

БПОУ ВО «Грязовецкий политехнический техникум»

**ПРАКТИЧЕСКИЕ (ЛАБОРАТОРНЫЕ)
РАБОТЫ**
по учебной дисциплине:
ОП. 03 «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

Специальность: 35.02.08

Электрификация и автоматизация сельского хозяйства

г. Грязовец
2018 г.

Рассмотрено

цик洛вой комиссией по общепрофессиональным
дисциплинам и профессиональным модулям
отделения «Электрификация
и автоматизация сельского хозяйства»

Согласовано

зам. директора по ОМР

С Е. А. Ткаченко
« 30 » августа 2018 г.

Протокол № 1 от « 30 » августа 2018 г.

Председатель комиссии:

Н Т. В. Невзорова

Пояснительная записка

Пакет инструкционных карт разработан на основании программы учебной дисциплины ОП.03 «Материаловедение» для специальности 35.02.08 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства».

В результате изучения дисциплины «Материаловедение» студент должен уметь:

- ✓ распознавать и классифицировать конструкционные, электротехнические и сырьевые материалы по внешнему виду, происхождению, свойствам;
- ✓ подбирать материалы по назначению и условиям эксплуатации для выполнения работ;
- ✓ выбирать и расшифровывать марки конструкционных материалов;
- ✓ определять твёрдость материалов;
- ✓ определять режимы отжига, закалки и отпуска стали;
- ✓ подбирать способы и режимы обработки металлов (литьём, давлением, сваркой, резанием и др.) для изготовления различных деталей.

При изучении дисциплины необходимо постоянно обращать внимание на необходимость проведения практических занятий, так как практические навыки могут быть использованы в будущей профессиональной деятельности.

Курс учебной дисциплины ОП.03 «Материаловедение» по рассчитан на 115 часов максимальной нагрузки, из них 38 часов – практические работы.

Практические занятия проводятся целой группой. Студент работают в паре по инструкционным картам. Все практические работы оформляются в отдельную рабочую тетрадь. Практические занятия рассчитаны на 2 часа, что отражено в тематическом плане.

Перечень практических работ и отрабатываемых профессиональных и общих компетенций

№ п/п	Название практической работы	Профессиональные и общие компетенции
1.	Исследование конструкционных материалов для распознавания и классификации их по внешнему виду и происхождению.	ОК 1-9 ПК 1.1-4.4
2.	Выбор и расшифровка марки конструкционных материалов.	ОК 1-9 ПК 1.1-4.4
3.	Определение твёрдости материалов.	ОК 1-9 ПК 1.1-4.4
4.	Определение удельной ударной вязкости материалов.	ОК 1-9 ПК 1.1-4.4
5.	Исследование зависимости электропроводности полупроводника от различной концентрации примесей.	ОК 1-9 ПК 1.1-4.4
6.	Исследование электротехнических материалов для распознавания и классификации их по внешнему виду и происхождению.	ОК 1-9 ПК 1.1-4.4
7.	Исследование схемы возникновения термоЭДС.	ОК 1-9 ПК 1.1-4.4
8.	Приготовление электролитов для аккумуляторов и определение плотности электролитов.	ОК 1-9 ПК 1.1-4.4
9.	Механические испытания электроизоляционных материалов на растяжение и сжатие.	ОК 1-9 ПК 1.1-4.4
10.	Определение дугостойкости диэлектриков.	ОК 1-9 ПК 1.1-4.4
11.	Определение удельных электрических сопротивлений твёрдых диэлектриков.	ОК 1-9 ПК 1.1-4.4
12.	Измерение диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь твёрдых диэлектриков.	ОК 1-9 ПК 1.1-4.4
13.	Определение электрической прочности твёрдых диэлектриков.	ОК 1-9 ПК 1.1-4.4
14.	Определение нагревостойкости твёрдых диэлектриков по консольному способу (способ Мартенса).	ОК 1-9 ПК 1.1-4.4
15.	Определение температуры вспышки трансформаторного масла.	ОК 1-9 ПК 1.1-4.4
16.	Определение электрической прочности жидких диэлектриков.	ОК 1-9 ПК 1.1-4.4
17.	Определение условной вязкости жидких диэлектриков.	ОК 1-9 ПК 1.1-4.4
18.	Определение электрической прочности воздуха в равномерном и неравномерном электрических полях.	ОК 1-9 ПК 1.1-4.4

19.	Определение температуры размягчения и температуры каплепадения аморфных диэлектриков.	ОК 1-9 ПК 1.1-4.4
	Всего практических работ	19

БПОУ ВО «Грязовецкий политехнический техникум»

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА

*на выполнение практической работы
по учебной дисциплине ОП.03 «Материаловедение»*

Практическая работа

«Исследование конструкционных материалов для распознавания и классификации их по внешнему виду и происхождению»

по специальности 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского
хозяйства

Тема: Исследование конструкционных материалов для распознавания и классификации их по внешнему виду и происхождению.

Цель: получение практических навыков при распознании и классификации конструкционных и сырьевых материалов по внешнему виду, происхождению, свойствам.

Оборудование: образцы конструкционных и сырьевых материалов, справочные материалы.

Краткие теоретические сведения

Конструкционные материалы — основные виды материалов, из которых изготавливаются машины, оборудование, приборы, сооружаются каркасы зданий, мосты и другие конструкции и которые несут основную силовую нагрузку при их эксплуатации. Конструкционные материалы классифицируются по широкому кругу признаков: по применяемости в машиностроении, в строительстве; по природе образования металлические, неметаллические, композиционные; по реакции на внешние воздействия горючие, коррозионно-устойчивые, жаростойкие, хладостойкие; по свойствам, проявляемым при различных методах обработки, пластичные, тугоплавкие, свариваемые, склонные к образованию трещин, закаливаемые и т. д.; по способам получения сплавы, прессованные, катаные, тканые, формованные, пленки.

Важными показателями конструкционных материалов являются их прочностные качества — сопротивление сжатию, растяжению, работа на изгиб, выносливость при вибрационных нагрузках, а также ряд специальных свойств, учитываемых при проектировании машин, оборудования, строительных сооружений. Среди них легкость при определенных прочностных качествах, сопротивляемость износу, электро- и теплопроводность, способность пропускать газы и др. Все углеродистые качественные конструкционные стали условно можно разделить на несколько групп.

Микроструктура серых чугунов рассматривается в травленном и нетравленом виде. В структуре обязательно присутствует пластинчатый графит. На величину и расположение включений графита влияют скорость охлаждения, температура и время выдержки расплавленного чугуна перед отливкой, содержание примесей.

В травленном виде металлическая основа серых чугунов очень сходна с микроструктурой сталей и в зависимости от количества связанного углерода может быть ферритной, феррито - перлитной и перлитной. При повышенном содержании фосфора в серых чугунах имеется фосфидная эвтектика.

Часть углерода в половинчатых чугунах находится в свободном состоянии. Металлическая основа чугуна зависит от количества связанного углерода. Она может быть перлит + цементит вторичный или ледебурит + перлит.

В высокопрочных чугунах могут быть те же типы структур, которые указаны для серых чугунов, но графит в этих чугунах шаровидный.

Металлическая основа ковкого чугуна может быть ферритной, феррито-перлитной и перлитной. К ней добавляется хлопьевидный графит (углерод отжига).

Микроструктуры серых, половинчатых, высокопрочных и ковких чугунов

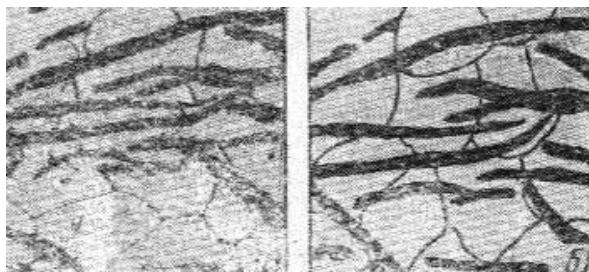


Рис.1.Ферритный серый чугун – феррит + пластиначатый графит

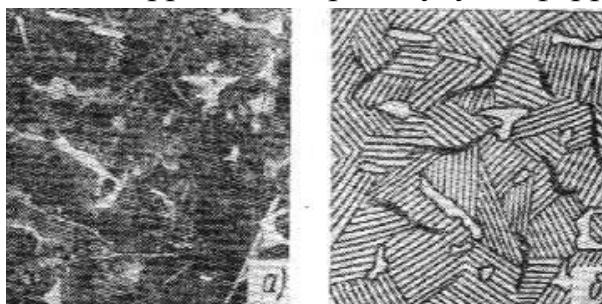


Рис.2.Половинчатый чугун – перлит+цементит (вторичный) + пластиначатый графит

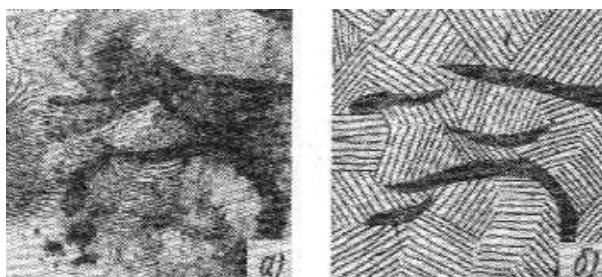


Рис.3.Перлитный серый чугун – перлит + пластиначатый графит

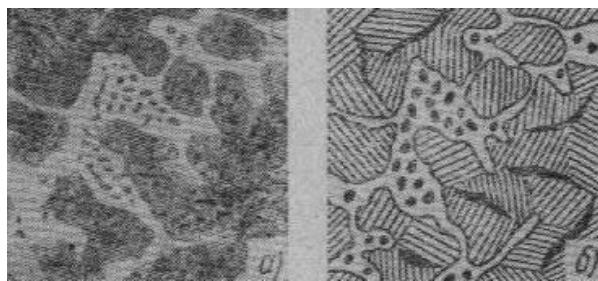


Рис.4.Половинчатый чугун – ледебурит + перлит + пластинчатый графит

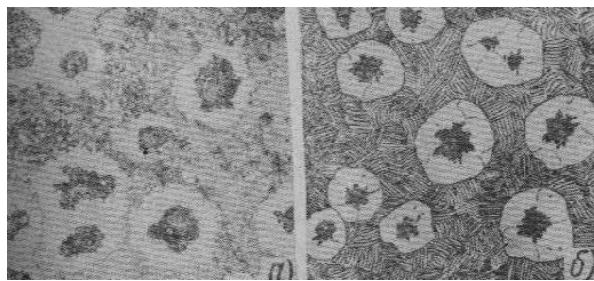


Рис.5. Феррито-перлитный высокопрочный чугун – феррит + перлит + шаровидный графит

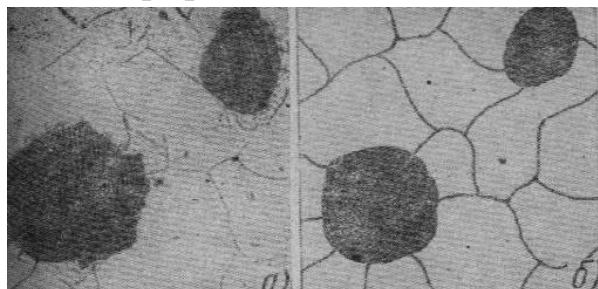


Рис.6. Ферритный высокопрочный чугун – феррит + шаровидный графит

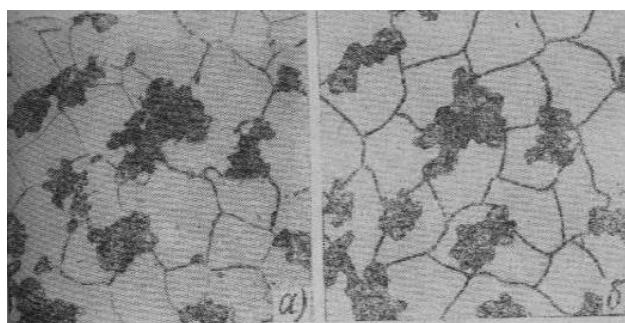


Рис. 7.Ферритный ковкий чугун – феррит + хлопьевидный графит

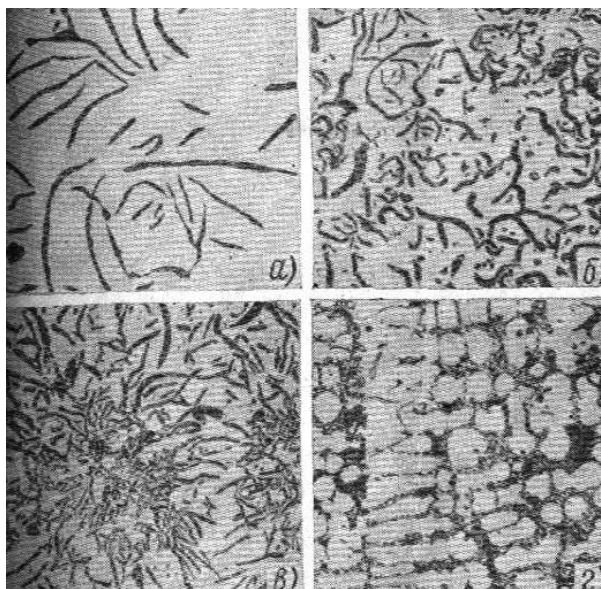


Рис.8. Включения пластинчатого графита:

а – прямолинейные, б – завихренные,
в – розеточные, г – междендритные.

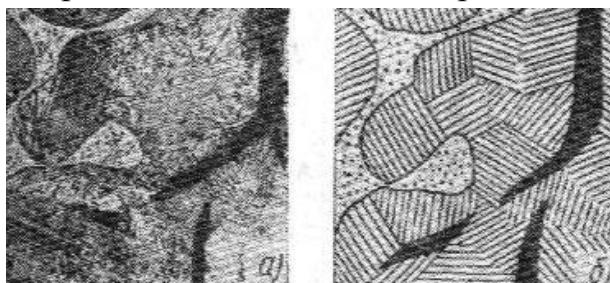


Рис.9. Серый чугун с фосфидной эвтектикой – перлит + пластинчатый графит + фосфидная эвтектика

Выполнение работы

1. Изучите краткие теоретические сведения.

