрева в пламенной печи. Для легированных сталей время нагрева возрастает в 1,2-1,5 раза. В случае нагрева изделий навалом указанные нормы увеличиваются в 1,5-2 раза.

С некоторым приближением время выдержки при нагреве в электропечах можно выбрать по формуле:

$$\tau_{\text{выдержки}} = \tau_{\text{с.п.}} + \tau_{\text{и.в.}},$$

где $\tau_{\text{с.п.}}$ – время сквозного прогрева, ориентировочно для углеродистых сталей берется (1,0 ... 1,5) минуты на 1 мм минимального сечения детали;

$\tau_{\text{и.в.}}$ – время изотермической выдержки – составляет 25...30 % от времени сквозного прогрева.

Для легированных сталей время выдержки увеличивается на 25..30 %

1.3 Скорость охлаждения при закалке.

При охлаждении сталей с различной скоростью получают структуры, обладающие неодинаковой твердостью. При **закалке** охлаждение необходимо вести со скоростью выше критической, чтобы получить структуру мартенсит.

Для каждой стали $V_{\text{кр}}$ – своя величина, которая зависит от химического состава (рис.1). Чем больше в стали углерода и легирующих элементов, тем меньше значение $V_{\text{кр}}$ и больше прокаливаемость стали.

Углеродистые стали закалывают на мартенсит в резких средах (вода, раствор щелочи), легированные стали в мягких средах (масле, солях).

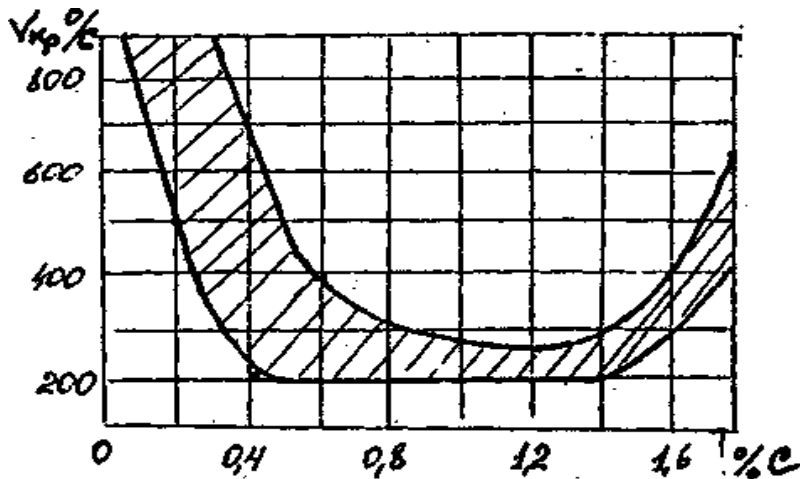


Рисунок 2.1- Зависимость критической скорости закалки от содержания углерода в стали.

Необходимая скорость охлаждения обеспечивается подбором охлаждающей среды, которые приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Скорость охлаждения стали в различных средах.

Закалочная среда	Скорость охлаждения °C/с в интервале температур, °C	
	650...550	300...200
Дистиллированная вода	250	200
Вода при температуре, °C:		
18	600	270
28	500	270
55	100	270
74	34	200
Водные растворы 10% при 18 °C		
едкого калия	1200	300
поваренной соли	1100	300
соды	800	270
минеральное масло	150	
Воздух спокойный	3	

2 Определение параметров при отпуске

Отпуск является заключительной операцией термической обработки. Его рекомендуется проводить сразу после закалки. Выбор температуры отпуска определяется окончательной твердостью детали. В соответствии с техническими требованиями применяются следующие виды отпуска:

- низкий отпуск (150...300°C) применяется для изделий, где требуется высокая твердость 56-64HRC и износостойкость (инструмент, цементируемые детали, детали, работающие на износ). Охлаждение после отпуска на воздухе. Структура - отпущенный мартенсит;

- средний отпуск (350...500 °C) обеспечивает высокую твердость 40-50HRC и высокий предел упругости. Применяется для рессор и пружин. Структура – троостит;

- высокий отпуск (500...650 °C) применяется для деталей, в которых требуется сочетание высокой вязкости и прочности с твердостью 20-35 HRC (валы, оси, шатуны, ответственные крепежные детали и др.).

Продолжительность выдержки при отпуске выбирается:

- при температурах отпуска ниже 300° C – 2 часа + 1 мин на 1 мм условной толщины;

- при 300-400 ° C – 20 мин + 1 мин на 1 мм условной толщины;

- при температуре отпуска свыше 400 ° С – 10 мин + 1 мин на 1 мм условной толщины.

3 Проведение поверхностного упрочнения

Многие детали согласно техническим требованиям, должны иметь высокую твердость на поверхности и вязкую сердцевину (коленчатые валы, распределительные валы, шестерни, поршневые пальцы и ряд других деталей). Закалкой и отпуском получить указанные свойства не представляется возможным. Для таких деталей необходимо проводить поверхностное упрочнение. Наиболее распространенными видами поверхностного упрочнения являются:

- **цементация** – применяется для деталей из низкоуглеродистых сталей;
- **поверхностная закалка** – применяется для деталей из среднеуглеродистых и высокоуглеродистых сталей.

3.1 Проведение цементации

Цементация – это процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя детали углеродом. В процессе цементации содержание углерода в поверхностном слое повышается в среднем до 1%. Глубина слоя изменяется от 0,5 до 2,5 мм.

Цементацию рекомендуется проводить при температуре **920 - 950 ° С** (оптимальная температура).

Время выдержки при цементации выбирают по таблицам или графику, в зависимости от температуры цементации и глубины цементационного слоя.

После цементации проводят закалку и низкий отпуск при температуре 150 - 300 ° С.

3.2 Проведение поверхностной закалки токами высокой частоты

Детали, изготовленные из среднеуглеродистых сталей (0,30 – 0,50 % С) и высокоуглеродистых сталей (свыше 0,50 % С) упрочняют поверхностной закалкой. Нагрев упрочняемой части проводят с помощью токов высокой частоты на глубину 3... 5 мм или с помощью пламени газовой горелки. Температура нагрева выбирается более высокая, чем при объемной закалке:

$t_{\text{закалки}} = A_3 + (90...100)^\circ\text{C}$ – для доэвтектоидных сталей

$t_{\text{закалки}} = A_1 + (90...100)^\circ\text{C}$ – для заэвтектоидных сталей

После закалки проводится низкий отпуск при температуре 180 - 200° С.

Для измельчения структуры перед поверхностной закалкой рекомендуется проводить нормализацию.

4 Заполнение карты технологического процесса термической обработки

4. 1 Графы технологической карты заполняются следующим образом:

4.1.1 В графе наименование и содержание операций в последовательности перечисляются операции технологического процесса.

Например: закалка, отпуск, очистка от окалины, зачистка площадки под замер твердости.

4.1.2 В графе "Оборудование" указывается тип оборудования.

4.1.3 В графе "Среда" указывается среда нагрева и охлаждения. Например: масло, вода и т.д.

Таблица 5 - Варианты задач

Вариант	Наименование детали	Марка стали	Твердость после термообработки
1	Вал	45Г	362 – 429 НВ
2	Болт специальный	35	352 – 429 НВ
3	Диск	65Г	321 – 415 НВ
4	Пружина автомата	65Г	42–48 HRC
5	Пружинная стойка	60Г	388 – 444 НВ
6	Метчики, напильники, калибры	У12	59 – 63 HRC
7	Измерительный инструмент	ХВГ	58 – 63 HRC

Критерии оценки

5 (отлично) - карта технологического процесса термической обработки заполнена в полном объеме;

4 (хорошо) - карта технологического процесса термической обработки заполнена в неполном объеме;

3 (удовлетв) - карта технологического процесса термической обработки заполнена в неполном объеме с ошибками.

2 (неудовл) - карта технологического процесса термической обработки не заполнена.

		Технологическая карта на термическую обработку			Листов Лист		Изделие (деталь)		
					Группа контроля				
№№ опе- ра- ций	Наименование операций	Наименование оборудования	Кол-во деталей	Тем-ра нагрева	Тепловой режим			Охл. среда	
					время нагрева	время выдер	общ. время	вода	масло
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
					Разработал				
					Проверил				
					Оценка				
					Дата				

Практическая работа №3

Определение механических, химических, термических характеристик сталей по их маркировке

Цель работы: Изучить свойства и обозначения различных видов конструкционных сталей.

Теоретическая часть

Если в сталь для получения заданных свойств специально вводят элементы (Cr, Mo, W, V, Ti, Co и др.), то эти элементы называют легирующими, а саму сталь – легированной. Марганец и кремний, которые применяют в качестве раскислителей, присутствуют в любой стали в небольших количествах (0,3...0,7% Mn и 0,2...0,5% Si). Если марганец и кремний введены в сталь в повышенных количествах, то они являются легирующими элементами. Стали с повышенным содержанием кремния и марганца относятся к легированным сталям.

Легированные стали после термической обработки имеют более высокие механические свойства, чем углеродистые. Они обладают, при определенном химическом составе, способностью хорошо сопротивляться коррозии при нормальных и повышенных температурах, а также имеют более высокую износостойкость.

Положительное влияние легирующих элементов на свойства стали объясняется тем, что они изменяют положение критических точек, смещают их влево или вправо (точки S и E диаграммы состояния сплавов железо-углерод) и особым образом взаимодействуют с железом и углеродом. Элементы, которые растворяются в феррите или в аустените, упрочняют твердые растворы.

При взаимодействии с углеродом хром, молибден, никель, титан, вольфрам, ванадий, марганец и другие образуют карбиды различного типа. Карбиды легирующих элементов обладают более высокой твердостью и меньшей хрупкостью, чем карбид железа. Легирующие элементы увеличивают прокаливаемость стали. Поэтому легированные стали необходимо применять после термической обработки, в противном случае исчезает эффект от их применения.

1 Влияние основных легирующих элементов

Хром – широко применяется для легирования конструкционных сталей (до 3.0%), нержавеющей и жаропрочных (свыше 13%), быстрорежущей стали, шарикоподшипниковой стали (до 1,5%).

Никель – применяют для легирования конструкционных сталей. Это единственный легирующий элемент, который одновременно повышает прочность и вязкость. В количестве более 9% никель делает сталь нержавеющей и жаропрочной. Для легирования инструментальных сталей никель не применяется.

Вольфрам – повышает твердость и красностойкость стали. Поэтому широко применяется при производстве быстрорежущих и других инструментальных сталей. Карбид вольфрама (WC) является основным компонентом твердых порошковых сплавов.