2. Внимательно изучите внешние особенности предложенных образцов, проанализируйте их свойства. По результатам заполните таблицу.

Таблица: Анализ внешних особенностей и свойств материалов

№ п/п	Наименование материала	Внешние признаки	Характерные свойства

4. Проведите испытания материалов по простукиванию с целью определения наличия несплошностей в детали.

3.Сделайте необходимые выводы по результатам анализа свойств.

Контрольные вопросы

- 1.Где применяют конструкционные материалы?
- 2.Как классифицируются конструкционные материалы?
- 3.Какие показатели качества характерны конструкционным материалам?
- 4.Какие свойства и качества анализируются при выборе материала для детали?
- 5.Как связана свариваемость с химическим составом материала?
- 6.Что влияет на обрабатываемость давлением?
- 7.Чем повышают износостойкость материалов и изделий?
- 8.Чем повысить качество сталей?
- 9.Какие по качеству стали доступнее: углеродистые или легированные?
- 10.Как классифицируются чугуны в зависимости от вида углерода?
- 11.Где применяют серые чугуны?
- 12.Как получают ковкий чугун?
- 13.Какую структуру имеют половинчатые чугуны?
- 14.Что такое углерод отжига?

БПОУ ВО «Грязовецкий политехнический техникум»

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА

*на выполнение практической работы
по учебной дисциплине ОП.03 «Материаловедение»*

Практическая работа «Выбор и расшифровка марки конструкционных материалов»

по специальности 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского
хозяйства

Тема: Выбор и расшифровка марки конструкционных материалов.

Цель работы: изучение классификации, состава и маркировки конструкционных материалов.

Теоретическая часть

В различных отраслях промышленного производства наибольшее применение получили чёрные металлические сплавы – стали и чугуны.

Сталь - сплав железа с углеродом (до 2,14%), всегда содержит в определенных количествах постоянные примеси: марганец, кремний, серу, фосфор и газы (кислород, азот, водород).

Чугун - сплав железа с углеродом (более 2,14% до 6,67%). Чугун также содержит постоянные примеси и газы.

И в стали, и в чугуны вводят различные легирующие элементы с целью повышения механических характеристик и получения специальных свойств.

КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА СТАЛЕЙ

Стали классифицируют по следующим признакам: химическому составу, способу производства, качеству, степени раскисления, назначению и структуре.

По химическому составу различают стали углеродистые и легированные. Сталь, содержащая железо, углерод и постоянные примеси в количестве до 0,5-0,8%Mn; 0,3-0,4%Si (содержание серы и фосфора определяются качеством стали) называется углеродистой.

Если же в процессе выплавки стали к ней добавляют легирующие элементы - хром, никель, ванадий и др., а также марганец и кремний в повышенном количестве по сравнению с углеродистой, то такую сталь называют *легированной*.

Углеродистые стали по содержанию в них углерода подразделяют на низкоуглеродистые (до 0,3% С), среднеуглеродистые (0,3 – 0,7%С) и высокоуглеродистые (более 0,7% С).

Легированные стали в зависимости от наличия в них легирующих элементов называют хромистыми, кремнистыми, хромоникелевыми и т.п., а в зависимости от общего содержания легирующих элементов подразделяют на низколегированные - до 3 %, среднелегированные от 3 до 10 % и высоколегированные - более 10 %.

По способу производства различают стали мартеновские (выплавка в мартеновских печах) – переработка чугуна, металлического лома и отходов металлургического производства; бессемеровские (конвертерные) – выплавляемые в конверторах с продувкой кислородом, однородны по составу, имеют низкое содержание азота, серы и фосфора; электростали, выплавляемые в электрических печах, по качеству превосходят все остальные виды и, наконец, стали особых методов выплавки (индукционный нагрев, магнитное перемешивание и т.д.).

По качеству стали классифицируют на обычновенного качества, качественные, высококачественные и особо высококачественные.

Критерием качества стали является, главным образом, содержание вредных примесей - серы и фосфора. Стали обычновенного качества содержат до 0,060 % S и 0,070 % P, качественные - до 0,040 % S и 0,035 % P, высококачественные - не более 0,025 % S и 0,025 % P, а особо высококачественные - не более 0,015 % S и 0,025 % P.

Необходимо отметить, что углеродистые стали могут быть обычновенного качества и качественные, а легированные только качественные или высококачественные (особо высококачественные).

По степени раскисления стали делят на спокойные (сп) - полностью раскисленные ферромарганцем, феррокремнием и алюминием; кипящие (кп) - частично раскисленные только ферромарганцем, в ней сохраняется много окиси железа, которая взаимодействует с углеродом, выделяя газ CO (пузырьки газа создают впечатление "кипения"); полуспокойные (пс) - раскисленные ферромарганцем и алюминием - промежуточное положение между кипящей и спокойной сталью. Степень раскисления стали указывается в конце обозначения марки, например, Ст3кп, БСт2пс, ВСт1сп.

По назначению стали подразделяют на конструкционные (для изготовления деталей машин и конструкций), инструментальные (для различного рода инструмента) и специальные стали с особыми свойствами (с коэффициентом расширения, магнитные и др.).

Маркировка стальей

Для стальей в России принята буквенно-цифровая маркировка. Цифры и буквы указывают на приблизительный состав стали.

1. Углеродистые конструкционные стали обычновенного качества в соответствии с ГОСТ380-88 поставляют трех групп:

- группа А - с гарантированными структурой и механическими свойствами ($\sigma_b, \sigma_t, \delta$);
- группа Б - с гарантированным химическим составом, допускается наличие хрома, никеля, меди в количестве не более 0,30 % каждого элемента;
- группа В - с гарантированными механическими свойствами и химическим составом.

Маркируют стали обычновенного качества буквами Ст и условным номером от 0 до 6.

Если сталь относится к группе А, то обозначение группы в марке не указывают: Ст0, Ст1, Ст2...Ст6.

Если сталь относится к группе Б, то в начале марки ставят букву "Б": БСт0, БСт1 ... БСт6.

Стали группы В маркируют: ВСт1, ВСт2 ... ВСт5.

Стали всех групп с номером марок 1 - 4 производят кипящими, полуспокойными и спокойными, а с номерами 5 и 6 - только полуспокойными и спокойными.

Стали обычного качества используют для изготовления листов, полос, прокатных профилей, труб, а также для деталей в мостостроении и судостроении.

2. Углеродистые качественные конструкционные стали (ГОСТ1050-88) обозначают двузначным числом, показывающим среднее содержание углерода в стали в сотых долях процента. Например, стали марок 08, 20, 45 содержат в среднем соответственно 0,08%; 0,20%; 0,45% углерода.

Из них может быть изготовлена большая номенклатура деталей от шайб, втулок, шестерён, шпинделей, шатунов до деталей, работающих в условиях трения (рессоры и пружины).

3. Углеродистые качественные инструментальные стали (ГОСТ1435-90) маркируют следующим образом: впереди ставят букву У, за ней цифру (от 7 до 13), указывающую среднее содержание углерода в десятых долях процента. Например, сталь марки У9 содержит в среднем 0,9 % С; У12 - 1,2 % С и т.д.

Для высококачественных углеродистых инструментальных сталей в конце обозначения марки стали ставят букву А. Например, У7А, У13А.

Из этих сталей может быть изготовлен режущий инструмент – резцы, напильники и др., работающий с небольшими скоростями резания, а также штампы для холодного деформирования для обработки малопрочных материалов.

4. Легированные конструкционные стали (ГОСТ 4543-71) маркируют двухзначным числом, показывающим среднее содержание углерода в сотых долях процента, далее следуют буквы и цифры. Буквы обозначают легирующие элементы (например, Б – ниобий, В – вольфрам, Г – марганец, Д – медь, К – кобальт, М – молибден, Н – никель, Р – бор, С – кремний, Т – титан, Ф – ванадий, Х – хром, Ю – алюминий). Цифры после букв показывают примерное содержание соответствующего легирующего элемента в целых процентах. Если цифра после буквы отсутствует, это означает, что содержание данного легирующего элемента в стали составляет примерно 1 %. Для высококачественных сталей в конце обозначения марки ставят букву А. Например, сталь марки 12Х2Н4А содержит в среднем 0,12 % С, ≈2 % Cr, ≈4 % Ni и является высококачественной.

Конструкционные легированные стали широко применяются в автомобильной промышленности, строительстве и тяжёлом машиностроении для деталей машин и механизмов, работающих в условиях сложного нагружения под действием статических, динамических и знакопеременных нагрузок.

5. Легированные инструментальные стали (ГОСТ 5950-73) маркируют однозначным числом, показывающим среднее содержание углерода в десятых

долях процента, далее следуют буквы и цифры. Принцип обозначения легирующих элементов и их содержание в этих сталях аналогичен с маркировкой конструкционных. Если же сталь начинается с буквы (кроме буквы У), то в стали около 1 % С. Например, сталь марки 9ХС содержит в среднем 0,9 % С, ≈1 % Cr, ≈1 % Si; сталь марки ХВГ содержит ≈1 % С, ≈1 % Cr, ≈1 % W, ≈1 % Mn.

Инструментальные легированные стали применяют для изготовления всех видов инструментов: режущего (резцы, развёртки, протяжки), штампованного (штампы для холодного и горячего деформирования), измерительного (калибры, меры, шаблоны).

6. Специальные стали это высоколегированные стали, в которых содержание легирующих элементов более 10 %, обладающие особыми свойствами, например, коррозионностойкие стали (ГОСТ 5632-72), обладающие высокой химической стойкостью в агрессивных средах. В состав коррозионностойкой стали обязательно входят хром и никель, причём содержание хрома должно быть более 12 %, а маркировка сохраняет принципы маркировки легированных сталей: сталь марки 17Х18Н9 содержит 0,17 % С, ≈18 % Cr, ≈9 % Ni.

Эти стали применяют для изготовления клапанов гидропрессов, лопаток турбин, карбюраторных игл и других деталей машин, подвергающихся действию атмосферных осадков, воды, водных растворов солей и других агрессивных сред при комнатной температуре или до 400° С.

Некоторые специальные стали имеют маркировку, отличающуюся от вышеизложенных правил:

- углеродистые автоматные стали (ГОСТ 1414-75) с повышенным содержанием серы и фосфора, а иногда с добавлением небольшого количества Pb, Ca, Mn и др., обладающие хорошей обрабатываемостью резанием, применяют для изготовления деталей на металлорежущих станках-автоматах. Автоматные стали маркируют буквой А и цифрами, указывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента; например, А12 - автоматная сталь с содержанием углерода в среднем 0,12%;

- шарикоподшипниковые стали (ГОСТ 801-83) применяют для изготовления подшипников качения и других деталей, работающих в условиях трения, должны обладать высокой контактной прочностью и износостойкостью, содержат около 1% С с обязательным наличием хрома (0,4-1,9 %). Шарикоподшипниковые стали маркируются буквой "Ш", далее буква "Х" – хром, содержание которого указывается в десятых долях процента. Из этих сталей изготавливают шарики и ролики подшипников, подшипниковые кольца, корпуса и направляющие;

- быстрорежущие стали (ГОСТ 19265-73) применяют для изготовления режущего инструмента (резцы, свёрла, фрезы и т.д.), работающего при высоких скоростях резания. Марки этих сталей обозначают русской буквой Р (rapid -

быстрый), а следующая за ней цифра указывает среднее содержание основного легирующего элемента вольфрама в процентах. Например, Р18 - быстрорежущая сталь, содержащая около 1 % С и 18 % W, а также ≈ 4 % Cr и около 2,5 % V, но это не внесено в марку;

- стали, применяемые для получения отливок (ГОСТ 977-88), имеют в своем обозначении букву Л. Например, 15Л - сталь для отливок, содержащая в среднем 0,15 % С. Из этих сталей отливают втулки, шестерни и т.д.

КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА ЧУГУНОВ

По сравнению со сталью, чугун имеет более высокое содержание углерода (практически от 2 до 4 %). Углерод в чугуне может находиться в двух состояниях: в связанном - в виде химического соединения Fe_3C , которое называется цементит, либо в свободном - в виде графита.

В зависимости от состояния углерода в чугуне различают:

- *белый чугун*, в котором весь углерод находится в связанном состоянии. Название он получил по цвету излома. Имеет высокую твердость, хрупкость, практически не поддается обработке резанием и поэтому не нашел применения в качестве конструкционного материала и используется для передела в сталь и ковкий чугун;

- *серый чугун*, в котором весь углерод или его большая часть находится в свободном состоянии в виде графита пластинчатой формы, а остальная часть - в связанном состоянии в виде карбида железа Fe_3C . В изломе имеет темно-серый цвет. Серый чугун маркируется (ГОСТ 1412-85) буквами СЧ с добавлением цифры, которая указывает предел прочности чугуна при растяжении (σ_B). Например, СЧ20 - серый чугун, имеющий $\sigma_B = 200$ МПа или 20 кгс/мм².