Ванадий – повышает твердость и красностойкость стали (быстрорежущих, инструментальных), применяется для легирования конструкционной стали с целью увеличения упругости и сопротивления усталости.

Молибден – повышает твердость и прочность стали при повышенных температурах, предотвращает отпускную хрупкость. Входит в состав конструкционных, инструментальных и жаропрочных сталей.

Марганец – до 1,2% является постоянной примесью в стали. При содержании до 2,0 % повышает прочность, предел упругости и прокаливаемость рессорной стали. При содержании около 13% делает сталь аустенитного класса (немагнитной, способной наклепываться и быть износостойкой).

Кремний – как и марганец, неизбежная примесь стали. До 1,0% кремний увеличивает прочность, предел упругости рессорно-пружинной стали. В больших количествах кремний вводится в жаропрочные, электротехнические и кислотоупорные стали.

По степени легирования стали подразделяются на низколегированные (до 5% легирующих элементов), среднелегированные (от 5% до 10% легирующих элементов) и высоколегированные (свыше 10% легирующих элементов).

2 Маркировка легированных сталей

Обозначение состоит из цифр и букв, указывающих примерный состав стали. Каждый легирующий элемент обозначается буквой.

Принято обозначать: Н – никель, Х – хром, К – кобальт, М – молибден, Г – марганец, Д – медь, Р – бор, Б – ниобий, Ц – цирконий, С – кремний, В – вольфрам, Т – титан, Ф – ванадий, Ю – алюминий, Ч – редкоземельные металлы.

Основной признак конструкционной легированной стали - двузначное число перед буквами. Это число показывает среднее содержание углерода в сотых долях процента.

Цифры, следующие за буквой, показывают среднее содержание легирующего элемента (в целых числах). Если после буквы цифры отсутствуют, то содержание легирующего элемента около 1 %. Буква «А» в конце марки показывает, что сталь высококачественная. Особо высококачественные стали имеют в конце марки буквы: «Ш» – электрошлаковый переплав; «ВД» - вакуумно-дуговой переплав; «ВИ» – вакуумно-индукционная выплавка.

Например, сталь **20Х2Н4А** является высококачественной конструкционной сталью, содержащей 0,20 % углерода, 2% хрома, 4% никеля.

В марках легированных инструментальных сталей содержание углерода обозначается только однозначным числом перед буквами, показывающим среднее содержание углерода в десятых долях процента. Например, сталь **9ХГС** – инструментальная легированная сталь, содержащая 0,9 % углерода, хрома, кремния и марганца - по одному проценту. Если легированная сталь содержит примерно 1% углерода, то цифра в марке не ставится. Например, стали **Х** и **ХВГ** содержат по одному проценту углерода.

Некоторые стали содержат дополнительную букву после слова «сталь», обозначающую ее группу или тип. Например, сталь **ШХ 9** – шарикоподшипниковая сталь, содержащая – 1% С; 0,9% Cr .

3 Классификация легированных сталей

Принята классификация легированных сталей по трем признакам: по назначению, по равновесной структуре, по составу.

По назначению:

- машиностроительные – для деталей машин и конструкций;
- инструментальные – для режущего, мерительного и штамповочного инструмента;
- стали и сплавы с особыми свойствами: нержавеющие, жаропрочные, электротехнические, магнитные, с особым тепловым расширением.

По структуре

По структуре классифицируют стали в отожженном и нормализованном состояниях:

- **в отожженном состоянии** – доэвтектоидные (перлит и избыточный феррит), эвтектоидные (перлит), заэвтектоидные (перлит и избыточные вторичные карбиды); ледебуритные (наличие первичных карбидов);

- **по структуре после охлаждения на воздухе (нормализации):** перлитный, мартенситный и аустенитный классы.

По химическому составу:

- хромистые, хромоникелевые и т.д.

По способу выплавки:

- высококачественные (в конце маркировки ставится буква А, содержание серы и фосфора не более 0,03%; особовысококачественные (в конце маркировки ставится буква Ш, содержание серы 0,015%, фосфора 0,075%; получают электрошлаковым переплавом).

Конструкционные легированные стали по технологии термической обработки и назначению подразделяются на:

- **цементуемые стали** – с содержанием углерода до 0,3 – 0,35%. Детали из цементуемых сталей подвергают цементации, закалке и низкому отпуску (например, стали 12ХНЗА, 18ХГТ, 30ХГТ). Детали должны иметь высокую твердость поверхности и вязкую сердцевину (зубчатые колеса, валы КПП, поршневые пальцы);

- **улучшаемые** – содержанием углерода от 0,35% до 0,6%, которые подвергают

закалке и высокому отпуску (улучшение). Марки 40X, 40XH и др., идущие на изготовление тяжело нагруженных деталей (коленчатые валы, шатуны, ответственные крепежные детали);

- **рессорно-пружинные стали** - с содержанием углерода 0,6 – 0,75%. После закалки и среднетемпературного отпуска стали имеют высокие пределы упругости и текучести (например, стали 65Г2, 60С2, 60С2Х2, 50ХФА и другие). Основными легирующими элементами в них являются кремний (1 - 3 %) и марганец (~ 1 %). В стали ответственного назначения вводят хром (~ 1%), ванадий (~ 0,15 %) и никель (~ 1,7 %). Легирующие элементы в основном оказывают влияние на прокаливаемость стали, релаксационную стойкость, предел выносливости и мало влияют на предел упругости (за исключением кремния и марганца).

Инструментальные стали и сплавы подразделяют по теплостойкости (способности сохранять твердость и режущие свойства при повышенных температурах) на:

- **углеродистые** инструментальные (У8, У9, У10, У11, У12, У13) имеющие теплостойкость до 250⁰С;
- **легированные** инструментальные (7ХФ, ХФГ и др.), имеющие теплостойкость 450⁰С;
- **быстрорежущие** (Р9, Р18, Р6М5 и др.), имеющие теплостойкость 650⁰С;
- **твердые порошковые** сплавы (ВК8, Т5К10, ТТК12), имеющие теплостойкость 1000⁰С.

Задание

1. Указать основные легирующие элементы заданной стали.
2. Указать механические характеристики (НВ; σ_B , δ) рассмотренных сталей.
3. По маркировке сталей определить химические и термические свойства сталей.
4. Указать применение легированных сталей.

Таблица вариантов

№ варианта	Марка стали
1	18X2H4MA
2	30XГСА
3	03H18K9M5T
4	AC40XГНМ
5	60C2XФА
6	12X18H9
7	40X13
8	40X10C2M
9	15X12BHMФ
10	09X14H19B25P
11	10X11H23T3MP
12	12XH3A
13	08X15H24B4TP
14	40X15H7Г7Ф2MC
15	08X18H10T
16	16ГНМ
17	01X18H40M5
18	X18H9
19	X14H16Б
20	X16H16M3Б
21	X12M2БФ
22	XH77TIOP
23	38X2MЮA
24	10XCHД
25	25X2HMФ
26	10ГH2MФА
27	15X2HMФА
28	XH35BT
29	15X13M
30	OX18H9TЛ
31	10X2M
32	07X25H13
33	15X1M1Ф
34	40X10C2M
35	H12K15M10
36	XH35BTЮ

Критерии оценки

- 5 (отлично) - задание выполнено в полном объеме;
- 4 (хорошо) - выполнено 3 пункта задания в полном объеме;
- 3 (удовлетв) – выполнено 2 пункта задания;
- 2 (неудовл) – выполнено менее 2 пунктов задания.

Практическая работа №4

Определение сплавов цветных металлов

Цель работы: Изучить свойства и обозначения различных сплавов цветных металлов

Теоретическая часть

По способу производства изделия из алюминиевых сплавов делятся на две группы: *деформируемые* (в том числе спеченные) идущие на изготовление полуфабрикатов - листов, прутков, профилей, и поковок путем прокатки, прессования,ковки и т.д., и *литейные*, предназначенные для фасонного литья.

Деформируемые алюминиевые сплавы

1. Сплавы на основе системы Al – Mn (АМц) и Al – Mg (АМг), не упрочняемые термической обработкой.

Эти сплавы обладают средней прочностью, хорошей пластичностью и свариваемостью, а также высокой коррозионной стойкостью. Из этих сплавов изготавливают баки для бензина, трубопроводы и т.д..

2. Сплавы термически упрочняемые:

а) дюралюмины марок Д1, Д16 и другие на основе системы Al – Cu – Mg;

б) авиали типа АВ на основе системы Al – Cu – Mg – Si;

в) высокопрочные сплавы В95, В96 и другие на основе системы Al – Cu – Mg – Zn;

г) жаропрочные сплавы типа АК4-1 на основе системы Al – Mg – Ni –Cu – Fe и типа Д20 на основе Al – Cu – Mn.

Литейные алюминиевые сплавы

1. Силумины – сплавы на основе системы Al – Si марок АЛ2, АЛ4, АЛ9.
2. Магналии – сплавы на основе системы Al – Mg марок АЛ8, АЛ13 .
3. Жаропрочные сплавы на основе системы Al – Cu марок АЛ7, АЛ19
4. Спеченные алюминиевые сплавы

4.1 Спеченные алюминиевые порошки (САП) состоят из порошков алюминия и дисперсных частиц Al_2O_3 (6 - 22 %), которые повышают прочность и снижают пластичность сплава, обладают высокой жаропрочностью до 500 °С.

4.2 Спеченные алюминиевые сплавы (САС – 1, САС – 2 и другие) относятся к сплавам системы Al – Si– Ni и используются, в основном, в приборостроении как материалы с низким коэффициентом линейного расширения. Эти сплавы в виде порошков получают пульверизацией жидких сплавов при высоких скоростях охлаждения.

Медные сплавы по химическому составу делят на латуни и бронзы.

Латунями называют двойные или многокомпонентные сплавы меди, основным легирующим элементом которых является цинк.

Деформируемые латуни

В марках деформируемых латуней, в которых имеется только один легирующий элемент цинк после буквы Л ставят две цифры, которые обозначают содержание меди. Например: Л68 – 68 % меди, остальное цинк – 32 %.

Если латунь помимо цинка содержит и другие легирующие элементы, то после буквы Л ставят словное обозначение этих элементов: А - алюминий, Ж - железо, К - кремний, Мц – марганец, Н – никель, С – свинец, О – олово. После букв стоят цифры, обозначающие содержание легирующих элементов в процентах. Например, латунь марки ЛАЖМЦ 66-6-3-2 содержит меди - 66 %, алюминия - 6 %, железа - 3 %, марганца - 2 %, - остальное цинк.

Литейные латуни

В литейных латунях среднее содержание компонентов сплава ставится сразу после буквы, обозначающей этот элемент. Например, ЛЦ40Мц1,5 – цинка – 40 %, марганца - 1,5 %, остальное - медь.

Литейные латуни обладают хорошей жидкотекучестью, малой склонностью к ли-

квации, обладают антикоррозийными свойствами. Механические свойства латуней зависят от содержания цинка.

Бронзами называют сплавы меди с другими металлами, в том числе и с цинком, но входящим наряду с другими элементами. Бронзы называют по основному легирующему элементу: оловянные, алюминиевые, кремнистые, бериллиевые и обозначают буквами Бр.

Обозначение элементов в бронзах то же, что и при маркировке латуней. Кроме того, Ф – фосфор, Ц – цинк, Х – хром, Б – бериллий, Цр – цирконий.

Если бронзы деформируемые, то цифры показывающие содержание элементов стоят в конце марки. Например, бронза марки БрОЦ4-3 содержит олова – 4 %, цинка – 3 %, остальное - медь.

Если бронзы литейные, то за каждой буквой обозначающей легирующий элемент, ставятся цифры показывающие содержание легирующего элемента в процентах. Например, бронза марки БрО10Ф1 содержит олова - 9 - 11 %, фосфора - 0,4 %, остальное – медь.

Наиболее широкое применение в промышленности нашли оловянные бронзы, которые используют для приготовления зубчатых колес, пружин, антифрикционных деталей (втулки, подшипники скольжения), вследствие высокой стойкости к истиранию. Литейные оловянные бронзы обладают очень хорошими литейными свойствами и применяются для литья деталей сложной формы.

Алюминиевые бронзы превосходят оловянные по механическим свойствам и используют для изготовления мелких ответственных деталей машин (БрАЖ9-4).

Отливки из кремнистой бронзы (БрКМЦ3-1) отличаются более высокой коррозионной стойкостью, более высокими механическими свойствами и упругостью.

Кремнистые бронзы используют для изготовления пружин и пружинящих деталей, работающих при температуре до 250 °С, а также в агрессивных средах. Они хорошо обрабатываются резанием, давлением и хорошо свариваются.

Бериллиевые бронзы характеризуются высокой прочностью в закаленном и состаренном состоянии, упругостью, химической стойкостью, свариваемостью и обрабатываются резанием (БрБ2). Из них делают мембраны, пружины, контакты.

Свинцовистые бронзы являются хорошими антифрикционными материалами для подшипников (БрС30).

Латуни и бронзы имеют более высокие механические свойства, чем медь, лучше сопротивляются износу и коррозии.

Кроме латуней и бронз находят применение медно-никелевые сплавы, обладающие высокими электрическими и термоэлектрическими свойствами. К ним относятся сплавы, содержащие кроме меди от 18 до 30 % никеля, 0,8 % железа и 1% марганца (мельхеор); 13,5 – 16,5 % никеля и 18 – 22 % цинка (нейзельбер) и др.

Задание

Для заданной марки сплава цветных металлов:

1. Указать систему сплава.
2. Расшифровать марку сплава, указав состав и содержание основных компонентов.
3. Указать область применения.

Таблица 1

Номер варианта	Марка сплавов
1	АМц
2	Д16
3	Бр С 30
4	АК 4-1
5	АЛ 2
6	Бр КМц 3-1
7	ЛЖ Мц 59-1-1
8	ЛЦ 40 Мц 1,5
9	Бр 010 Ф1
10	Бр АЖ 9-4

Критерии оценки

- 5 (отлично) - задание выполнено в полном объеме;
- 4 (хорошо) - выполнено 2 пункта задания в полном объеме;
- 3 (удовлетв) – выполнено 2 пункта задания в неполном объеме;
- 2 (неудовл) – выполнено менее 2 пунктов задания.

Практическая работа №5

Исследование магнитных материалов

Цель работы: иметь представление о характеристиках, области применения магнитомягких и магнитотвердых материалов.

Теоретическая часть

В качестве магнитных материалов наибольшее применение в технике нашли *ферромагнетики* – металлы и сплавы на их основе и *ферримагнетики* (ферриты) – неметаллы, химические соединения из-за способности намагничиваться во внешнем магнитном поле. Сравнительный анализ эксплуатационных и технологических свойств определяет области рационального применения этих материалов.

Ферриты применяют при высоких и сверхвысоких частотах. В этих условиях возникают потери энергии, связанные с затратой энергии, необходимой для перемагничивания (потери на гистерезис пропорциональны частоте переменного поля), а также тепловые из-за появления вихревых токов – токов Фуко (они пропорциональны квадрату частоты). Минимизация таких потерь особенно важна для материалов, работающих при высоких (ВЧ) и сверхвысоких (СВЧ) частотах колебаний магнитного поля, т.е. значения B и H должны быть минимальными.

Магнитная проницаемость ферритов может меняться в широких пределах (от нескольких десятков до десятков тысяч) в зависимости от состава и технологии их изготовления. Ферриты обладают высокой твердостью, что обеспечивает их повышенную износостойкость. Поэтому ферриты используют для изготовления сердечников магнитных головок, работающих в подвижном контакте с магнитными носителями информации.

Основной недостаток эксплуатационных свойств ферритов – низкая температура, при которой происходит потеря магнитных свойств. Для большинства ферритов температура Нееля не превышает 200...300 °С, т.е. значительно ниже, чем у металлов (точка Кюри железа – 768 °С).

Ферриты менее технологичны, чем металлические сплавы. Изделия из них можно получить только методом порошковой металлургии – спеканием порошков оксидов.

По свойствам и назначению магнитные материалы можно разделить на магнитотвердые и магнитомягкие.

Отличия этих материалов состоят в основных магнитных характеристиках – остаточной индукции (B_r) и коэрцитивной силе (H_c), магнитной проницаемости (μ). Магнитотвердые материалы должны иметь высокие значения B_r

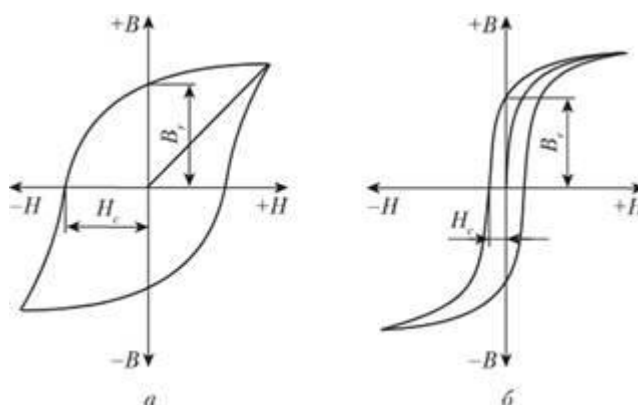


Рисунок 5.1 – Кривые гистерезиса магнитотвердых (а) и магнитомягких (б) материалов

B – магнитная индукция; H – напряженность магнитного поля; B_r – остаточная индукция; H_c – коэрцитивная сила и H_c ; магнитомягкие, напротив, малые H_c и высокое значение μ

Магнитотвердые материалы используют для изготовления *постоянных магнитов*. Они намагничиваются в сильных магнитных полях, а после снятия поля сохраняют свои магнитные свойства. Стали и сплавы должны обладать высокими значениями остаточной индукции B_r и коэрцитивной силы H_c (см. рис. 5.1, а). Именно высокое значение остаточной индукции, которая остается после снятия внешнего магнитного поля, определило применение магнитотвердых материалов для изготовления постоянных магнитов. Высокие значения коэрцитивной силы гарантируют способность постоянных магнитов сопротивляться размагничиванию.

Магнитотвердые ферриты – ферриты на основе оксидов бария – $BaO \cdot 6Fe_2O_3$,

стронция – $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$, кобальта – $\text{CoO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$. Их применяют для изготовления постоянных магнитов в радиоэлектронике, электротехнике, автоматике (электродвигатели, устройства связи, магнитные сепараторы, муфты и др.).

Преимущества ферритов по сравнению с металлическими материалами – меньшая плотность (3,5...5,1 г/см³), высокая коэрцитивная сила (до 240 кА/м), высокое удельное электрическое сопротивление ($\sim 10^3$ Ом м). Последнее позволяет применять их в области высоких частот. К достоинствам ферритов следует отнести также стабильность характеристик при действии внешних магнитных полей и вибраций. Недостатки ферритов – более низкая, чем у металлических сплавов, остаточная индукция (B_r) и более низкая температура потери магнитных свойств (температура Нееля).

Стоимость ферритов ниже, чем металлических сплавов альнико, самую низкую стоимость имеют бариевые ферриты.

Магнитомягкие материалы предназначены для работы в переменных магнитных полях. Их применяют для изготовления сердечников трансформаторов, дросселей, роторов и статоров электрических машин, электромагнитов и других электрических аппаратов. Эксплуатация материалов в переменных магнитных полях определяет следующие требования к материалам:

- – высокие значения начальной и максимальной магнитной проницаемости (μ_n и μ_{max}), так как они должны легко намагничиваться;
- – малая коэрцитивная сила ($H_c < 4$ кА/м), т.е. узкая петля гистерезиса (см. рис. 1, б), что обеспечивает малые потери при перемагничивании и повышает КПД;
- – высокая индукция насыщения B_s , т.е. большой магнитный момент в малых объемах, что уменьшает вес и габариты изделий.

Магнитомягкие материалы подразделяют на низкочастотные и высокочастотные. Последние должны иметь высокие значения удельного электросопротивления, при этом уменьшаются тепловые потери, что важно при работе в условиях высоких частот. Низкочастотные материалы – это в основном сплавы на металлической основе, высокочастотные – ферриты и магнитодиэлектрики.

Для эксплуатации при низких частотах применяют технически чистое железо, электротехническую кремнистую сталь; сплавы системы "железо – никель" (пермаллои) и "железо – кремний – алюминий" (альсиферы); некоторые ферриты.

Технически чистое железо (суммарное содержание примесей не более 0,08...0,1%) имеет малое удельное электросопротивление (10^{-7} Ом м), поэтому обладает повышенными потерями на вихревые токи, используется главным образом для магнитопроводов постоянного магнитного потока (сердечники реле и т.п.).

Электротехническая кремнистая сталь (0,8...4,8% Si; < 0,04% C). Железо образует с кремнием твердый раствор, что повышает удельное электросопротивление ($2,5 \dots 6 \cdot 10^{-7}$ Ом • м) и снижает потери на вихревые токи. Легирование кремнием приводит также к повышению магнитной проницаемости и снижению коэрцитивной силы. Однако количество кремния в стали обычно не превышает 5%, так как при его большем содержании снижается пластичность, что затрудняет получение тонколистового проката. Эти стали поставляются в виде листа и ленты.