Серый чугун широко применяется в машиностроении как конструкционный материал для изготовления станин станков, тормозных барабанов, поршневых колец и т.д.;

- *ковкий чугун*, в котором весь углерод или его большая часть находится в свободном состоянии в виде графита хлопьевидной формы. Ковкий чугун маркируют (ГОСТ 1215-59) буквами КЧ и двумя числами. Первое обозначает предел прочности при растяжении (σ_B) в кг/мм², второе - относительное удлинение (δ), %. Например, КЧ35-10 - ковкий чугун, имеющий $\sigma_B = 350$ МПа (35 кгс/мм²) и $\delta = 10\%$;

Ковкие чугуны имеют более высокие характеристики пластичности по сравнению с другими чугунами (но это не значит, что его можно ковать). Применяется ковкий чугун для изготовления деталей, работающих при средних и высоких статических нагрузках (картеры автомобиля, ступицы, кронштейны, муфты и т.д.);

- *высокопрочный чугун*, в котором весь углерод или его большая часть находится в свободном состоянии в виде графита шаровидной формы. Имеет самые высокие прочностные свойства по сравнению с другими чугунами. Применяется для деталей машин, работающих в тяжелых условиях (в тяжёлом машиностроении – шабот молота, траверс пресса, прокатные валки и т.д.). Высокопрочный чугун маркируется (ГОСТ 7293-85) буквами ВЧ и цифрами, обозначающими предел прочности чугуна при растяжении (σ_B), например, ВЧ50 - высокопрочный чугун, имеющий $\sigma_B = 500 \text{ МПа} (50 \text{ кгс}/\text{мм}^2)$.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получить от преподавателя индивидуальное задание по классификации и маркировке сталей и чугунов (табл. 1).
2. Расшифровать обозначение каждой марки стали и чугуна. Указать, какой является сталь по содержанию углерода (низко-, средне- или высокоуглеродистой), по степени легированности (низко-, средне- или высоколегированной), качеству, назначению. Результат работы свести в табл.
3. Представить оформленный отчет по работе и ответить на контрольные вопросы.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование и цель работы.
2. Краткое описание системы классификации и маркировки сталей и чугунов.
3. Результаты выполнения задания (табл. 2).
4. Ответить на контрольные вопросы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое сталь, чугун и их характеристики?
2. Как классифицируются стали по химическому составу?
3. Как классифицируются стали по содержанию углерода?
4. Как классифицируются стали по степени легированности?
5. Как можно подразделить стали по назначению?
6. Как классифицируются стали по способу производства, степени раскисления?
7. Как маркируются углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества, качественные и высококачественные стали?
8. Как маркируются углеродистые инструментальные стали?
9. Что такое легированная сталь?
10. Как маркируются легированные стали?

11. Что такое белый, серый, высокопрочный и ковкий чугуны, их характеристики, назначение?

12. Как маркируются серые, высокопрочные и ковкие чугуны?

13. В чём заключается основное отличие структуры белых и серых чугунов, причины этого отличия?

ВАРИАНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАНЯТИЙ

Таблица 1. *Марки сталей и чугунов*

<i>вариант</i>	<i>Марки сплавов для изучения</i>					
1	Ст0	08кп	09Г2	У7	СЧ10	40ХЛ
2	Ст1пс	10	09Г2С	У7А	15Л	СЧ15
3	Ст2кп	15	30ХГТ	У8	20Л	СЧ20
4	Ст3	20	12Х2Н4А	У8А	25Л	СЧ25
5	БСт1кп	25	25ХГМ	У9	30Л	СЧ30
6	БСт2пс	30	40ХН	У9А	35Л	СЧ35
7	БСт3	35	38ХМА	У10	40Л	ВЧ40
8	Ст5	40	20Х	У10А	ВЧ45	35ГЛ
9	Ст6	45	12ХН3А	У12	ВЧ50	40ХЛ
10	БСт3кп	55	38ХГН	У12А	ВЧ60	КЧ60-3
11	ВСт4сп	60	30ХГСА	Р9	20Х13	КЧ30-6
12	БСт5пс	09Г2	У7	12Х18Н9Т	40Л	КЧ63-2
13	ВСт5сп	14Г2	ШХ15	У13	35Л	КЧ50-4
14	БСт6пс	15ГФ	ШХ20СГ	У13А	30Л	КЧ45-6
15	ВСт6	17ГС	ШХ15СГ	Х12М	12Х13	КЧ35-10
16	БСт4	35ГС	40ХФА	ХВГ	25Л	КЧ33-8
17	ВСт1сп	09Г2С	50ХФА	Р18	СЧ30	35ГЛ
18	Ст2пс	25Г2С	65	30Х13	У13А	КЧ60-3
19	Ст4кп	15Х	18ХГТ	60Г	У13	КЧ63-2
20	БСт2кп	20Х	15Г	9ХС	20Х13	КЧ50-4
21	БСт3	30Х	70	50ХФА	Р9	КЧ45-6

22	БСт6пс	35Х	60Г	08Х17Т	ХВГ	КЧ35-10
23	ВСт5сп	38ХА	75	У12	СЧ10	40ХЛ
24	БСт5пс	40Х	ШХ15СГ	70	08Х18Н10	КЧ30-6
25	ВСт4сп	40Г	30ХМ	У10	40Л	ВЧ60
26	БСт3кп	35ГС	55С2	У9А	12Х18Н9Т	ВЧ50
27	Ст6	60С2	У9	Х12Ф1	25Л	ВЧ45
28	Ст5	09Г2	12ХН3А	У9	35Л	ВЧ40

Таблица 2

Результаты работы по классификации и маркировке сталей и чугунов

<i>Марка материала</i>	<i>Наименование материала</i>	<i>Расшифровка материала</i>	<i>Качество стали</i>	<i>Назначение материала</i>

БПОУ ВО «Грязовецкий политехнический техникум»

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА

*на выполнение лабораторной работы
по учебной дисциплине ОП.03 «Материаловедение»*

Лабораторная работа

«Определение твердости материалов»

по специальности 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского
хозяйства

Тема работы: «Определение твердости материалов»

Цель работы:

Ознакомление с методами испытания электроизоляционных материалов на твердость, определение и сравнение величин твердости различных материалов.

Введение:

Твердость – это сопротивление материала проникновению в его поверхность стандартного тела (индентора), не деформирующегося при испытании.

При проектировании и производстве машин, механизмов, инструментов те или иные детали должны обладать определенными механическими свойствами. Механические свойства металлов характеризуют сопротивление материала деформации и разрушению под действием внешних нагрузок. Практически все методы определения механических свойств являются разрушающими. Для проведения испытаний необходимы специальные машины, процессы испытания довольно длительны, особенно если учесть весьма продолжительный процесс изготовления специальных образцов.

Механические и физические свойства зависят от многих факторов: от состава материала, вида обработки (пластической деформации, термической обработки), поэтому в процессе изготовления тех или иных деталей необходимо контролировать свойства, особенно механические. Методы испытания механических свойств не могут быть использованы на промежуточных стадиях изготовления деталей вследствие длительности и дороговизны изготовления образцов, длительности самого процесса испытания. В этом случае пользуются методами определения твердости.

Твердость имеет большое практическое значение, так как она отражает многие рабочие свойства материала, например, сопротивляемость истиранию, режущие свойства, способность обрабатываться шлифованием или резанием, выдерживать местные давления и т.д. Кроме того, по твердости можно судить и о других механических свойствах (например, о прочности на разрыв). Следовательно, между твердостью и другими свойствами материалов существует определенная связь, подтверждаемая практикой.

Широкое распространение испытаний материалов на твердость объясняется тем, что при этом не требуется изготовления специальных образцов; методика испытаний весьма проста и может осуществляться непосредственно на готовой детали без разрушения.

Большинство методов определения твердости основано на принципе вдавливания в испытуемый материал твердых тел (закаленного шарика, алмазного конуса или алмазной пирамиды) и последующего измерения размеров отпечатков. Поэтому часто твердость определяют, как способность материала сопротивляться внедрению в него другого тела. Однако такое

определение не является общим, так как существуют и другие методы определения твердости, основанные не на вдавливании, а на царапании, качании маятника, динамическом методе и других принципах.

Наиболее широко практикуются испытания твердости по Бринеллю, по Роквеллу, по Виккерсу и метод определения микротвердости. Во всех перечисленных методах при вдавливании индентора происходит пластическая деформация испытуемого материала под индентором. Чем больше сопротивление материала пластической деформации, тем на меньшую глубину проникает индентор и тем выше твердость.

Наибольшее распространение получили методы Бринелля, Роквелла, Виккерса и микротвердости. Схемы испытаний представлены на рисунке 1.

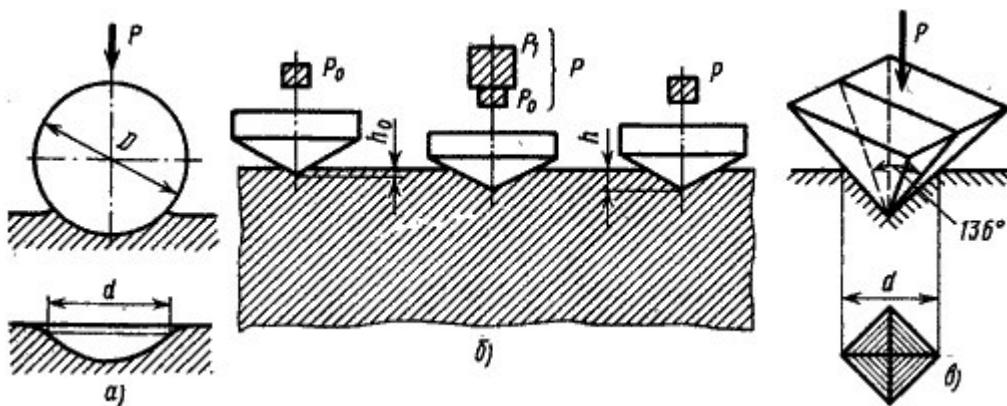


Рисунок 1. Схемы определения твердости:
а – по Бринеллю; б – по Роквеллу; в – по Виккерсу

По Бринеллю определяют твердость относительно мягких материалов: цветных металлов и их сплавов, отожженной стали, чугунов (кроме белого).

Этот способ универсальный и используется для определения твердости практически всех материалов.

В материал вдавливается стальной шарик, и значения твердости определяют по величине поверхности отпечатка, оставляемого шариком. Шарик вдавливают с помощью пресса.

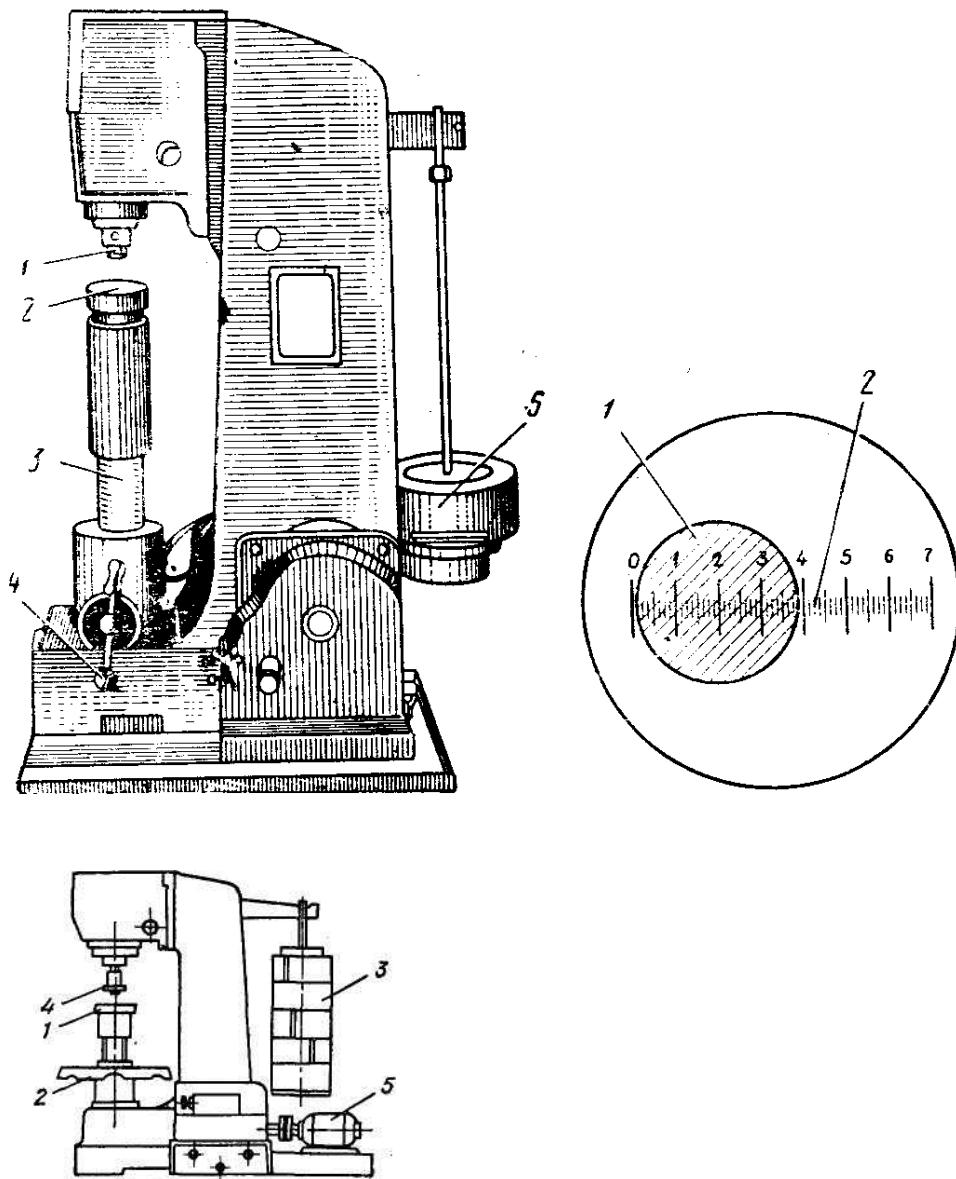


Рис.2. Схема прибора для получения твердости вдавливанием шарика (измерение по Бринеллю): 1 — столик для центровки образца; 2 — маховик; 3 — грузы; 4 — шарик; 5 — электродвигатель.

Испытуемый образец устанавливают на столике 1 в нижней части неподвижной станины пресса (рис. 2), зашлифованной поверхностью кверху. Поворотом вручную маховика 2 по часовой стрелке столик поднимают так, чтобы шарик мог вдавиться в испытуемую поверхность. В прессах с электродвигателем вращают маховик 2 до упора и нажатием кнопки включают двигатель 5. Последний перемещает коромысло и постепенно вдавливает шарик под действием нагрузки, сообщаемой привешенным к коромыслу грузом. Эта нагрузка действует в течение определенного времени, обычно 10-60 с, в зависимости от твердости измеряемого материала, после чего вал двигателя, вращаясь в обратную сторону, соответственно перемещает коромысло и снимает нагрузку. После автоматического выключения двигателя, поворачивая маховик 2 против часовой стрелки, опускают столик прибора и затем снимают образец.