Стали маркируются буквой "Э" и четырьмя цифрами:

- первая означает вид проката и структурное состояние: 1 – горячекатаная, 2 – холоднокатаная изотропная, 3 – холоднокатаная анизотропная;
- вторая – содержание кремния: 0 – до 0,4%; 1 – 0,4...0,8%; 2 – 0,8...1,8%; 3 – 1,8...2,8%; 4 – 2,8...3,8%; 5 – 3,8...4,8%;
- третья и четвертая – магнитные характеристики и их уровень (потери при перемагничивании при разных частотах тока, магнитная индукция и магнитная проницаемость при разной напряженности магнитного поля).

Эти стали относительно дешевы, поэтому они широко применяются для изготовления сердечников силовых трансформаторов, статоров и роторов электрических машин и других магнитопроводов аппаратов и приборов, работающих на постоянном и переменном токе низкой частоты (до 400 Гц).

Пермаллои – сплавы железа с никелем (содержание Ni от 35 до 80%). Для улучшения электромагнитных и технологических свойств пермаллои легируют молибденом, хромом, медью, кремнием (легированные пермаллои).

Важной особенностью пермаллоев является высокая магнитная проницаемость,

особенно μ n (ее величина (15...35•10³) в 2...5 раз больше, чем у технически чистого железа и кремнистых сталей). Поэтому их применяют в тех случаях, когда необходимо получить большую индукцию в слабых магнитных полях – для изготовления сердечников малогабаритных трансформаторов, дросселей, реле, измерительных приборов, магнитных усилителей, а также магнитных экранов.

Более высокими магнитными свойствами обладают высоконикелевые (до 80% Ni) пермаллои. Их магнитная проницаемость в несколько раз выше, чем у низконикелевых, и в еще большей степени превосходит магнитную проницаемость электротехнических сталей.

Термическую обработку пермаллоев производят для снижения остаточных напряжений и укрупнения величины зерна. Она заключается в медленном нагреве до 1100...1150 °С в защитной среде, выдержке 3...6 ч, медленном охлаждении до 600 °С и дальнейшем быстром охлаждении.

К недостаткам пермаллоев следует отнести: значительную зависимость магнитной проницаемости от частоты (μ резко снижается с повышением частоты), пониженное удельное электрическое сопротивление, чувствительность магнитных характеристик к наклепу, кроме того, они являются дорогостоящими из-за высокого содержания никеля.

Пермаллои выпускают в виде листов, лент, прутков.

Альсиферы представляют собой сплавы железа с кремнием и алюминием (9,6% Si, 5,4% Al, остальное – Fe). Они обладают хорошими магнитными свойствами и могут успешно заменять дорогие высоконикелевые пермаллои.

Их недостаток – низкая технологичность. Эти сплавы имеют высокую твердость (45...50 HRC), они очень хрупкие, не поддаются обработке ни резанием, ни давлением; формообразующие операции – литье или порошковая металлургия (спекание).

В качестве высокочастотных материалов используют "марганец-цинковые", "никель-цинковые" и "литий-цинковые" ферриты.

"Марганец-цинковые" ферриты (6000НМ, 4000НМ, 2000НМ и др.) имеют высокую магнитную проницаемость (цифра в марке указывает начальную магнитную

проницаемость), но относительно низкое удельное электросопротивление (10-2...20 Ом•м), поэтому они применяются для работы при частотах не более 1...3 МГц.

"Никель-цинковые" ферриты (2000НН, 1000НН, 600НН, 200НН, 150ВЧ и др.) применяются для работы при более высоких частотах – до 100 МГц благодаря более высокому удельному электросопротивлению (103...108 Ом•м).

Наибольшее удельное электросопротивление (106... 1011 Ом•м) у "литий-цинковых" ферритов, что определяет возможность их применения для работы при сверхвысоких частотах – до 1000 МГц.

Ферриты применяют для изготовления сердечников трансформаторов и катушек индуктивности, фильтров, магнитных антенн и деталей отклоняющих систем телевизоров, сердечников быстродействующих реле, статоров и роторов высокочастотных двигателей и т.д.

Магнитодиэлектрики (высокочастотные магнитомягкие материалы) – это композиционные материалы, в которых наполнителем является магнитомягкий порошок ферромагнетика, а связкой – диэлектрик. В качестве наполнителя применяют порошки карбонильного (особо чистого) железа, альсифера и пермаллоя, а связкой служат фенолформальдегидные смолы, полистирол, стекло и т.п. Электроизоляционная пленка, которая покрывает каждую частицу ферромагнетика, повышает удельное электросопротивление магнитодиэлектрика и снижает потери на вихревые токи. Магнитная проницаемость магнитодиэлектриков меньше, чем собственно ферромагнетика (основы) из-за наличия диэлектрической связки. Магнитодиэлектрики используют в радиоэлектронике при работе на высоких частотах – до 10... 100 МГц.

Задание

1. Построить зависимость магнитной индукции B от напряжённости поля H для магнитомягких материалов. Наименования материалов и значения B и H приведены в таблице 5.1. Зависимость $B = f(H)$ является основной характеристикой ферромагнитных материалов. Для магнитомягких материалов эта зависимость называется кривой намагничивания и лежит в первом квадранте.

2. Определить индукцию насыщения.

3. Описать основные характеристики и область применения материала.

Таблица 5.1

Вариант	Наименование магнитомягкого материала	Значения H в А/м и B в Тл
0	Карбонильное железо	H 10 20 30 40 60 80 100 B 1,18 1,3 1,38 1,43 1,52 1,58 1,6
1	Электротехническая сталь 1211	H 171 261 397 502 1440 2500 31000 B 0,5 0,7 0,9 1,0 1,3 1,5 2,0
2	Электротехническая сталь 1513	H 96 148 325 414 1080 3850 23000 B 0,4 0,6 0,9 1,0 1,3 1,5 1,8
3	Пермаллой 79НМ	H 10 30 50 100 300 500 B 0,53 0,66 0,69 1,73 1,77 1,78
4	Электротехническая сталь 3413	H 81 130 182 275 390 800 1500 B 0,6 0,8 1,0 1,3 1,6 1,7 1,8
5	Электротехническая сталь 2411	H 48 53 72 116 192 410 600 760 B 0,4 0,6 0,8 1,0 1,2 1,4 1,6 1,8
6	Электротехническая сталь 2013	H 52 60 124 185 320 520 1150 2670 B 0,4 0,6 0,8 1,0 1,3 1,5 1,7 1,9
7	Литая сталь, поковки (Ст3)	H 80 240 400 585 798 924 1290 4100 B 0,1 0,3 0,5 0,7 0,9 1,0 1,2 1,6
8	Пермаллой 50НХС	H 10 30 50 100 300 500 B 0,20 0,53 0,76 1,05 1,24 1,28
9	Альсифер	H 1000 2000 3000 4000 5000 6000 B 0,08 0,18 0,21 0,26 0,30 0,34

Критерии оценки

5 (отлично) - задание выполнено в полном объеме;

4 (хорошо) - выполнено 2 пункта задания в полном объеме;

3 (удовлетв) – выполнено 2 пункта задания в неполном объеме;

2 (неудовл) – выполнено менее 2 пунктов задания.

Практическая работа №6

Проводниковые материалы

Цель работы: иметь представление о характеристиках, области применения проводниковых материалов.

Теоретическая часть

Материалы высокой проводимости

Медь обладает малым удельным электрическим сопротивлением, высокой механической прочностью, хорошей обрабатываемостью, удовлетворительной коррозионной стойкостью, легко паяется и сваривается.

В электротехнике используется медь высокой степени очистки. Твердую медь марки МТ получают при холодной протяжке, она имеет высокий предел прочности на растяжение, малое относительное удлинение, высокую прочность при изгибе. Твердая медь используется там, где нужно обеспечить высокую механическую прочность, твердость и сопротивление истиранию – для изготовления контактных проводов, шин распределительных узлов, пластин коллекторов электрических машин и др.

Если медь отжечь, то получается мягкая медь марки ММ, которая имеет небольшую твердость и прочность, высокую пластичность и более высокую удельную проводимость. Мягкая медь, в виде проволок круглого и квадратного сечения, используется для изготовления обмоток, жил проводов и кабелей.

Алюминий в 3,5 раза легче меди, но обладает пониженным по сравнению с медью механическими и электрическими свойствами. Алюминий активно окисляется на воздухе, образуя пленку с высоким электрическим сопротивлением. В электротехнических устройствах используется алюминий марки А1 (примесей 0,5%), который используется для изготовления проводов, оболочек кабеля. Более чистый алюминий марки АВ00 используется для изготовления алюминиевой фольги, электродов и корпусов оксидных конденсаторов.

Для увеличения механической прочности в проводниках ЛЭП используют сталеалюминовые провода, сердечник которых состоит из стальных жил, обвитых сверху алюминиевой проволокой.

Из алюминиевых сплавов широко применяется сплав альдрей (системы Al – Mg – Si – Fe), который имеет плотность и электропроводность, как и у алюминия, по прочности приближается к твердой меди.

Железо (сталь) – наиболее дешевый и доступный материал, обладающий высокой механической прочностью. В качестве проводника сталь используется в виде шин на транспорте (рельсы), проводов ЛЭП. Для повышения коррозионной стойкости стальные провода покрывают цинком.

Для уменьшения расхода меди применяют *биметаллические проводники* – это стальные проводники, покрытые сверху медью.

Вольфрам, молибден – металлы с высокой температурой плавления - применяются для изготовления деталей накала (нитей ламп накаливания и электровакуумных приборов) и для изготовления контактов.

Драгоценные металлы- золото, серебро, платина – используются для коррозионноустойчивых покрытий, изготовления контактов, электродов ответственных деталей.

Палладий используется в качестве покрытия коллекторов электрических машин малой мощности.

Свинец обладает высокой коррозионной стойкостью, высоким удельным сопротивлением. Он используется для изготовления защитных оболочек кабелей, предохранителей, аккумуляторов, защитных экранов (для защиты от рентгеновских лучей).

Олово используется для изготовления защитных покрытий и припоев.

Цинк используется для изготовления защитных покрытий, электродов гальванических элементов, при изготовлении конденсаторов и др.

Ртуть, жидкий при нормальной температуре металл

Сплавы высокого сопротивления

Сплавы высокого сопротивления используются для изготовления резисторов, реостатов, нагревательных элементов и других устройств.

К *сплавам высокого сопротивления на основе меди* относятся манганин и константан.

Манганин используется для изготовления образцовых резисторов. Его состав: меди 85%, магния 12%, никеля 3%. Из-за большого содержания меди манганин имеет желтый цвет, является материалом технологическим, хорошо вытягивается в тонкую проволоку. Предельно допустимая рабочая температура манганина 200°C.

Константан состоит из 60% меди и 40% никеля. По механическим свойствам константан близок к манганину. Своё название константан получил из-за постоянства удельного сопротивления при изменении температуры. Наибольшая допустимая рабочая температура константана при длительной работе - 450°C, поэтому он используется для изготовления реостатов и электронагревательных элементов. Константан имеет высокую термо-ЭДС в паре с медью и железом, поэтому он используется для изготовления термопар. Константан не применяется широко из-за наличия в его составе большого количества никеля.

Сплавы высокого сопротивления на основе железа применяются для электронагревательных элементов. Высокая нагревостойкость этих сплавов объясняется введением в их состав хрома и никеля.

Нихромами называются сплавы системы Fe – Ni – Cr; при большом содержании железа их называют ферронихромами. Маркировка: X – хром, Н – никель, за каждой из которых следует цифра, показывающая среднее содержание элемента сплава в процентах.

X15H60 15% хрома, 60% никеля, остальное железо.

Фехрали (хрома до 15%) и хромали (хрома до 31%) – это сплавы системы Fe – Cr – Al.

X13Ю4 13% хрома 4% алюминия, остальное железо.

Нихромы технологичны, легко вытягиваются в тонкую проволоку и ленту, имеют рабочую температуру до 1000 - 1100°C.

Фехрали и хромали дешевле нихромов, но менее технологичны; из них получают проволоки и ленты большого сечения, они более твердые и хрупкие и используются для изготовления электроннагревательных элементов большой мощности, работающих при температурах до 900 - 1200°C.

Припой и флюсы

Припой – это специальные сплавы, применяемые при пайке.

Пайка осуществляется или с целью получения механически прочного шва, или с целью получения постоянного электрического контакта с малым переходным сопротивлением.

Припой делятся на мягкие и твердые.

К мягким относят припой с температурой плавления до 400°C, к твердым – с температурой плавления более 500°C.

Мягкие припой – оловянно-свинцовые типа ПОС.

ПОС-18 18% - олово, остальное свинец.

Твердые припой – это медно-цинкового типа (ПМЦ) и медно-серебряно-цинкового типа (ПСр). Припой ПСр45 45% серебра, 30% меди и 25% цинка.

Флюсы – это вспомогательные материалы для получения надежной пайки. Флюсы должны: растворять и удалять оксиды и загрязнения с поверхности сплавляемых металлов; защищать в процессе пайки поверхность от окисления; уменьшать поверхность натяжения расплавленного припоя и увеличивать смачиваемость соединяемых деталей. Простейший флюс – флюс на основе канифоли.

Неметаллические проводники, области их применения

Из твердых неметаллических проводников наиболее широко применяются материалы на основе углерода. Из угля изготавливают щетки электрических машин, электроды печей, электролитических ванн и прожекторов, аноды гальванических элементов и др. Угольные порошки используются в микрофонах. Из угля делают высокоомные резисторы, разрядники для телефонных сетей.

Электротехнический уголь получают из сажи, каменного угля, кокса, естественного графита. Сырьевые материалы, служащие для изготовления электроугольных изделий, измельчаются, сортируются, смешиваются со связующими веществами (каменноугольная смола или жидкое стекло).

Приготовленная масса протягивается через мундштук (при изготовлении стержневых электродов) или прессуется в пресс-формах (при изготовлении угольных изделий сложной формы). Затем угольные заготовки подвергают обжигу при температуре 800 – 3000 °С. Щетки электрических машин служат для создания скользящего контакта между неподвижными и подвижными частями машин.

Щетки имеют контактную поверхность (поверхность, прилегающую к коллектору) размером от 4 × 4 мм до 35 × 35 мм. Промышленность выпускает несколько разновидностей щеток: угольнографитные (Т и УГ), графитные (Г), электрографит-

ные (ЭГ), меднографитные (М и МГ), бронзографитные (БГ).

В качестве нагревательных элементов высокотемпературных электрических печей используется карбид кремния SiC, полученный в виде керамики с легирующими добавками тугоплавких металлов. Это материал может надежно работать при высоких температурах порядка 1500 - 2000°K и выше.

Для электродов магнетогидродинамических (МГД) генераторов используются оксиды: двуокись циркония ZrO_2 , двуокись цезия CeO_2 , некоторые хромиты (например, хромит лантана $LaCrO_3$) и др.

Задание

1. Описать основные свойства и привести характеристики указанных проводниковых материалов.
2. Указать область применения, их преимущества и недостатки.
3. Для сплавов указать их состав.

Таблица 6.1

Номер варианта	Наименование проводникового материала
1	Манганин МН Мц 3-12
2	Константан МН Мц 40-1,3
3	Нихром
4	Электротехнический уголь
5	Твёрдый припой ПСр-25
6	Мягкий припой ПОС-18
7	Фехраль Х13Ю4
8	Вольфрам
9	Станиид ниобия
10	Медь

Критерии оценки

- 5 (отлично) - задание выполнено в полном объеме;
- 4 (хорошо) - выполнено 2 пункта задания в полном объеме;
- 3 (удовлетв) – выполнено 2 пункта задания в неполном объеме;
- 2 (неудовл) – выполнено менее 2 пунктов задания.

Практическая работа №7

Полупроводниковые материалы

Цель работы: иметь представление о характеристиках, области применения полупроводниковых материалов.

Теоретическая часть

К полупроводникам относят большую группу материалов с электронной электропроводностью, удельное сопротивление которых находится между значениями сопротивлений проводников и диэлектриков.

Управляемость электропроводностью полупроводников посредством температуры, света, электрического и магнитного полей, механических усилий положена в основу принципа действия различных полупроводниковых приборов: терморезисторов, фотодиодов, тензодатчиков и др.

Наличие у полупроводников двух типов электропроводности – электронной **n** и дырочной **p** позволяет получить приборы с **p – n** переходом.

Полупроводниковые приборы могут быть использованы для преобразования различных видов энергии в электрическую (солнечные батареи, термоэлектрические генераторы). С помощью полупроводниковых приборов можно получить охлаждение на несколько десятков градусов. Полупроводники применяются для рекомбинационного свечения при низком напряжении (светодиоды), в качестве высокотемпературных нагревательных приборов (силитовые стержни), для измерения магнитного поля (датчики Холла) и в других устройствах.

Электропроводность полупроводников

Собственные полупроводники

К собственным полупроводникам относятся полупроводники не содержащие примесей: бор, кремний, германий, селен, сера, мышьяк, фосфор и др.

Атомы имеют определенные энергетические уровни (состояния). Часть этих уровней в нормальном невозбужденном состоянии заполнены электронами. Электроны вращаются на определенных орбитах, которые соответствуют определенным

значениям энергии, т.е. находятся на определенных энергетических уровнях. При внешнем энергетическом воздействии, электроны могут переходить со своих уровней на свободные уровни.

Из определенных уровней образуются зоны.

Уровни, которые в нормальном невозбужденном состоянии заполнены электронами, образуют валентную зону.

Свободные от электронов уровни образуют зону проводимости.

Энергетическую щель между валентной зоной и зоной проводимости называют запрещенной зоной.

У собственных полупроводников электроны в зону проводимости могут переходить только из валентной зоны. При переходе электрона из валентной зоны в зону проводимости, на его месте остается положительно заряженная незаполненная связь с зарядом равным заряду электрона, которую называют дыркой проводимости или просто дыркой. Дырку может заполнить электрон соседнего атома, что эквивалентно перемещению дырки. Под действием поля перемещение носит направленный характер, т.е. дырки в валентной зоне наряду с электронами в зоне проводимости будут участвовать в проводимости полупроводника.

Примесные полупроводники

Для большинства полупроводниковых приборов используются примесные полупроводники, где основным поставщиком свободных зарядов в рабочем диапазоне температур, являются примеси. Примесями в полупроводниках являются чужеродные атомы. Роль примесей могут играть дефекты кристаллической решетки: пустые узлы, дислокации.

Донорные примеси образуют дополнительные энергетические уровни, заполненные электронами при отсутствии внешнего воздействия, вблизи зоны проводимости.

Электропроводность таких полупроводников будет носить преимущественно электронный характер, такой полупроводник будет называться полупроводником *n* – типа, а материалы примесей составляющие электроны в зону проводимости - до-

норами.

Акцепторные примеси образуют дополнительные, незаполненные электронами, уровни, располагающиеся в запрещенной зоне основного полупроводника вблизи «потолка» валентной зоны.

Полупроводник будет иметь концентрацию дырок в валентной зоне большую, чем концентрация электронов, перешедших из валентной зоны в зону проводимости. Такие полупроводники относятся к p – типу, а примеси, захватывающие электроны из валентной зоны полупроводника называются акцепторами.

Задание

1. Описать основные характеристики.
2. Указать область применения полупроводникового материала.

Таблица 7.1

Номер варианта	Наименование проводникового материала
1	Германий
2	Кремний
3	Селен
4	Теллур
5	Карбид кремния Si C
6	Арсенид галлия
7	Антимонид галлия
8	Антимонид индия In Sb
9	Сульфид свинца Pb S
10	Германий ГДГ 0,75/0,5

Критерии оценки

- 5 (отлично) - задание выполнено в полном объеме;
- 4 (хорошо) - выполнен один из пунктов задания в неполном объеме;
- 3 (удовлетв) – выполнено 2 пункта задания в неполном объеме;
- 2 (неудовл) – не выполнен один из пунктов задания.

Лабораторная работа №1

Испытание металлов на твердость методом Бринелля

Цель работы: ознакомиться с методикой определения твердости материалов методом Бринелля, испытывая различные образцы.