В образце остается отпечаток со сферической поверхностью (лунка). Диаметр отпечатка измеряют лупой, на окуляре которой нанесена шкала с делениями, соответствующими десятым долям миллиметра. Диаметр отпечатка замеряют с точностью до 0,05 мм при вдавливании шарика диаметром 10 и 5 мм в двух взаимно перпендикулярных направлениях; для определения твердости следует принимать среднюю из полученных величин.

Устройство и принцип работы прибора Бринелля

На рис. 3 приведена принципиальная схема твердомера ТБ 5004.

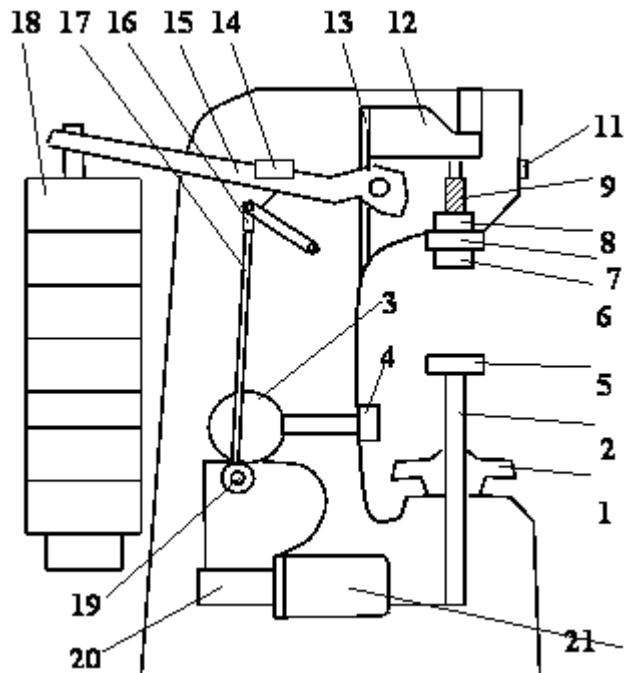


Рис.3. Схема прибора для определения твердости по Бринеллю

Основными частями прибора являются:

1. Шпиндель 6, в который вставляются сменные инденторы с шариками разного диаметра.

2. Подвеска 18 с набором грузов.

3. Маховик 1, перемещающий опорный столик 5 с образцом в вертикальном направлении.

4. Система рычагов 12, 15, 17-19, передающих нагрузку на испытуемый образец.

5. Электродвигатель 21, обеспечивающий работу прибора.

6. Пульт управления с переключателями режима работы, сигнальными лампами "контроль", "выдержка", "сеть", реле времени.

7. Кнопки "пуск" и "стоп".

Требования к образцам и приборам при определении твердости оговариваются соответствующими ГОСТами.

Стандарты предусматривают следующие основные требования при измерении твердости.

1) Поверхность испытуемого образца должна быть тщательно подготовлена и свободна от окалины и других посторонних веществ. При подготовке поверхности надо принять меры предосторожности против

возможного наклена или нагрева поверхностного слоя в результате механической обработки.

2) Испытуемый образец должен быть без короблений и лежать на столике прибора устойчиво. Необходимо обращать особое внимание на качество поверхности образца не только со стороны внедрения индентора, но и с обратной стороны, которой он кладется на предметный столик прибора – она должна быть ровной, без местных выступов (например, не допускается с этой стороны наличие даже мелких отпечатков от шарика, конуса или пирамиды). Это объясняется тем, что под действием нагрузки выступы будут сминаться, что приведет к кажущемуся уменьшению твердости в результате увеличения размера h . Требования этого пункта имеют особое значение при определении твердости по Роквеллу.

На приборе Бринелля проводятся 5 замеров. Образец с нанесенными отпечатками снимается с предметного столика пресса Бринелля. Измерение диаметров отпечатков производится с помощью специального отсчетного микроскопа на лабораторном столе. На рис. 4 показано изображение отпечатка, видимое в микроскоп (увеличение микроскопа обычно равно 24). Один из краев отпечатка необходимо совместить с нулевым штрихом шкалы и произвести отсчет по шкале с точностью до $1/2$ деления. Видимое в микроскоп расстояние между большими штрихами соответствует одному миллиметру. Полученный размер диаметра отпечатка записывают сразу в миллиметрах. Так, на рис. 4 имеем: $d=3,4$ мм. Результаты измерения диаметров отпечатков рекомендуется записать в таблицу, приведенную ниже.

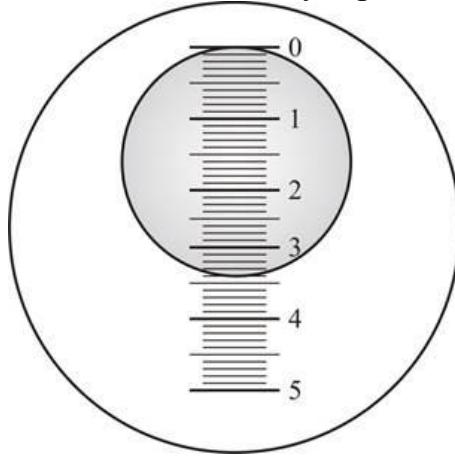


Рис.4. Изображение отпечатка, видимое в микроскоп

Определение числа твердости HB по диаметру отпечатка предлагается провести с помощью таблиц или рассчитать по формуле.

Число твердости по Бринеллю HB вычисляют по уравнению:

$$HB = \frac{P}{\frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})},$$

где P — нагрузка на шарик, $\text{кг} \cdot \text{с}$ ($1 \text{кг} \cdot \text{с} = 0,1 \text{ МПа}$); D — диаметр вдавливаемого шарика, мм ; d — диаметр отпечатка, мм . Получаемое число

твёрдости при прочих равных условиях тем выше, чем меньше диаметр отпечатка.

Однако получение постоянной и одинаковой зависимости между P и d , необходимое для точного определения твёрдости, достигается только при соблюдении определенных условий. При вдавливании шарика на разную глубину, т. е. с разной нагрузкой для одного и того же материала, не соблюдается закон подобия между получаемыми диаметрами отпечатка. Наибольшие отклонения наблюдаются, если шарик вдавливается с малой нагрузкой и оставляет отпечаток небольшого диаметра или вдавливается с очень большой нагрузкой и оставляет отпечаток с диаметром близким к диаметру шарика. Поэтому твёрдость материалов измеряют при постоянном соотношении между величиной нагрузки P и квадратом диаметра шарика D^2 . Это соотношение должно быть различным для материалов разной твёрдости.

В процессе вдавливания наряду с пластической деформацией измеряемого материала происходит также упругая деформация вдавливаемого шарика. Величина этой деформации, искажающей результаты определения, возрастает при измерении твёрдых материалов. Поэтому испытания вдавливанием шарика ограничивают измерением металлов небольшой и средней твёрдости (для стали с твёрдостью не более $HB = 450$).

Известное влияние оказывает также длительность выдержки металла под нагрузкой. Легкоплавкие металлы (свинец, цинк, баббиты), имеющие низкую температуру рекристаллизации, испытывают пластическую деформацию не только в момент вдавливания, но и в течение некоторого времени после приложения нагрузки. С увеличением выдержки под нагрузкой пластическая деформация этих металлов практически стабилизируется.

Для металлов с высокими температурами плавления влияние продолжительности выдержки под нагрузкой незначительно, что позволяет применять более короткие выдержки (10 — 30 с).

При измерении твёрдости шариком определенного диаметра и с установленными нагрузками на практике пользуются заранее составленными таблицами, указывающими число HB в зависимости от диаметра отпечатка и соотношения между нагрузкой P и поверхностью отпечатка F . При указании твёрдости HB иногда отмечают принятые нагрузку и диаметр шарика.

Между пределом прочности и числом твёрдости HB различных металлов существует следующая зависимость:

Сталь с твёрдостью HB :

120—175 $\sigma_b \approx 0,34 HB$

175—450 $\sigma_b \approx 0,35 HB$

Медь, латунь, бронза:

отожженная $\sigma_b \approx 0,55 HB$

наклепанная $\sigma_b \approx 0,40 HB$

Алюминий и алюминиевые сплавы с твёрдостью HB :

20 - 45..... $\sigma_b \approx (0,33 - 0,36)$ НВ

Дуралюмин:

отожженный..... $\sigma_b \approx 0,36$ НВ

после закалки и старения..... $\sigma_b \approx 0,35$ НВ

Таблица: Нормы ГОСТ для испытания по Бринеллю

Тип металлов	Твердость НВ	Толщина образца, мм	Соотношение между Р и квадратом диаметра шарика D^2	Диаметр шарика D, мм	Нагрузка P, кгс	Выдержка под нагрузкой, сек
Черные	140-450	6—3	$P = 30 \cdot D^2$	10	3000	10
		4—2		5	750	10
		>2		2,5	187,5	10
Черные	< 140	>6	$P = 10 \cdot D^2$	10	3000	10
		6 - 3		5	250	10
		> 3		2,5	62,5	10
Цветные	> 130	6 - 3	$P = 30 \cdot D^2$	10	3000	30
		4 - 2		5	750	30
		> 2		2,5	187,5	30
Цветные	35 - 130	9 - 3	$P = 10 \cdot D^2$	10	1000	30
		6 - 3		5	250	30
		2 - 3		2,5	62,5	30
Цветные	8 - 35 8 - 35 8 - 35	> 6	$P = 2,5 \cdot D^2$	10	250	60
		6 - 3		5	62,5	60
		< 3		2,5	15,6	60

Измерение твердости вдавливанием стального шарика не является универсальным способом. Этот способ не позволяет:

- испытывать материалы с твердостью более НВ 450;
- измерять твердость тонкого поверхностного слоя (толщиной менее 1—2 мм), так как стальной шарик продавливает этот слой и проникает на большую глубину. Толщина измеряемого слоя (или образца) должна быть не менее 10-кратной глубины отпечатка.

По Роквеллу чаще всего определяют твердость очень твердых материалов: закаленных сталей, твердых сплавов, керамики, твердых покрытий, в том числе наплавленных слоев достаточной глубины на стальах и чугунах. Но на приборе Роквелла можно определять твердость и сравнительно мягких материалов.

В качестве инденторов используются шарики из твердого сплава диаметром 1; 2,5; 5 и 10 мм. Величину нагрузки и диаметр шарика выбирают в зависимости от исследуемого материала, который разделен на 5 основных групп:

- 1 — сталь, никелевые и титановые сплавы;
- 2 — чугун;
- 3 — медь и сплавы меди;
- 4 — легкие металлы и их сплавы;
- 5 — свинец, олово.

Испытание проводят на твердомере Бринелля (рисунок 1 а).

В качестве индентора используется стальной закаленный шарик диаметром D 2,5; 5; 10 мм, в зависимости от толщины изделия.

Нагрузка P в зависимости от диаметра шарика и измеряемой твердости: для термически обработанной стали и чугуна — $P=30D^2$, литой бронзы и латуни — $P=10D^2$, алюминия и других очень мягких металлов — $P=2,5D^2$.

Продолжительность выдержки: для стали и чугуна — 10с, для латуни и бронзы — 30с. Полученный отпечаток измеряется в двух направлениях при помощи лупы Бринелля. Твердость определяется как отношение приложенной нагрузки P к сферической поверхности отпечатка F :

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Стандартными условиями являются $D = 10$ мм; $P = 3000$ кгс; $t = 10$ с. В этом случае твердость по Бринеллю обозначается $HB=250$, в других случаях указываются условия: $HB=D / P / t$; $HB 5/250/30 = 80$.

Нагрузка считается выбранной правильно, если выдерживается соотношение: $0,2D < d < 0,6D$.

Диаметр отпечатка измеряют с помощью лупы Бринелля или микроскопа в двух взаимно перпендикулярных направлениях и определяют как среднее арифметическое из двух измерений. Лупа имеет шкалу, малое деление которой (или цена деления) равно 0,05 мм. По результатам измерения диаметра отпечатка на данном материале твердость по Бринеллю определяется по таблице определения чисел твердости по Бринеллю.

Между механическими свойствами (в частности, пределом прочности B и твердостью по Бринеллю) существует определенная зависимость, которая может быть представлена эмпирической формулой:

$$B=C*HB*10 \text{ [МПа]},$$

где C — коэффициент пропорциональности:

- для сталей: $C = 0,33 \dots 0,36$
- для алюминия: $C = 0,4$
- для меди: $C = 0,48$
- для дуралюмина: $C = 0,37$
- для латуни, бронзы: $C = 0,53$

Пример обозначения твердости по Бринеллю: 600 HBW 10/3000/20,

где 600 — значение твердости по Бринеллю, кгс/мм²;
 HBW — символьное обозначение твердости по Бринеллю;
 10 — диаметр шарика в мм;
 3000 — приблизительное значение эквивалентной нагрузки в кгс (3000 кгс = 29420 Н);
 20 — время действия нагрузки, с.

Типичные значения твёрдости для различных материалов:

Материал	Твёрдость
Мягкое дерево, например сосна	1,6 HBS 10/100
Твёрдое дерево	от 2,6 до 7,0 HBS 10/100
Алюминий	15 HB
Медь	35 HB
Дюраль	70 HB
Мягкая сталь	120 HB
Нержавеющая сталь	250 HB
Стекло	500 HB
Инструментальная сталь	650—700 HB

Метод Роквелла основан на вдавливании в поверхность наконечника под определенной нагрузкой.

Индентор для мягких материалов (до HB 230) — стальной шарик диаметром 1/16" (Ø1,6 мм), для более твердых материалов — конус алмазный.