1. Теоретическая часть

При определении твердости по Бринеллю, в образец вдавливают стальной шарик определенного диаметра, под действием стандартной нагрузки в течение определенного времени. При этом поверхность образца должна быть плоской, горизонтальной и незагрязненной или покрытой окалиной. После снятия нагрузки на поверхности материала остается шаровидный отпечаток

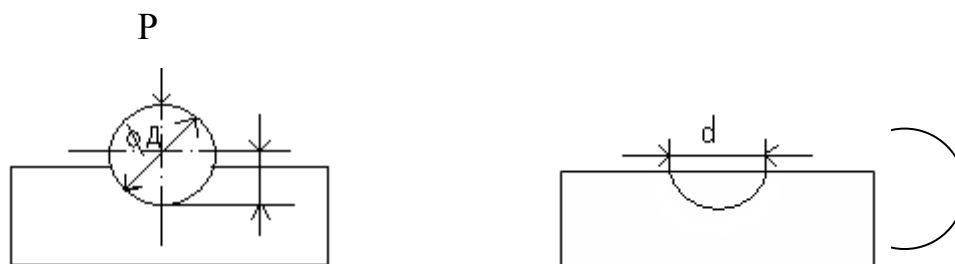


Рисунок 1.1– Метод определения твердости

Твердость по методу Бринелля определяется по формуле:

$$HB = \frac{2P}{\pi D \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}, \quad (1)$$

где P - нагрузка на шарик, кГс

D - диаметр вдавливаемого шарика, мм

d-диаметр отпечатка, мм.

2 Приборы и оборудование

Для проведения необходимо иметь:

- твердомер;

- образцы стали и сплавов цветных металлов различной толщины;
- лупу для измерения диаметра отпечатка.

3 Порядок выполнения работы

3.1. Подготовка образца для испытания.

Перед испытанием поверхность образца, в которую будет вдавливаться шарик, обрабатывают наждачной бумагой, чтобы она была гладкой, ровной и не было окалины или других дефектов.

Подготовка поверхности образца необходима для получения правильного отпечатка и для того чтобы края его были отчетливо видны для измерения.

3.2. Подготовка прибора и проведения испытания.

3.2.1. Установить на подвеску грузы, соответствующие выбранной для испытания нагрузке, (по указанию преподавателя)

3.2.2. Наконечник с шариком вставить в шпиндель и укрепить.

3.2.3. Образец должен лежать на столике. Центр отпечатка должен находиться от края на расстоянии не меньше диаметра шарика.

3.2.4. Вращением рукоятки по часовой стрелке поднять столик и прижать образец к шарик, продолжать вращать рукоятку до тех пор, пока указатель не встанет против риски.

3.2.5. Нажатием кнопки включить электродвигатель.

3.2.6. После сигнала звонка, вращением рукоятки, опустить столик и снять с него образец с полученным отпечатком.

3.2.7. Измерить полученный отпечаток.

3.2.8. Определить твердость.

3.3. Методика измерения отпечатка и определения твердости.

Полученный отпечаток измеряют с помощью лупы или микроскопа в двух взаимно перпендикулярных направлениях, диаметр отпечатка определяется как среднее арифметическое из двух измерений. Лупа имеет шкалу, малое деление которой равно 0,1 мм. Лупу нижней опорной частью надо плотно установить на испытываемую поверхность образца над отпечатком; если лупа не имеет специальной лампочки для

освещения поверхности, вырез (окно) в нижней части лупы обратить к свету. Поворачивая окуляр, необходимо добиться, чтобы края отпечатка были резко очерчены.

Затем, передвигая лупу, необходимо один край отпечатка совместить с началом шкалы. Прочитать деление шкалы, с которым совпадает противоположный край отпечатка. Данный отчет и будет соответствовать размеру диаметра отпечатка.

Затем лупу и образец необходимо повернуть на 90° и измерить диаметр отпечатка второй раз. Среднее арифметическое значение диаметра отпечатка записать в таблицу 1.

Для получения правильной характеристики твердости данного материала необходимо провести еще два повторных испытания на твердость того же образца; полученные результаты записать в таблицу 1.

При повторных испытаниях центр отпечатка должен находиться от центра соседнего отпечатка на расстоянии не менее двух диаметров шарика.

По формуле (1) определить твердость образца для 3-х отпечатков, найти среднее значение НВ и записать в таблицу 1.

Таблица 1

№ п/п	Наименование материала	Диаметр вдавливаемого шарика, D, мм	Нагрузка P, Н	Диаметр отпечатка, мм d, мм			Твердость НВ		
				1	2	3	1	2	3

4 Анализ проведенной лабораторной работы

Измерив твердость не менее двух образцов, необходимо провести сравнительный анализ.

Вопросы

1. Какие методы определения механических свойств используются при испытаниях материалов?

2. Какие характеристики определяются при различных методах испытаний механических свойств?

3. Какую максимальную твердость можно измерить методом Бринелля?

Лабораторная работа № 3

Определение удельных электрических сопротивлений твердых диэлектриков

Цель работы: Закрепить понятия удельного объёмного и удельного поверхностного электрических сопротивлений, измерить величины удельных сопротивлений диэлектриков различного состава и влажности, получить навыки в работе по электрическим испытаниям электроизоляционных материалов.

1 Теоретическая часть

Используемые диэлектрики содержат в своём объёме небольшое количество свободных зарядов, которые перемещаются в электрическом поле. Поэтому диэлектрики на постоянном токе пропускают весьма малый ток, называемый сквозным током утечки.

Для твёрдых диэлектриков объёмный ток утечки I_v , протекающий через объём, определяет значение объёмной проводимости и соответственно объёмное электрическое сопротивление R_v , а поверхностный ток утечки I_s , протекающий по поверхности изоляции, - G_s поверхностной проводимости и соответственно поверхностное сопротивление R_s .

Удельное объёмное сопротивление ρ_v равно объёмному сопротивлению куба с ребром 1м, мысленно вырезанного из объёма исследуемого материала, если ток проходит сквозь куб от одной его грани к противоположной.

Удельное поверхностное сопротивление ρ_s равно сопротивлению квадрата любых размеров, мысленно вырезанного на поверхности диэлектрика, если ток проходит через квадрат от одной его стороны к противоположной.

2 Приборы и оборудование:

- трансформатор напряжением 1 кВ (нестандартный),

- выпрямитель Д-1010;
- вольтметр 1000 В;
- зеркальный гальванометр магнитоэлектрической системы;
- образцы диэлектриков.

3 Электрическая схема

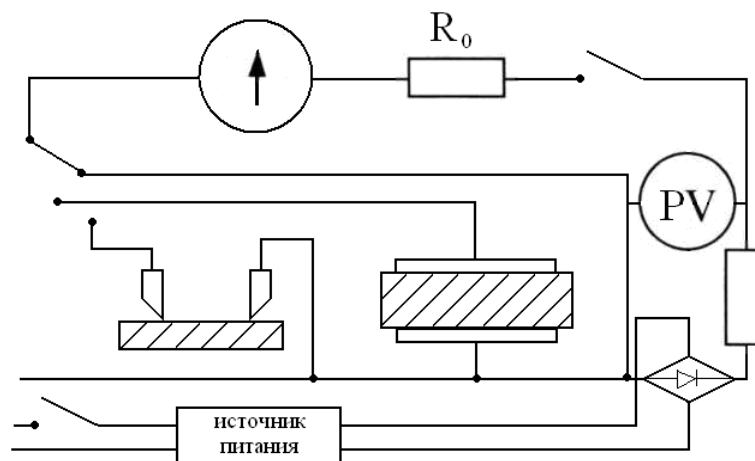


Рисунок 2.1- Схема установки

4 Порядок выполнения работы

1. Перед выполнением лабораторной работы, под руководством преподавателя необходимо ознакомиться со стендом и правилами техники безопасности.
2. Изучить схему для измерения объёмного электрического сопротивления r_v и подключить образец диэлектрика.
3. Закрывать ограждение установки, замкнуть переключатель П1, кнопку S2, установить показания вольтметра в нулевое положение (крайнее левое положение ручки ЛАТР).
4. Кнопку шунта гальванометра поставить в положение $\times 100$, что соответствует наименьшему шунтовому числу, чтобы гальванометр не вышел из строя из-за чрезмерного увеличения силы тока.
5. Ручкой «Установка нуля» - установить показания гальванометра в нулевое положение.

6. Подать напряжение на испытуемый объект такое, чтобы стрелка гальванометра отклонялась не более чем на 40мм шкалы (напряжение не должно превышать 1000 В).

7. Отметить отклонение гальванометра (мм) через 1мин после подачи напряжения на образец и записать в таблицу 4.1

8. Вычислить ток I_v , протекающий через гальванометр, по формуле

$$I_v = \frac{\alpha \cdot C_d}{n}, \text{ А} \quad (1)$$

где: α - отклонение стрелки гальванометра, мм;

C_d - динамическая постоянная гальванометра,

$C_d=3,14 \cdot 10^{-3}$ А/мм;

$n=100$ – коэффициент шунтирования.

9. Вычислить объёмное электрическое сопротивление образца диэлектрика

$$R_v = \frac{U \cdot n}{\alpha \cdot C_d}, \text{ Ом} \quad (2)$$

10. Вычислить удельное объёмное электрическое сопротивление образца диэлектрика

$$\rho_v = \frac{U \cdot \pi \cdot d_1^2 \cdot n}{4\alpha \cdot C_d \cdot h}, \text{ Ом} \cdot \text{ см} \quad (3)$$

где: d -диаметр верхнего электрода, см;

h - толщина диэлектрика, см

11. Изучить схему для измерения удельного поверхностного электрического сопротивления.

12. Переключить тумблером S1 в положение 2 и повторить операции указанные в пунктах 3-7;

13. Вычислить ток поверхностной утечки

$$I_s = \frac{\alpha \cdot C_{\text{д}}}{h}, \text{А} \quad (4)$$

Вычислить поверхностное сопротивление

$$R_s = \frac{U}{I_s}, \text{Ом} \quad (5)$$

Вычислить величину удельного поверхностного сопротивления

$$\rho_s = \frac{R_s \cdot \pi(d_1 - d_2)}{(d_1 - d_2)}, \text{Ом} \cdot \text{см} \quad (6)$$

где d_1 - диаметр нижнего электрода, см;

d_2 - внутренний диаметр кольцевого электрода, см.

14. Результаты измерения занести в таблицу 3.1

Таблица 3.1

Наименование испытуемого материала	Сд	d_1	d_2	Измеряются			Вычисляются					
				h	U	α	I_v	R_v	ρ_v	I_s	R_s	ρ_s
	А/мм	см	см	см	В	мм	А	Ом	Ом см	А	Ом	Ом см

5 Анализ результатов лабораторной работы

Анализируя результаты лабораторной работы, необходимо сравнить между собой величины ρ_s и ρ_v для одного диэлектрика и для различных видов.

Вопросы:

1. Объяснить возникновение в твёрдых диэлектриках объёмного, поверхностного тока утечки.
2. Дать определение объёмного и поверхностного удельных сопротивлений.