Нагружение осуществляется в два этапа. Сначала прикладывается предварительная нагрузка P0 (10 кгс) для плотного соприкосновения наконечника с образцом. Затем прикладывается основная нагрузка P1, в течение некоторого времени действует общая рабочая нагрузка P. После снятия основной нагрузки определяют значение твердости по глубине остаточного вдавливания наконечника h под нагрузкой P0.

В зависимости от природы материала используют три шкалы твердости (таблица 1)

Таблица 1 — Шкалы для определения твердости по Роквеллу

Шкала	Обозначение	Индентор	Нагрузка, кг			Область применения
			P0	P1	P2	
A	HRA	Алмазный конус	10	50	60	Для особо твердых материалов
B	HRB	Стальной закаленный шарик	10	90	100	Для относительно мягких материалов
C	HRC	Алмазный конус	10	140	150	Для относительно твердых материалов

Существует 11 шкал определения твердости по методу Роквелла (A; B; C; D; E; F; G; H; K; N; T), основанных на комбинации «индентор (наконечник) — нагрузка». Наиболее широко используются два типа инденторов: шарик из

карбида вольфрама диаметром 1/16 дюйма (1,5875 мм) или такой же шарик из закаленной стали и конический алмазный наконечник с углом при вершине 120°. Возможные нагрузки — 60, 100 и 150 кгс. Величина твёрдости определяется как относительная разница в глубине проникновения индентора при приложении основной и предварительной (10 кгс) нагрузки.

Метод Виккерса используется для испытания твердости деталей малой толщины или тонких поверхностных слоев, имеющих высокую твердость. Реже этот метод применяется для измерения твердости твердых и мягких материалов.

Твердость определяется по величине отпечатка (рисунок 1 в).

В качестве индентора используется алмазная четырехгранная пирамида с углом при вершине 136°.

Твердость рассчитывается как отношение приложенной нагрузки Р к площади поверхности отпечатка F:

$$HV = \frac{P}{F} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,8544 \frac{P}{d^2}$$

Нагрузка Р составляет 5...100 кгс. Диагональ отпечатка d измеряется при помощи микроскопа, установленного на приборе.

Преимущество данного способа в том, что можно измерять твердость любых материалов, тонкие изделия, поверхностные слои. Высокая точность и чувствительность метода.

Способ микротвердости — для определения твердости отдельных структурных составляющих и фаз сплава, очень тонких поверхностных слоев (сотые доли миллиметра).

Аналогичен способу Виккерса. Индентор — пирамида меньших размеров, нагрузки при вдавливании Р составляют 5...500 кгс:

$$H_{200} = 1,854 \frac{P}{d^2}$$

Методом микротвердости обычно измеряется твердость в пределах отдельных зерен или очень тонких слоев. Два последних метода чаще всего используются в исследовательских работах.

Метод царапания

Алмазным конусом, пирамидой или шариком наносится царапина, которая является мерой. При нанесении царапин на другие материалы и сравнении их с мерой судят о твердости материала.

Можно нанести царапину шириной 10 мм под действием определенной нагрузки. Наблюдают за величиной нагрузки, которая дает эту ширину.

Динамический метод (по Шору).

Шарик бросают на поверхность с заданной высоты, он отскакивает на определенную величину. Чем больше величина отскока, тем тверже материал. В результате проведения динамических испытаний на ударный изгиб специальных образцов с надрезом (ГОСТ 9454) оценивается вязкость материалов и устанавливается их склонность к переходу из вязкого состояния в хрупкое.

Вязкость – способность материала поглощать механическую энергию внешних сил за счет пластической деформации. Является энергетической характеристикой материала, выражается в единицах работы. Вязкость металлов и сплавов определяется их химическим составом, термической обработкой и другими внутренними факторами. Также вязкость зависит от условий, в которых работает металл (температуры, скорости нагружения, наличия концентраторов напряжения).

Наиболее распространенным является способ вдавливания шарика (способ Бринелля). Он заключается в том, что в установленный на стальной плите образец вдавливается на специальном прессе стальной закаленный и полированный шарик диаметром D , равным 5 мм. Образец берут шириной не менее 15 мм, толщиной не менее 5 мм. Поверхность его должна быть гладкой. Усилие вдавливания повышают до наибольшего значения P в течение 30 с. Наибольшее усилие выдерживают в течение 1 мин. затем его плавно уменьшают.

Твердость по Бринеллю H_B определяют делением вдавливающего усилия $P(H)$ на площадь F (cm^2) сферического отпечатка (лунки) в образце.

$$H_B = P / F.$$

Для определения площади F измеряют диаметр лунки d или ее глубину h в миллиметрах и подсчитывают площадь по формулам:

$$F = \pi D/2 (D - \sqrt{D^2 - d^2}) \quad \text{или} \quad F = \pi D h.$$

Проведение работы:

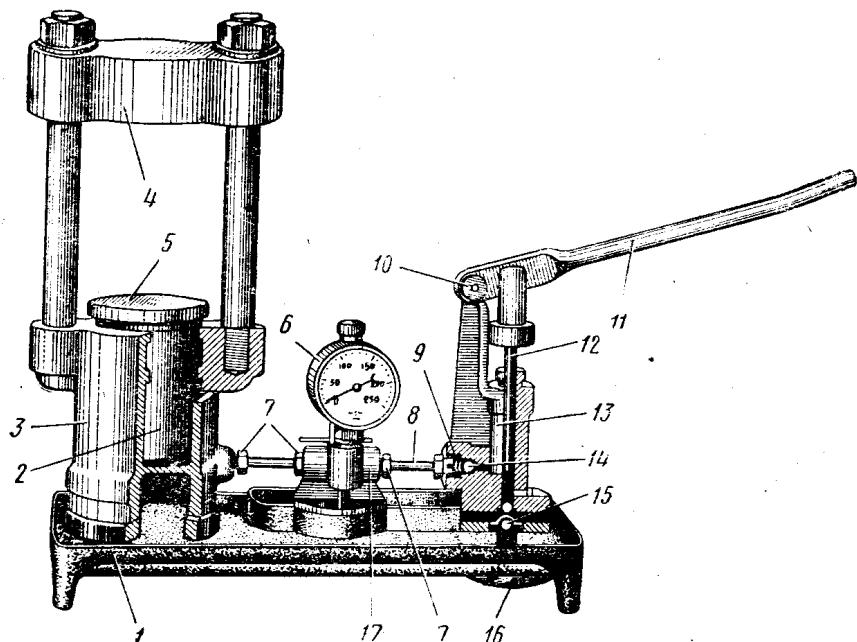
Испытываемый образец устанавливают на столике и вводят его в соприкосновение со стальным шариком. Включив двигатель пресса, создают нужное давление (для электроизоляционных материалов оно равно 250 или 750 Н). Нагрузку прикладывают плавно, повышая ее до требуемой величины.

Доведя нагрузку до необходимой величины, выдерживают ее в течение 1 мин, а затем снимают и измеряют диаметр лунки. После этого рассчитывают твердость испытываемого материала. Для точного измерения диаметра лунки пользуются микроскопом. Если его нет, диаметр отпечатка можно измерить при помощи специальной линейки с мерной сеткой.

Гидравлический пресс

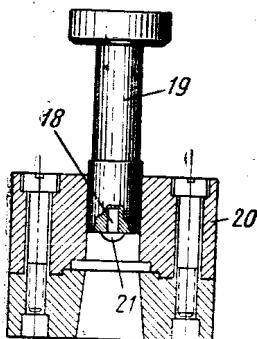


Схематическое изображение гидравлического пресса:



Гидравлический пресс:

1 – подставка; 2 – поршень большого цилиндра; 3 – большой цилиндр; 4 – верхняя плита; 5 – плита большого поршня цилиндра; 6 – манометр; 7 – сальники; 8 – трубка; 9 – спиральная пружина; 10 – ось; 11 – рукоятка; 12 – поршень малого цилиндра; 13 – малый цилиндр с насосом; 14 – нагнетательный клапан; 15 – всасывающий клапан; 16 – бак для масла; 17 – крестообразная колонка.



Приспособление к гидравлическому прессу:

18 – съемная головка; 19 – пуансон; 20 – стальной цилиндр приспособления; 21 – стальной шарик.

Порядок проведения работы:

1. Установить образец материала на столик пресса.
2. Ввести в соприкосновение образец и шарик.
3. Увеличить механическую нагрузку в течение 30 мин. до заданной величины. Выдержать максимальную нагрузку, соответствующую твердости испытываемого материала, в течение 60 с, а затем плавно снять нагрузку.
4. Сняв нагрузку, измерить диаметр лунки d или ее глубину h и подсчитать твердость материала согласно формулам.
5. Результаты измерений и вычислений записать в таблицу:

№ п/п	Наименование материала	D, мм	Измеряются			Вычисляются	
			P, Н	d, мм	h, мм	F, мм ²	Нв, Н/см ²

Контрольные вопросы:

1. Что понимают под твердостью материала?
2. Какими методами измеряют твердость металлов и сплавов? Опишите их.
3. В каких единицах измеряют твердость материала?
4. По каким формулам можно подсчитать твердость материала и площадь лунки?

Содержание отчета:

1. Тема работы.
2. Краткое описание установки, ее схемы.
3. Перечень используемых образцов.
4. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
5. Ответы на контрольные вопросы.

Литература, необходимая при ответах на вопросы:

1. В.Н. Бородулин, А. С. Воробьев, В.М. Матюнин; под ред. В.А. Филикова. Электротехнические и конструкционные материалы: учеб. пособие для студ. сред. проф. Образования/ – М.: Издательский центр «Академия», 2014.-280 с.

БПОУ ВО «Грязовецкий политехнический техникум»

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА

*на выполнение лабораторной работы
по учебной дисциплине ОП.03 «Материаловедение»*

Лабораторная работа «Определение удельной ударной вязкости материалов»

по специальности 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского
хозяйства

Тема работы: «Определение удельной ударной вязкости материалов»

Цель работы:

Ознакомление с устройством маятникового копра Шарпи и изучить методы определения удельной ударной вязкости электроизоляционных материалов.

Приборы и оборудование:

Маятниковый копр Шарпи, образцы для определения удельной ударной вязкости: фарфор, шифер, асбестоцемент, стекло прямоугольной формы $120 \times 15 \times 10$ мм).

Введение:

В процессе эксплуатации деталей могут возникнуть внешние факторы, под воздействием которых материал становится хрупким:

1. увеличение скорости деформирования (возникновение ударных нагрузок);
2. понижение температуры;
3. возникновение двухосного и трехосного напряженных состояний;
4. образование концентраторов напряжений – надрезов, раковин, трещин.

Чем больше величина ударной вязкости, тем лучше материал сопротивляется динамической нагрузке. Образцы из хрупких материалов ломаются легко, с небольшой затратой работы на разрушение. Образцы из пластичных материалов наоборот – требуют на разрушение большей энергии. Материалы, требующие большой затраты энергии на излом называют вязкими. Все материалы, из которых изготавливают детали, воспринимающие динамические нагрузки, обязательно испытывают на удар.

Величина ударной вязкости очень сильно зависит от температуры. По мере понижения температуры ударная вязкость образцов из одного и того же материала уменьшается. У некоторых материалов существует температурный интервал, в котором удельная ударная вязкость резко меняет свое значение. Этот интервал называется температурным интервалом хрупкости. Чем больше смещен температурный интервал хрупкости в сторону низких температур, тем материал менее чувствителен к воздействию температуры при ударных нагрузках и тем более он надежен в работе.

Изменение формы образца также сказывается на величине ударной вязкости. Переход к более широким образцам и к образцам с более острым надрезом смещает температурный интервал в сторону более высоких температур. На образцах из металлов всегда создается надрез - концентратор напряжений.

Склонность стали к хрупкому разрушению, возрастает также при повышенном содержании фосфора, концентрирующегося по границам зерен, при крупнозернистой структуре, при наличии карбидов по границам зерен, полосчатости, т.е. под влиянием целого ряда внутренних, структурных факторов.

Определение ударной вязкости при динамических испытаниях на ударный изгиб является основным практическим методом оценки склонности

стали к хрупкому разрушению, которое, в отличие от вязкого, происходит без заметной пластической деформации и развивается катастрофически быстро.

Охрупчивание стали при некоторых условиях отпуска называется отпускной хрупкостью. Понижение ударной вязкости при этом вызвано повышением температуры перехода в хрупкое состояние. Наблюдаются два вида отпускной хрупкости. Отпускная хрупкость первого рода (необратимая) и отпускная хрупкость второго рода (обратимая), определяемые путем испытаний на ударный изгиб при комнатной температуре.

Сталь, отпущенная в интервале температур порядка 300...350°C, имеет минимальную ударную вязкость. Отпускная хрупкость первого рода проявляется у большинства сталей независимо от их состава и скорости охлаждения. Считают, что это явление обусловлено выделениями частиц типа цементита по границам зерен, которые при дальнейшем повышении температуры вновь растворяются. При этом менее прочные приграничные участки становятся концентриаторами напряжений, т. е. хрупкое состояние обусловлено возникновением объемно-напряженного состояния, получающегося при неоднородном распаде мартенсита. Сталь в состоянии необратимой отпускной хрупкости имеет блестящий межкристаллитный излом.

Хрупкость первого рода устраняется нагревом стали выше 400 0C, снижающим твердость. *Хрупкость второго рода* наблюдается в легированных сталях при охлаждении в печи или на воздухе после отпуска в интервале температур 500...550°C или при слишком длительной выдержке в этом температурном интервале.

В стали в состоянии отпускной хрупкости второго рода уменьшается работа зарождения и особенно распространения трещины. При быстром охлаждении в воде этот вид хрупкости не возникает, излом стали – волокнистый, характерный для вязкого состояния. После медленного охлаждения с температуры 500...650°C сталь имеет хрупкий кристаллический излом. Хрупкость второго рода можно устранить повторным отпуском при 600...650°C с последующим обратным быстрым охлаждением.

Хрупкость второго рода часто встречается в сталях, содержащих повышенное количество P и As или Mn, Si, Cr или при одновременном введении в сталь Cr и Ni (или Mn).