3. Сравнить между собой ρ_s и ρ_v для одного и для разных диэлектриков.
4. Сделать вывод о том, какая из этих величин оказывает большее влияние на величину тока утечки через изоляцию.
5. Что зависит от величин ρ_s и ρ_v ?

Лабораторная работа №4

Определение электрической прочности трансформаторного масла

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: ознакомиться с методом испытания жидких диэлектриков. Определить пригодность испытываемой жидкости для применения в высоковольтных аппаратах путем сравнения опытных данных с характеристиками жидких диэлектриков, приведенных в ГОСТе.

1 Теоретическая часть

При повышении напряжения на электродах, между которым находится диэлектрик, может произойти пробой - потеря диэлектриком его электроизоляционных свойств с образованием канала высокой проводимости между электродами, приводящего к короткому замыканию электродов. Минимальное напряжение, приложенное к диэлектрику и приводящее к его пробую, называют пробивным напряжением. Напряженность электрического поля, при которой происходит пробой диэлектрика, называется электрической прочностью. Она определяется, как отношение пробивного напряжения к толщине диэлектрика.

Трансформаторное масло применяют для заливки масляных трансформаторов (силовых и измерительных), масляных выключателей высокого напряжения, реостатов и других высоковольтных электрических аппаратов.

Его назначение: во-первых масло, заполняя поры волокнистой изоляции и промежутки между обмотками, значительно повышает электрическую прочность изоляции; во-вторых улучшает отвод тепла от обмоток и сердечников трансформаторов или элементов реостата. В масляных выключателях высокого напряжения трансформаторное масло служит дугогасящей средой.

Электрическая прочность трансформаторного масла зависит от степени его увлажнения. После сушки электрическая прочность масла восстанавливается. Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) предусмотрены определенные нормы электрической прочности для чистого и сухого трансформаторного масла, приготовленного для заливки в аппарат, и для масла, находившегося в эксплуатации, для различных рабочих напряжений.

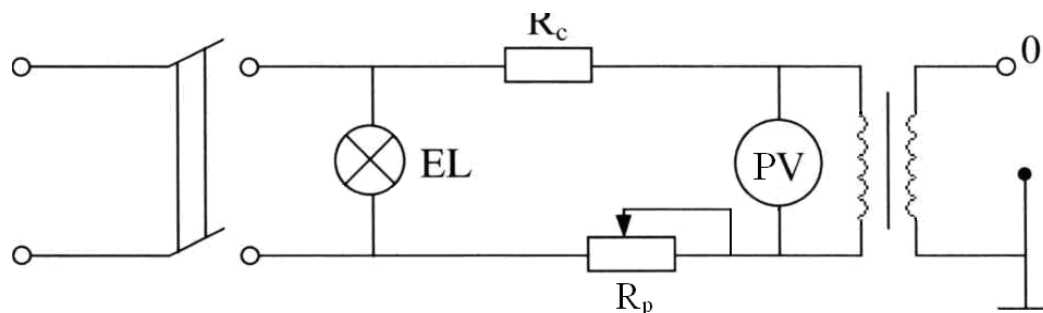
Трансформаторное масло стареет (окисляется) под влиянием кислорода воздуха, высокой температуры и солнечного света. Процессу старения масла способствует соприкосновение его с лаковой изоляцией и металлами (особенно медью). Масло обладает гигроскопичностью, понижающей его электрическую прочность.

Твердые частицы (сажа, волокна и другие) снижают электрическую прочность масла. Для повышения электрической прочности трансформаторное масло очищают от примесей, прогоняя через адсорбенты

2 Приборы и оборудование

Аппарат АИИ-70 или АИИ -80, предназначенный для испытания жидких диэлектриков переменным высоким напряжением

3 Электрическая схема



4 Порядок работы

Жидкие диэлектрики испытывают аппаратом АИИ-70 при закрытых дверцах.

1. Заземлить аппарат.
2. Рукоятку "Защита" установить в положение "Чувствительная".
3. Извлечь емкость с электродами и проверить межэлектродное расстояние (2,5

мм), несколько раз промыть емкость чистым диэлектриком (вымывтых электродов нельзя касаться руками).

4. Залить диэлектрик в фарфоровую емкость (перед заливкой не взбалтывать, чтобы не появились пузырьки воздуха). Залить такое количество масла, чтобы электроды были покрыты слоем масла не менее чем на 15 мм.

5. Открыть дверцу на крышке аппарата, установить емкость на металлические стойки и снова закрыть дверцу.

6. Дать жидкости отстояться в течение 5-10 минут для того, чтобы из нее вышли пузырьки воздуха.

7. Поставить ручку регулировочного трансформатора в крайнее левое положение.

8. Включить общий щит.

9. Подать напряжение на пульт управления нажав кнопку "Вкл." (при этом загорается красная лампа на пульте управления).

10. Включить автоматический выключатель, подать напряжение на высоковольтный трансформатор (при этом загорается красная лампа).

11. Повысить напряжение до пробоя, плавно вращая рукоятку регулятора напряжения по часовой стрелке (отсчет вести по шкале киловольтметров, отградуированной в киловольтах эффективных). Показания вольтметра в момент предшествующий пробую, указывает величину электрической прочности диэлектрика.

12. Отключение аппарата осуществляется автоматическим выключателем. Если пробой масла произошел при низком напряжении и автомат не сработал (красная лампа продолжает гореть) немедленно отключить и сообщить преподавателю.

13. После первого испытания произвести следующее:

- поставить подвижный контакт регулировочного трансформатора в начальное положение;

- открыть крышку на пульте аппарата АИИ-70 в месте установки сосуда с трансформаторным маслом;

- удалить уголь, образовавшийся между электродами, чистой стеклянной палочкой (палочка, как и термометр, должна храниться в сухом масле).

14. Испытание масла произвести 6 раз, на основании количества пробоев, вычислить среднее значение пробивного напряжения, которое принимают за действительное значение. Интервал между пробоями (5-10 минут) контролируют по песочным часам. Результаты измерений и вычислений записать в таблицу 4.1.

Таблица 4.1

№ п/п	Наименование жидкого диэлектрика	Измеряется							Вычисляется	
		h мм	U ₁ , кВ	U ₂ , кВ	U ₃ , кВ	U ₄ , кВ	U ₅ , кВ	U ₆ , кВ	U _{ср.пр.} , кВ	E _{ср.пр.} , кВ/мм

После испытания диэлектрик слить, а фарфоровый сосуд с электродами промыть сухим чистым маслом. Определить среднюю электрическую прочность.

$$E_{\text{пр}} = \frac{U_{\text{пр}}}{h} \quad (1)$$

5 Анализ проделанной лабораторной работы

Определить пригодность испытываемой жидкости для применения в высоковольтных аппаратах путем сравнения опытных данных с характеристиками жидких диэлектриков, приведенных в ГОСТе.

Вопросы:

1. Дайте определение пробивному напряжению и электрической прочности. Опишите механизм пробоя жидких диэлектриков.
2. В каких электрических аппаратах применяется трансформаторное масло, как зависит прочность масла от примесей в нем?
3. Характеристика масла по ГОСТу.
4. Влияние на прочность масла большого числа, идущих друг за другом пробоев, старение масла, факторы, влияющие на старение.

Лабораторная работа № 5

Определение электрической прочности воздуха при постоянном напряжении

Цель работы: выяснить, как влияет на электрическую прочность воздуха род и длительность действия напряжения, характер электрического поля. Получить опытным путём зависимость пробивного напряжения от длины разрядного промежутка для шаровых электродов, плоских электродов игла-плоскость.

1 Теоретическая часть

Воздух является естественной изоляцией многих электрических конструкций: трансформаторов, конденсаторов, воздушных выключателей, ЛЭП. Для обеспечения надёжной и безаварийной работы изоляционных конструкций необходимо знать, как влияет на электрическую прочность воздуха различные факторы, такие, как род и длительность действия напряжения, температура и давление газа, характер электрического поля и т. д.

Как диэлектрик воздух имеет следующие положительные свойства: быстро восстанавливает свою электрическую прочность после пробоя, незначительно изменяет диэлектрическую проницаемость, диэлектрические потери его очень малы.

Отрицательные свойства диэлектрика: низкая теплопроводность (0,000230,00036 Вт/см град), невысокая электрическая прочность, способность увлажняться, образовывать окислы, поддерживать горение.

Электрическая прочность воздуха не является постоянной и зависит от давления и относительной влажности, а также формы электродов.

В однородном электрическом поле (электроды в виде шара) пробой газа наступает сразу при достижении определённой величины напряжения.

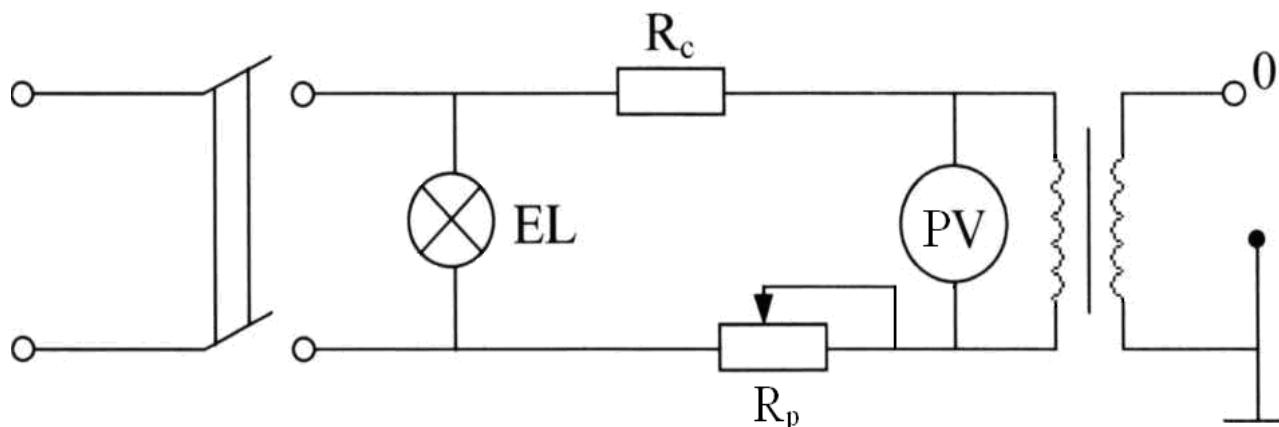
В резко неоднородном поле пробой газа начинается с неполного разряда в виде короны с переходом короны, при дальнейшем повышении напряжения в искровой разряд или дугу.