Появление отпускной хрупкости второго рода наиболее вероятно связано с диффузией растворенных атомов некоторых элементов и насыщением поверхностных слоев зерна этими элементами без выделения избыточных мелкодисперсных фаз (карбидов, фосфидов и т. д.). Особенно большое влияние оказывает обогащение приграничных зон фосфором, снижающим работу образования межзеренных трещин, вызывающих развитие отпускной хрупкости.

С помощью испытаний на ударный изгиб выявляются такие дефекты как синеломкость, хладноломкость, обратимая и необратимая отпускная

хрупкость и т. п. *Ударные испытания* выявляют такие различия между материалами, которые не отражаются при обычных (статических) испытаниях гладких образцов. Например, значения предела прочности мало отличаются для мелкозернистого железа ($36,5 \text{ кгс/мм}^2$) и крупнозернистого железа ($34,5 \text{ кгс/мм}^2$), тогда как в значениях ударной вязкости имеется существенное различие: $13,1 \text{ кгсм/см}^2$ и $2,6 \text{ кгсм/см}^2$, соответственно.

Одно из важнейших достоинств ударных испытаний как метода оценки состояния металла – повышенная чувствительность. Так, например, колебания механических свойств около среднего значения для осевой стали ($0,35\% \text{ С}$) составляют 99% для АН, 15% для , 8,8% для и 5,7% для.

На величине ударной вязкости часто сказывается и способ выплавки стали: электросталь имеет наибольшую, бессемеровская – наименьшую, мартеновская – промежуточную величину ударной вязкости.

Ударная вязкость в значительной мере отражает состояние поверхности образца, т. к. распределение деформации в образце неравномерно и часто бывает сосредоточено, в основном, в поверхностных слоях. Наличие твердых поверхностных слоев понижает ударную вязкость, а мягкие поверхностные слои повышают ее. Например, если надрезы на стальном образце, предназначенном для испытания на ударный изгиб, сделаны до термической обработки, то даже небольшое обезуглероживание поверхности, приводящее к образованию мягкого и пластичного феррита, может повысить ударную вязкость вдвое.

Поэтому при ударных испытаниях предписывается изготавливать надрез на ударных образцах после их термической обработки.

Наряду с определением ударной вязкости значение имеет вид излома ударных образцов. В изломе не допускается крупнозернистость, шлаковины, расслоения и другие дефекты.

Наиболее простым из методов практического массового контроля является метод ударных испытаний при 20°C на маятниковых копрах. На результатах определения ударной вязкости сказывается и скорость маятника в момент удара. Широкое применение нашли испытания при пониженных температурах, разработанные Н.Н. Давиденковым, так называемые “серийные испытания”. При проведении таких испытаний делается серия опытов на ударный изгиб при постепенно понижающейся температуре до перехода металла в хрупкое состояние, причем температура резкого уменьшения ударной вязкости служит мерой качества металла. Чем ниже эта температура – “критическая температура хрупкости” – тем выше сопротивление металла хрупкому разрушению.

Охлаждающими смесями могут быть: сухая углекислота, дающая температуру -70°C , жидкий воздух дает -183°C , жидкий азот позволяет получить температуру -195°C , жидкий водород, дающий -252°C .

Применение “серийных испытаний” целесообразно только для типично хладноломких материалов с ОЦК-решеткой (Fe-, Zn и сплавы на их основе), которые дают резкий переход в хрупкое состояние. Многие легированные стали, особенно содержащие Ni, при понижении температуры

дают постепенное понижение вязкости и поэтому для них определение даже “критического интервала хрупкости” становится затруднительным. Некоторые сплавы, например Al+4% Mg, остаются вязкими и разрушаются путем среза даже при жестких условиях (при одновременном действии удара, надреза и низкой температуры), поэтому для таких материалов применение ударных испытаний как серийных, так и при 20°C нецелесообразно.

Нечелесообразно применять ударные испытания и для чугунов, литых алюминиевых и магниевых сплавов, т. к. сопротивление отрыву этих материалов достигается уже при статических нагрузках.

Таким образом, испытания на ударный изгиб являются одним из наиболее чувствительных методов контроля, чутко реагирующих на небольшие изменения состояния металла.

Ударные испытания являются ценным, а иногда необходимым дополнением к статическим испытаниям гладких образцов, главным образом для низко- и среднеуглеродистых сталей.

Испытания на ударную вязкость или ударный изгиб (КС) проводятся для оценки надежности и работоспособности материалов в условиях динамического нагружения и их склонности к хрупкому разрушению, которые, в свою очередь, зависят от скорости изменения нагрузки и “мягкости” напряженного состояния. Поскольку вязкость (в том числе ударная) является интегральной характеристикой, зависящей одновременно от прочности и пластичности, то она более резко реагирует на изменения структурного состояния материалов, чем другие свойства, что особенно ярко проявляется при пониженных температурах.

Испытание проводится на специальном маятниковом копре (рис. 1). Работа, затраченная маятником на разрушение, определяется по зависимости где G - вес маятника;

Gh_1 - потенциальная энергия, запасенная маятником в самом верхнем его положении;

Gh_2 - потенциальная энергия, сохраненная маятником после разрушения образца.

- энергия потерь, затраченная маятником на преодоление вредных сопротивлений (трение в узлах копра, сопротивление воздуха). Потери для каждого экземпляра копра известны. Испытания проводятся для металлов согласно ГОСТ 9454-84; для пластмасс - согласно ГОСТ 4647-84. Металлы испытываются на копрах с предельной энергией маятника до 300 Нм и скоростью в пределах от 4 до 7 м/с, пластмассы - до 5 Нм и м/с, соответственно.

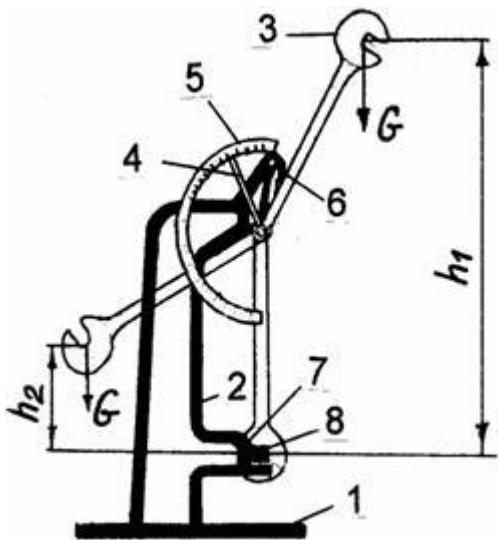


Рис.1. Схема маятникового копра

Описание установки для испытаний. Испытание на ударную вязкость проводится на маятниковом копре ХР-05, схема которого показана на рис. 1. Копер состоит из массивного основания 1 с двумя вертикальными стойками 2. К верхней части этих стоек на горизонтальной оси подвешен маятник 3, представляющий собой плоский стальной диск с вырезом. Кроме того, на оси маятника установлена стрелка 4, напротив которой к стойке 2 прикреплена шкала 5 для отсчета затрат энергии на разрушение образца. Для фиксации маятника в исходном верхнем положении предусмотрена защелка 6.

На стойках 2 предусмотрены опоры 7 для установки образцов 8 из испытуемого материала. Расстояние между опорами 7 регулируется в пределах от 40 до 70 мм (см. рис.2, а). Для образцов толщиной 5 мм и менее, расстояние между опорами 7 принимают мм, а для образцов толщиной более 5 мм. При проведении испытаний маятник 3 поднимают вверх и фиксируют защелкой 6. Стрелку 4 устанавливают на нуль, а на опоры 7 помещают испытуемый образец 8. Затем, повернув защелку 6, отпускают маятник 3, который при своем падении разрушит образец и двигаясь далее, переместит стрелку 4 по шкале 5, на которойчитывают величину энергии, сохраненной маятником после разрушения образца. Образец устанавливают на нижних опорах копра симметрично относительно опор и так, чтобы надрез был обращен в сторону, противоположную направлению удара.

Образцы для испытаний на ударную вязкость изготавливают механической обработкой из листов, плит или стержней; а также прессованием; или литьем под давлением. При испытании листовых и слоистых материалов толщиной менее 10 мм ширину поперечного сечения образцов принимают равной толщине этих листов. На образцах следует указать направление, соответствующее длине листа или плиты, из которых изготовлены эти образцы, так как механические свойства пластмасс в различных направлениях неодинаковы.

Поверхность образцов должна быть гладкой, ровной, без трещин, сколов, вздутий и раковин. Форма надреза стандартных образцов может быть в виде U, V, T.

Согласно ГОСТ 9454-78 в качестве основного используется образец с U-образным надрезом, но в отдельных случаях применяются также образцы и с другой формой надрезов. V-образный выполняется с углом при вершине 450 и радиусом закругления 0,25 мм, а роль Т-образного надреза играет созданная на специальном приборе усталостная трещина. В соответствии с этим при записи ударной вязкости (КС) в ее обозначение вводится третья буква, указывающая вид надреза – КСУ, КСВ, КСТ.

Параметром КСВ оценивается пригодность материалов для сосудов давления, трубопроводов и других конструкций повышенной надежности. Параметр КСТ характеризует работу развития трещины при ударном изгибе и оценивает способность материала тормозить начавшееся разрушение. Он учитывается при выборе металлов и сплавов для конструкций особо ответственного назначения (летательные аппараты, роторы турбин и т. п.)

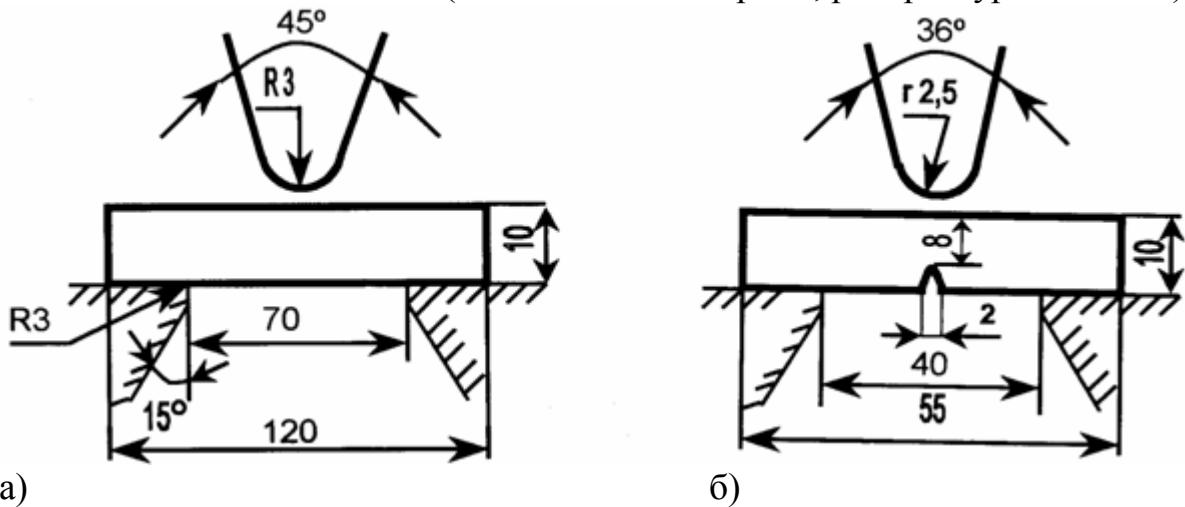


Рис. 2. Схема установки образцов: а) образцы из пластмасс; б) образцы из металлов

Порядок выполнения работы

1. Замеряют ширину и толщину образца, изготовленных из одного материала, штангенциркулем с точностью до 0,1 мм. Устанавливают образец 8 на опоры 7 так, чтобы удар пришелся по его широкой стороне (рис.2, а). Поднимают маятник в верхнее исходное положение и закрепляют защелкой 6. Устанавливают стрелку 4 шкалы на ноль. Разместить стандартный образец испытываемого материала на опорах. Расстояние между опорами при испытании образца толщиной более 5 мм должно быть 70 мм, а толщиной 5 мм и менее – 40 мм. Поднять маятник массой G и закрепить его в исходном положении (на высоте h_1).
2. Освобождают маятник от защелки 6, который, падая вниз, разрушит образец 8. Рассчитывают величину работы, затраченной на разрушение образца. Падая с высоты h_1 , маятник производит ударный изгиб образца (ломает его) и взлетает на высоту h_2 (на шкале отмечается угол взлета β).

3. Вычисляют удельную ударную вязкость по формуле. Опыт повторяют еще для двух - трех образцов.
4. Проводят обработку результатов опыта. Результаты измерений и вычислений заносят в таблицу:

Таблица результатов опыта:

№ п/п	Наименование испытываемого материала	Масса маятника G , кг;	Измерения				Вычисления An , Дж/м ²
			S , см ²	h_1 , см;	h_2 , см;	β , град.	

При возникновении коротких замыканий в электрических установках токоведущие части испытывают электродинамические удары. Эти удары воспринимаются электроизоляционными изделиями, на которых закреплены токоведущие части.

При больших токах короткого замыкания могут возникать динамические удары, иногда приводящие к разрушению изоляторов и других электроизоляционных деталей. В связи с этим электротехнические материалы (особенно хрупкие: фарфор, асбестоцемент, шифер и др.) необходимо испытывать на удельную ударную вязкость.

Удельную ударную вязкость определяют по формуле:

$$An = G (h_1 - h_2) / S_0 ,$$

где G – масса маятника, кг;

h_1 – высота центра тяжести маятника в исходном положении, см;

h_2 – высота взлета центра тяжести маятника после излома образца, см;

S_0 – первоначальная площадь поперечного сечения образца, см².

Форма отчета по лабораторной работе

1. Название лабораторной работы.
2. Цель работы.
3. Начертить схему испытательной машины (написать тип, марку).
4. Начертить схему установки образцов.
5. Внести в таблицу исходные данные.
6. Дать понятие: энергия потерь.
7. Дать определение работы разрушения для образцов и по шкале копра.
8. Дать определение удельной ударной вязкости.
9. Заполнить таблицу результатов опыта.
10. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

- 1.) В каких случаях проводятся испытания на ударную вязкость?
- 2.) Какие существуют методы определения работы удара?
- 3.) Что такое удельная ударная вязкость?
- 4.) В каких единицах измеряется удельная ударная вязкость?
- 5.) Какие факторы влияют на величину ударной удельной вязкости?
- 6.) О каких свойствах материала судят по величине ударной удельной вязкости?
- 7.) Как определить энергию, запасенную маятником в самом верхнем положении?
- 8.) Как влияет расстояние между опорами установки образца на величину удельной ударной вязкости?
- 9.) Чем принципиально отличаются образцы из металла от образцов из других материалов?
- 10.) Как изменится удельная ударная вязкость с изменением температуры?
- 11.) Чем отличается маятниковый копер для определения ударной вязкости металлов от копра для испытаний неметаллических материалов?
- 12.) Как влияет на ударную вязкость содержание в металле углерода и фосфора?
- 13.) Что понимают под температурным интервалом хрупкости?
- 14.) В чем состоит принцип работы маятникового копра?
- 15.) Какие материалы подвергаются испытаниям на ударную вязкость?
- 16.) В чем сходство и различие статических и динамических испытаний?
- 17.) Что понимают под удельной ударной вязкостью материала?
- 18.) В каких единицах измеряется удельная ударная вязкость A_n ?
- 19.) По какой формуле подсчитывают A_n ?

Литература, необходимая при ответах на вопросы:

1. Батиенков В. Т. Материаловедение: Учебник / В.Т. Батиенков, Г.Г. Сеферов, А.Л. Фоменко, Г.Г. Сеферов; Под ред. В.Т. Батиенкова. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 151 с.:
2. Стуканов В. А. Материаловедение: Учебное пособие / В.А. Стуканов. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 368 с.
3. В.Н. Бородулин, А. С. Воробьев, В.М. Матюнин; под ред. В.А. Филикова. Электротехнические и конструкционные материалы: учеб. пособие для студ. сред. проф. Образования/ – М.: Издательский центр «Академия», 2014.-280 с.

БПОУ ВО «Грязовецкий политехнический техникум»

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА

*на выполнение практической работы
по учебной дисциплине ОП.03 «Материаловедение»*

Практическая работа «Исследование зависимости электропроводности полупроводника от различной концентрации примесей»

по специальности 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского
хозяйства

Тема: Исследование зависимости электропроводности полупроводника от различной концентрации примесей.

Цель: Изучить влияние примесей в полупроводниках на их проводимость. Изучить зависимость проводимости от температуры.

Теоретическая часть работы *Электропроводность полупроводника.*

Между двумя атомами полупроводника существует ковалентная связь, осуществляемая парой электронов, принадлежащих обоим этим атомам. Если все ковалентные связи заполнены, то свободных электронов в кристалле нет и, следовательно, электропроводность такого кристалла будет равна нулю.

На рис. 1 показана двумерная схема кристаллической решетки чистого кремния (Si). При $T=0^{\circ}\text{K}$ свободных электронов в решетке нет, так как все валентные электроны участвуют в связях. Появление теплового движения атомов при повышении температуры могут привести к разрыву ковалентных связей в некоторых местах кристалла и освобождению свободных электронов, которые теперь могут участвовать в проводимости. Следовательно, чтобы валентный электрон стал электроном проводимости, ему надо сообщить некоторую энергию активации ($E_{акт}$), равную энергии разрыва ковалентной связи.

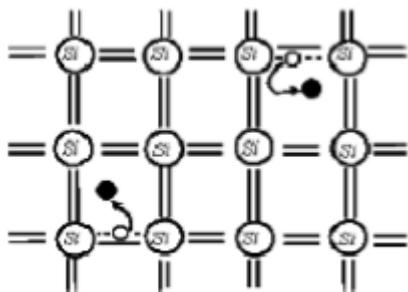


Рис.1. Двумерная схема кристаллической решетки чистого кремния (Si)

На рисунке хорошо видна схема образования носителей тока в чистом полупроводнике. Темные кружки – свободные электроны. Светлые кружки и пунктирные линии изображают незаполненные ковалентные связи – дырки.

После ухода электрона со связи, она остаётся незаполненной (изображена пунктиром). В эту незаполненную связь могут перемещаться связанные электроны с соседних связей. Движение связанных электронов по вакантным незаполненным связям в некотором направлении эквивалентно движению положительно заряженных незаполненных связей в противоположном направлении. Таким образом, при разрыве ковалентных связей в полупроводнике возникают два механизма электропроводности: проводимость свободных электронов, движущихся против электрического

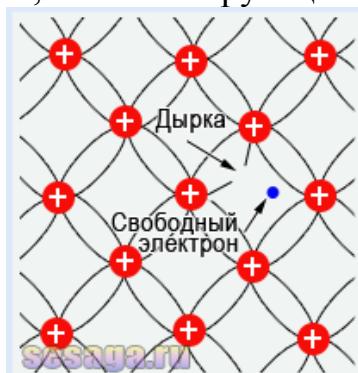
поля, и проводимость валентных электронов по незаполненным связям, которую можно эквивалентно описать, как движение в направлении электрического поля положительно заряженных незаполненных связей, называемых дырками (светлые кружки на рис. 1). Очевидно, что в чистых полупроводниках концентрации электронов и дырок одинаковы:

$$n_- = n_+ = n.$$

Описанный тип проводимости полупроводников называют *собственной проводимостью*. В этом случае:

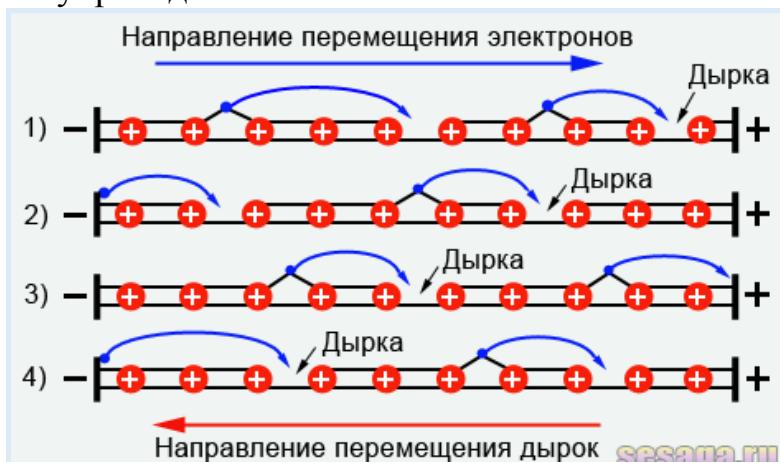
$$\sigma = e \cdot n(\mu_- + \mu_+)$$

Рассмотрим упрощенный рисунок кристалла полупроводника, где атомы обозначаются шариком с плюсом, а межатомные связи показаны двумя линиями, символизирующими валентные электроны.



При температуре, близкой к абсолютному нулю полупроводник не проводит ток, так как в нем нет свободных электронов. Но с повышением температуры связь валентных электронов с ядрами атомов ослабевает и некоторые из электронов, вследствие теплового движения, могут покидать свои атомы. Вырвавшийся из межатомной связи электрон становится «свободным», а там где он находился до этого, образуется пустое место, которое условно называют дыркой.

Рассмотрим рисунок, где схематично показано явление возникновения тока в полупроводнике.



Если приложить некоторое напряжение к полупроводнику, контакты «+» и «-», то в нем возникнет ток.

Вследствие тепловых явлений, в кристалле полупроводника из межатомных связей начнет освобождаться некоторое количество электронов. Электроны, притягиваясь положительным полюсом источника напряжения, будут перемещаться в его сторону, оставляя после себя дырки, которые будут заполняться другими освободившимися электронами. То есть, под действием внешнего электрического поля носители заряда приобретают некоторую скорость направленного движения и тем самым создают электрический ток.

В полупроводниках подвижность носителей тока зависит от температуры, однако зависимостью $\mu(T)$ можно пренебречь по сравнению с более сильной зависимостью от температуры концентрации электронов и дырок $n(T)$, то есть, можно считать, что в полупроводниках $\mu \approx const$. Таким образом, в полупроводниках подвижность практически не меняется, а на величину проводимости влияет только изменение концентрации носителей тока:

$$\sigma(T) \approx const \cdot n(t)$$

Величина удельной проводимости полупроводника и ее температурная зависимость зависят от концентраций носителей (электронов и дырок) и их подвижностей, которые в свою очередь определяются типом полупроводника. В *собственном полупроводнике* концентрации электронов и дырок одинаковы ($n = p = n_i = p_i$, где n_i и p_i - собственные концентрации носителей). Тогда удельная электропроводность s_c собственного полупроводника будет равна

$$\sigma_c = n_i e (u_n + u_p)$$

Электропроводность собственного полупроводника называют собственной электропроводимостью и обозначают s_c .

Таким образом, концентрация носителей заряда в собственных полупроводниках зависит от ширины запрещенной зоны E_g и температуры T . Для германия, например, $E_g = 0,72$ эВ (при $T = 300$ К) и концентрация собственных носителей заряда при комнатной температуре составляет приблизительно $2,5 \times 10^{19}$ м⁻³. Для кремния соответственно $E_g = 1,1$ эВ и $n_i = 1,5 \times 10^{16}$ м⁻³.

Электронно-дырочная проводимость.

В «чистом» кристалле полупроводника число высвободившихся электронов равно числу образующихся при этом дырок, поэтому электропроводность такого полупроводника мала, так как он оказывает электрическому току большое сопротивление, и такую электропроводность называют собственной.

Но если в полупроводник добавить в виде примеси некоторое количество атомов других элементов, то электропроводность его повысится в разы, и в зависимости от структуры атомов примесных элементов электропроводность полупроводника будет электронной или дырочной.

Электронная проводимость.

Допустим, в кристалле полупроводника, в котором атомы имеют по четыре валентных электрона, мы заменили один атом атомом, у которого пять валентных электронов. Этот атом своими четырьмя электронами связывается с четырьмя соседними атомами полупроводника, а пятый валентный электрон останется «лишним» – то есть свободным. И чем больше будет таких атомов в кристалле, тем больше окажется свободных электронов, а значит, такой полупроводник по своим свойствам приблизится к металлу, и чтобы через него проходил электрический ток, в нем не обязательно должны разрушаться межатомные связи.

Полупроводники, обладающие такими свойствами, называют полупроводниками с проводимостью типа «п», или полупроводники п-типа. Отсюда следует, что в полупроводнике п-типа основными носителями заряда являются – электроны, а не основными – дырки.

Дырочная проводимость.

Возьмем все тот же кристалл, но теперь заменим его атом атомом, в котором только три свободных электрона. Своими тремя электронами он связывается только с тремя соседними атомами, а для связи с четвертым атомом у него не будет хватать одного электрона. В итоге образуется дырка. Естественно, она заполнится любым другим свободным электроном, находящимся поблизости, но, в любом случае, в кристалле такого полупроводника не будет хватать электронов для заполнения дырок. И чем больше будет таких атомов в кристалле, тем больше будет дырок.

Чтобы в таком полупроводнике могли высвобождаться и передвигаться свободные электроны, обязательно должны разрушаться валентные связи между атомами. Но электронов все равно не будет хватать, так как число дырок всегда будет больше числа электронов в любой момент времени.

Такие полупроводники называют полупроводниками с дырочной проводимостью или проводниками р-типа. Таким образом, явление электрического тока в кристалле полупроводника р-типа сопровождается непрерывным возникновением и исчезновением положительных зарядов – дырок. А это значит, что в полупроводнике р-типа основными носителями заряда являются дырки, а не основными – электроны.

Факторы, влияющие на проводимость полупроводника

Появление электрического тока в полупроводнике возможно лишь тогда, когда часть электронов покидает заполненную валентную зону и переходит в зону проводимости, где они становятся носителями электрического тока. Для такого перехода электроны должны пройти запрещенную зону, для чего необходима определенная энергия, которую полупроводник может получить в виде света или теплоты. При нагреве увеличивается концентрация носителей электрического тока, а электросопротивление полупроводника уменьшается.

Чем больше ширина запрещенной зоны, тем выше должна быть температура нагрева полупроводника для разрушения ковалентных связей и

образования носителей тока. В кристаллах с ковалентной связью проводимость электрического тока может осуществляться как путем перемещения электронов (электронная, или n -проводимость), так и путем перемещения «дырок» (дырочная, или p -проводимость).

Проводимость в химически чистом полупроводнике называется **собственной проводимостью**. Однако получить химически чистые элементы весьма сложно. Вследствие этого полупроводники всегда содержат примеси, которые изменяют характер и значение проводимости. Электрическая проводимость, обусловленная присутствием примесей в полупроводнике, называется **примесной**.

Введение в полупроводники незначительного количества примесей ($\approx 10^{-4}\%$) приводит к значительному увеличению электропроводности. Рассмотрим основные особенности примесной проводимости.

При замещении атома германия атомом примеси, имеющим три валентных электрона, (например, атомом индия In) одна валентная связь германия оказывается не заполненной электроном слева.

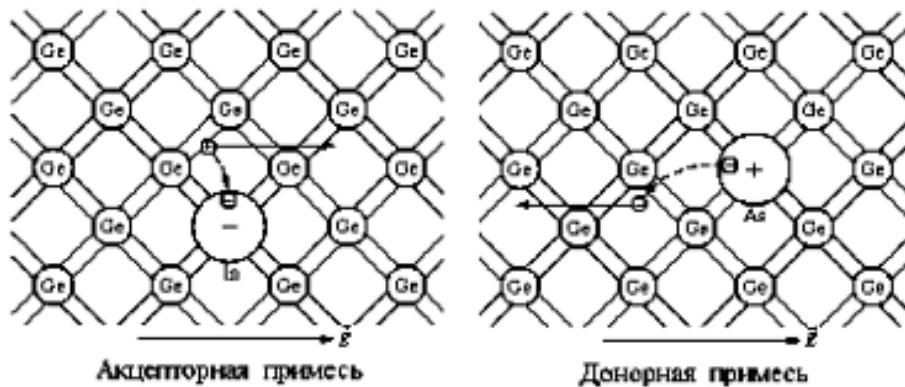


Рис. Примесная проводимость полупроводников

Электрон одной из соседних заполненных связей может перейти в незаполненную связь. Причем этот переход требует гораздо меньшей энергии активации ΔE_A по сравнению с энергией ΔE_D отрыва электрона от атома в идеальной решетке чистого германия.