При несимметричных электродах игла-плоскость (при постоянном напряжении) Упр. будет меньше при положительной полярности иглы, чем при отрицательной полярности. Это объясняется величиной положительных объёмных зарядов.

2 Приборы и оборудование

- аппарат АИИ -70;
- кенотрон;
- автотрансформатор.

3 Электрическая схема



4 Дополнения по технике безопасности и охране труда

4.1 Определение электрической прочности воздуха проводится при высоком напряжении (до 70 кВ шах), поэтому необходимо тщательно соблюдать меры безопасности, перечисленные в общих правилах, а также в инструкции к аппарату АИИ-70.

При работе с аппаратом АИИ-70 обязательно пользоваться диэлектрическим ковриком и работать в диэлектрических перчатках.

4.2 Перед началом работы необходимо проверить наличие заземлений и присоединение их к заземлению в лаборатории.

4.3 При смене электродов обязательно снять статическое электричество с конденсатора и электродов изолирующей штангой в диэлектрических перчатках.

5 Порядок выполнения работы

5.1 Ознакомится со схемой аппарата АИИ - 70.

5.2 Проверить положение автотрансформатора, регулирующего напряжение, подаваемое в первичную обмотку испытательного трансформатора.

5.3 При выключенном аппарате закрепить электроды.

5.4 Проверить наличие заземлённого ограждения высоковольтной части аппарата.

5.5 Включить установку в сеть. При этом загорается зелёная сигнальная лампа.

5.6 Включить автоматический выключатель, при этом загорается красная сигнальная лампа.

5.7 С помощью автотрансформатора изменить напряжение от нуля до пробивного значения со скоростью 1 кВ/сек. В момент пробоя срабатывает реле максимального тока и аппарат выключится. После каждого произведённого пробоя рукоятку регулировочного автотрансформатора вывести в нулевое положение.

5.8 Не меняя расстояние между электродами при той же форме электродов повторить опыт ещё два раза.

5.9 Записать величины пробивного напряжения.

5.10 Изменить расстояние между электродами и повторить пробой.

5.11 Результаты измерений и вычислений записать в таблицу 1

Получить опытным путём зависимость пробивного напряжения от длины разрядного промежутка в случае:

- а) шаровых электродов одинакового диаметра;
- б) плоских электродов;
- в) электродов игла-плоскость;
- г) электродов игла-игла.

$$E_{\text{пр}} = \frac{U_{\text{пр}}}{h}, \text{ кВ} \quad (1)$$

5.12 Построить графики зависимости:

$$U_{i\delta} = f(h); \quad E_{i\delta} = f(h)$$

Таблица 5.1

№ п/п	Форма электродов	Измеряются			Вычисляются		
		h	U _{пр1}	U _{пр2}	U _{пр3}	U _{пр.ср.}	E _{пр.}
		см	кВ max	кВ max	кВ max	кВ	кВ/м

6 Анализ результатов

Обобщив результаты лабораторной работы, следует проанализировать вид полученных графиков, сопровождая это необходимыми пояснениями и основываясь на физической сущности явлений, происходящих при пробое газов.

При анализе результатов необходимо указать, каким образом влияет характер электрического поля и длина промежутка на электрическую прочность воздуха.

Вопросы:

1. При какой форме электродов величина электрической прочности наибольшая?
2. Какова величина электрической прочности воздуха при нормальных условиях в случае равномерного поля?
3. Какая форма электродов способствует увеличению пробивного напряжения и почему?
4. Почему при равных условиях промежуток игла-игла оказывается прочнее

промежутка игла-плоскость?

5. Что такое напряженность и начальное напряжение?

Лабораторная работа №6

Определение электрической прочности волокнистых диэлектриков

Цель работы: научиться опытным путём определять электрическую прочность различных волокнистых материалов, знать значения электрической прочности наиболее распространённых волокнистых материалов.

1 Теоретическая часть

Если в ходе повышения приложенного к изоляции напряжения напряжённость электрического поля в диэлектрике превышает некоторое критическое значение, то диэлектрик теряет свои электроизоляционные свойства.

Сквозной ток, протекающий через диэлектрик, резко возрастает до 10 А/м, а сопротивление диэлектрика уменьшается до такого значения, что происходит короткое замыкание электродов. Это явление называют пробоем диэлектрика. Значение напряжения в момент пробоя $U_{пр}$ называют пробивным напряжением, напряжённость электрического поля $E_{пр}$ - электрической прочностью.

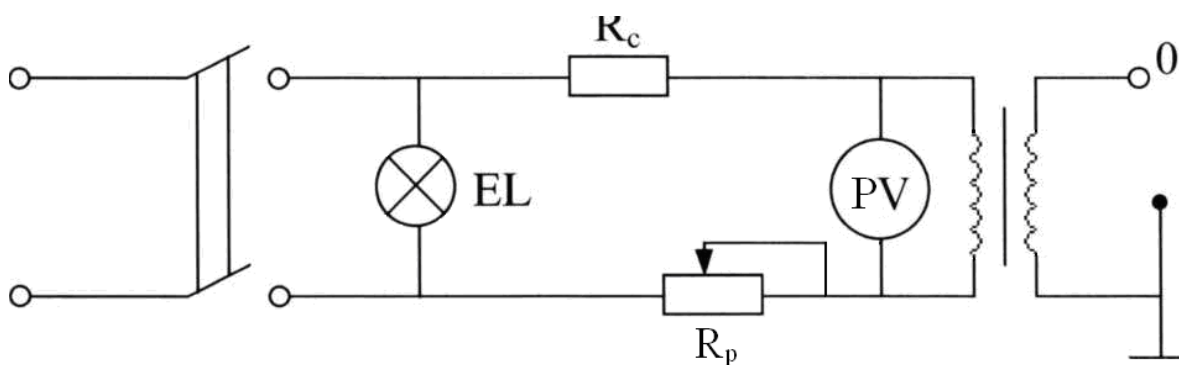
Экспериментально определяемая величина $E_{пр}$ зависит от толщины образца диэлектрика, формы и площади электродов, скорости подъёма и времени воздействия приложенного напряжения.

В электротехнике широко используются материалы, которые преимущественно или целиком состоят из частиц удлинённой формы - волокон. Достоинством волокнистых материалов является хорошая механическая прочность, недостатком - невысокая электрическая прочность. Из волокнитов чаще всего используются дерево, бумага (кабельная, пропиточная, намоточная, конденсаторная), электрокартон, фибра, лакобумага, лакоткань. Электрические свойства волокнистых материалов улучшаются пропиткой лаками, смолами и др.

2 Приборы и оборудование:

- аппарат типа АИИ - 70;
- образцы волокнистых материалов.

3 Электрическая схема



4 Порядок выполнения работы:

Перед выполнением лабораторной работы под руководством преподавателя ознакомиться с устройством лабораторного стенда и с правилами техники безопасности при проведении лабораторных работ. Волокнистые диэлектрики испытывают переменным напряжением частотой 50 Гц. Испытания проводят аппаратом типа АИИ-70 (без кенотронной приставки). Заземлить аппарат.

Кнопкой «сеть» - включить аппарат. Стрелка киловольтметра должна быть в положении 0 . При необходимости установить стрелку в положение 0 , нажав кнопку «Напряжение».

Открыть ограждение. Тумблером «Электроды» - разомкнуть электроды, положить волокнистый диэлектрик на нижний электрод, включить тумблер «Электроды», закрыть ограждение. Кнопкой «Трансформатор» - подключить лабораторный стенд к испытательному трансформатору.

Нажать кнопку «Напряжение». При этом напряжение автоматически будет повышаться до пробоя диэлектрика. В момент пробоя срабатывает автоматический выключатель, разрывая цепь первичной обмотки испытательного трансформатора. Отсчёт ведётся по шкале киловольтметра, градуированной в киловольтах эффектив-

ных. Записать показания киловольтметра в момент пробоя. Для каждого образца за-
мерить пробивное напряжение 3 раза и вычислить среднее значение. Вычислить
электрическую прочность по формуле:

$$E_{\text{пр}} = \frac{U_{\text{пр.ср}}}{h}, \text{ кВ/мм} \quad (1)$$

где h - толщина диэлектрика, мм

10 Результаты измерений и вычислений записать в таблицу 6.1

Таблица 6.1

№ пп	Форма электродов	Измеряются				Вычисляются	
		h	$U_{\text{пр1}}$	$U_{\text{пр2}}$	$U_{\text{пр3}}$	$U_{\text{ср}}$	$E_{\text{пр}}$
		мм	кВ	кВ	кВ	кВ	кВ/мм

11 После окончания испытаний необходимо:

- установить испытательное напряжение в нулевое положение;
- открыть ограждение;
- разомкнуть блок-контакты;
- извлечь образец;
- закрыть ограждение;
- отключить установку от сети.

5 Анализ проведенной лабораторной работы

Сделать сравнительную характеристику электрической прочности различных
твердых диэлектриков.

Вопросы:

1. Как происходит пробой волокнистых диэлектриков?

2. Дать определение пробивного напряжения и электрической прочности.
3. Каким образом можно увеличить электрическую прочность волокнистых диэлектриков?

Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы

1 Печатные издания

1. Филиков В.А. Электротехнические и конструкционные материалы / В.А. Филиков, В.Н. Бородулин, А.С. Воробьев. – М.: Академия, 2018. – 304 с.
2. Фетисов Г.П. Материаловедение и технология материалов. В 2 ч. Часть 1: учебник для СПО – 8-е издание, пер. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2018. - 386 с.
3. Фетисов Г.П. Материаловедение и технология материалов. В 2 ч. Часть 2: учебник для СПО – 8-е издание, пер. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2018. - 389 с.

2 Электронные издания (электронные ресурсы)

1. Единое окно доступа к образовательным ресурсам <http://window.edu.ru/>
2. Министерство образования и науки РФ ФГАУ «ФИРО» <http://www.firo.ru/>
3. Электронно-библиотечная система издательства «Юрайт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://urait.ru> – Доступ по логину и паролю.

3 Дополнительные источники

1. Вишневецкий Ю.Т. Материаловедение для технических колледжей: Учебник. – М.: Дашков и Ко, 2008.
2. Справочник по конструкционным материалам. / Под ред. Арзамасова Б.Н. – М.: МГТУ им. Баумана, 2009.
3. Чумаченко Ю.Т. Материаловедение: Учебник для СПО. – Ростов н/Д.: Феникс, 2009.
4. Журавлева Л.В. «Электроматериаловедение»: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Л.В. Журавлева. – 10-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 352 с.

Журнал «Электрик», издатель ООО «С – Инжиниринг»