Таким образом, введение трехвалентной примеси в решетку германия приводит к возникновению свободных уровней (дырок) вблизи верхней границы валентной зоны.

Уровни, способные захватывать валентные электроны (и соответствующие примеси), называют *акцепторными*. При наличии акцепторных примесей не образуются свободные электроны и основными носителями тока являются дырки. Подобные примесные полупроводники называются полупроводниками *p-типа*.

Если в кристалл германия ввести пятивалентный атом примеси (например, мышьяк As), то пятый электрон мышьяка окажется слабо связанным с атомом. Для того чтобы оторвать его от атома и превратить в свободный

носитель тока, и в этом случае требуется значительно меньшее количество энергии ΔE_D , чем энергия ΔE_A высвобождения электрона из валентной связи в чистом германии. Таким образом, добавление пятivalентной примеси в чистый полупроводник IV группы приводит к возникновению вблизи дна зоны проводимости энергетических состояний, занятых свободными электронами. Уровни, способные отдавать электроны в зону проводимости (и соответствующие примеси), называют *донорными*. При наличии донорных примесей не образуются дырки в валентной зоне и основными носителями тока являются свободные электроны. Подобные примесные полупроводники называются полупроводниками *n-типа*.

Примеси элементов V группы для германия и кремния определяют электронный тип проводимости, так как отдают в валентную зону кристалла полупроводника четыре электрона, а пятый становится носителем электрического тока. *Такие примеси называют донорными*. Для германия ими являются мышьяк и сурьма, а для кремния - фосфор и мышьяк. Полупроводники, в которых преобладают донорные примеси, называются электронными, или *n-типа*.

Примеси элементов III группы обусловливают *дырочный тип проводимости*, так как отдают в валентную зону кристалла полупроводника только три электрона. В кристалле образуются незаполненные связи - «дырки», что вызывает ряд последовательных перемещений соседних электронов. В результате дырка перемещается подобно положительному заряду. *Такие примеси называют акцепторными*. Для германия ими служат галлий и индий, для кремния - бор и алюминий. Полупроводники с преобладанием акцепторных примесей называются дырочными, или *p-типа*.

Примеси резко изменяют собственную проводимость полупроводника.

Помимо *концентрации* примесных носителей электрического тока большое влияние на проводимость оказывает их *подвижность*.

Дефекты кристаллической решетки, примеси и тепловые колебания атомов вызывают рассеяние носителей, снижая тем самым их подвижность. Все это приводит к неконтролируемым изменениям проводимости полупроводника, но может быть частично устранено применением монокристаллов, в которых плотность дефектов кристаллической структуры значительно ниже.

Важной характеристикой полупроводников является также *время жизни примесных носителей* электрического тока. В полупроводнике одновременно с процессом возникновения свободных электронов и дырок идет обратный *процесс рекомбинации*: электроны из зоны проводимости вновь возвращаются в валентную зону, ликвидируя дырки. В результате концентрация носителей уменьшается. При данной температуре между этими двумя процессами устанавливается равновесие. Среднее время, в течение которого носитель существует до своей рекомбинации, называют временем жизни. Расстояние, которое успеет пройти за это время носитель, называют *диффузионной длиной*.

Примеси могут весьма существенно влиять на электрические свойства полупроводников. Например, добавление в кремний бора в количестве одного атома на 10^5 атомов кремния увеличивает проводимость при комнатной температуре в 1000 раз. Небольшая добавка примеси к полупроводнику называется *легированием*.

Удельная электропроводность примесных полупроводников так же, как и для собственных полупроводников, определяется концентрацией носителей заряда в зоне проводимости и их подвижностью. Для донорного полупроводника при низких температурах основным поставщиком электронов в зону проводимости являются донорные уровни примеси. За счет термического возбуждения электроны с донорных уровней примесных атомов переходят в зону проводимости.

Вопросы для подготовки к выполнению практической работы.

1. Дать пояснение электронно-дырочной проводимости.
2. Дать пояснение электронной проводимости.
3. Дать пояснение дырочной проводимости.
4. Как в полупроводниках появляются свободные частицы?
5. Дать определение собственной и примесной проводимости в полупроводниках.
6. Дать пояснение донорной проводимости и назвать примеры примесей.
7. Дать пояснение акцепторной проводимости и назвать примеры примесей.
8. Что влияет на подвижность носителей зарядов?
9. Пояснить процесс рекомбинации зарядов.

Практическая работа

Тема: Исследование зависимости электропроводности полупроводника от различной концентрации примесей.

Цель: Изучить влияние примесей в полупроводниках на их проводимость. Изучить зависимость проводимости от температуры.

Инструкция к выполнению практической работы:

1. Для выполнения работы необходимо вспомнить материал 2 раздела «Полупроводниковые материалы» (В.А. Филиков «Электротехнические и конструкционные материалы». М. Издательский центр, «Академия», 2014.)
2. При выполнении работы нужно прочитать задания к каждому номеру работы и выполнить его.
3. При оформлении практической работы необходимо руководствоваться разделом инструкционной карты «Задания для отчета».

Задания практической работы:

1. Начертить схему кристаллической решетки чистого кремния.
2. Пояснить на схеме процесс появления свободных электронов.
3. Дополнить предложение: При разрыве ковалентных связей в полупроводнике возникают два механизма электропроводности _____
4. Дополнить предложение: Собственная проводимость – это _____
5. Пояснить влияние температуры на проводимость полупроводника.
6. Начертить схему появления тока в полупроводнике и пояснить.
7. Дополнить: на величину проводимости влияет _____
8. Показать соотношение концентрации носителей зарядов в собственном полупроводнике, и написать, от чего она зависит.
9. Дополнить предложение: Примесная проводимость – это _____
10. Начертить схему кристаллической решетки получения каждого вида примесной проводимости.
11. Показать соотношение между энергией активации в примесном полупроводнике и энергией отрыва электрона от атома в примесном полупроводнике. Написать вывод по соотношению.
12. Дополнить: Акцепторными называют примеси _____
13. Дополнить: Донорными называют примеси _____
14. Дополнить: Удельная электропроводность примесных полупроводников определяется _____
15. Написать вывод: Как влияют примеси и температура на проводимость полупроводников?

Задание для отчета.

При оформлении отчета выполнить следующие пункты:

1. Написать тему практической работы.
2. Написать цель практической работы.
3. Выполнить раздел «Задания практической работы»
4. Начертить схематически явление возникновения тока в полупроводнике.
5. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Дать пояснение электронно-дырочной проводимости.
2. Дать пояснение электронной проводимости.
3. Дать пояснение дырочной проводимости.
4. Как в полупроводниках появляются свободные частицы?
5. Дать определение собственной и примесной проводимости в полупроводниках.
6. Дать пояснение донорной проводимости и назвать примеры примесей.
7. Дать пояснение акцепторной проводимости и назвать примеры примесей.
8. Что влияет на подвижность носителей зарядов?
9. Пояснить процесс рекомбинации зарядов.

БПОУ ВО «Грязовецкий политехнический техникум»

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА

*на выполнение практической работы
по учебной дисциплине ОП.03 «Материаловедение»*

Практическая работа

«Исследование электротехнических материалов для распознавания и классификации их по внешнему виду и происхождению»

по специальности 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского
хозяйства

Тема работы: «Исследование электротехнических материалов для распознавания и классификации их по внешнему виду и происхождению»

Цель работы: получение практических навыков при распознании и классификации электротехнических материалов по внешнему виду, свойствам.

Теоретическая часть

Функции, которые делают материалы, многообразны: обеспечение протекания тока (в проводниковых материалах), сохранение определенной формы при механических нагрузках (в конструкционных материалах), обеспечение изоляции (в диэлектрических материалах), перевоплощение электронной энергии в термическую (в резистивных материалах).

Материалы играют определяющую роль в энергетике. Главные материалы, которые употребляются в энергетике, можно разделить на несколько классов: проводниковые материалы, магнитные материалы и диэлектрические материалы.

Проводниковые материалы: Проводниками называются материалы, главным электронным свойством которых является электропроводность.

В качестве проводников электронного тока могут быть применены как твердые тела, так и воды, а при соответственных критериях и газы. Важными фактически используемыми в электротехнике жесткими проводниками материалами являются металлы и их сплавы.

Полупроводниковые материалы: Полупроводниками называют материалы, которые являются по собственной удельной проводимости промежуточными между проводниковыми и диэлектрическими материалами, и отличительным свойством которых является зависимость удельной проводимости от концентрации и вида примесей либо других факторов. К полупроводникам относится большая группа веществ с электрической электропроводностью, удельное сопротивление которых при обычной температуре больше, чем у проводников, но меньше, чем у диэлектриков.

Диэлектрические материалы: Диэлектрическими называют материалы, главным свойством которых является способность к поляризации и может быть существование электростатического поля. Поляризацией диэлектрика называют появление в нем при внесении во внешнее электронное поле макроскопического собственного электронного поля, обусловленного смещением заряженных частиц, входящих в состав молекул диэлектрика. Диэлектрик, в каком появилось такое поле, называется поляризованным.

Магнитные материалы: Магнитными называют материалы, созданные для работы в магнитном поле. Магнитные материалы делят на слабомагнитные и сильномагнитные. К слабомагнитным относят диамагнетики и парамагнетики. К сильномагнитным – ферромагнетики, которые, в свою очередь, могут быть магнитомягкими и магнитотвердыми.

Композиционные материалы: Композиционные материалы – это материалы, состоящие из нескольких компонент, выполняющих различные функции, при этом между компонентами есть границы раздела.

Электроизоляционные материалы

Наиболее многочисленной группой, чрезвычайно важной для электротехники, являются диэлектрические материалы. Они предназначаются для ограничения путей электрического тока и по агрегатному состоянию их разделяют на: *газообразные; жидкые; твердеющие; твердые.*

По происхождению диэлектрики делятся: *природные (естественные); искусственные.*

По химической природе изоляционные материалы разделяют на: *органические; неорганические.*

По строению их делят: *аморфные; кристаллические; волокнистые.*

Представленная классификация влияет на свойства электроизоляционных материалов, которые оцениваются многочисленным рядом характеристик. Из них в практической деятельности следует постоянно помнить две:

- электрическую прочность (пробивную напряженность), т.к. диэлектрик теряет изоляционные свойства, если напряженность поля превысит критическое значение (МВ/м или кВ/мм);

- нагревостойкость, определяемую температурой, при которой электроизоляционный материал может работать длительно. Все электроизоляционные материалы по нагревостойкости разделены на классы:

Классы нагревостойкости	Допустимая рабочая температура, °C	Классы нагревостойкости	Допустимая рабочая температура, °C
Y	90		
A	105	F	155
E	120	H	180
B	130	C	более 180

Проводниковые материалы. Проводниковые материалы могут быть: *твердыми; жидкими; газообразными (при определенных условиях).*

Твердые (металлические) проводниковые материалы разделяют на: *металлы высокой проводимости; сплавы высокого сопротивления.*

Из металлов высокой проводимости для электротехники наибольший интерес представляют медь, алюминий и их сплавы.

Таблица: физические свойства основных металлов, применяемых в электротехнике

Металл	Плотность, $\text{Мг}/\text{м}^3$	Температура плавления, $^{\circ}\text{C}$	Удельное сопротивление, $\text{мк}\text{Ом}^*\text{м}$
Медь	8,9	1083	0,0172
Алюминий	2,7	657	0,028

В ремонтной практике электрических машин и аппаратов из проводниковых материалов широко используются обмоточные провода. Они изготавливаются из электролитической меди (ММ) и алюминия (АМ). Из меди марки М1, с содержанием примеси не более 0,1 %, можно получить провод диаметром до 0,03 – 0,02 мм, а из бескислородной меди марки МО, с содержанием примесей не более 0,05 %, в том числе кислорода не свыше 0,02 %, можно получать провод ещё меньшего диаметра.

Марки обмоточных проводов определяются как материалом провода, так и их изоляцией. Например, марка ПЭЛ – провод медный, покрыт лакостойкой эмалью на масляно-смоляной основе. АПЭЛ – изоляция та же, но материал провода – алюминий, на это указывает первая буква марки (А), при медном проводе специальных указаний не делается.

Изоляцию обмоточных проводов по её роду классифицируют на:

- эмалевую, например марки ПЭЛ, ПЭВ, ПЭМ, ПЭТВ, ПЭЛР и др.;
- волокнистую или стекловолокнистую – ПБД, ПШД, ПСД и др.;
- комбинированную – ПЭЛБО, ПЭЛБД, ПЭЛШО, ПЭЛЛО, ПЭВЛО, ПЭТВЛО, ПЭВТЛЛО и др.

Эмалевые изоляции проводов отличаются высокой электрической прочностью при малой толщине, что очень важно для лучшего использования площади пазов электрических машин или окон магнитопроводов трансформаторов. Однако они, как правило, имеют недостаточную механическую прочность.

Провода с волокнистой или стекловолокнистой изоляцией обладают большей механической прочностью, но, к сожалению, и большей толщиной, особенно из хлопчатобумажной или асбестовой пряжи.

Комбинированная изоляция проводов удачно сочетает преимущества двух указанных видов.

В особую группу входят провода с высокой нагревостойкостью:

- с эмалевой изоляцией ПЭТ-155 (155°C), ПНЭТ-имид (200°C);
- с волокнистой изоляцией ПСД (155°C), ПСДК (180°C);
- с комбинированной ПЭТЛО (130°C) и др.

Сплавы высокого сопротивления получили широкое применение при изготовлении электроизмерительных приборов, образцовых резисторов и нагревательных элементов: никелин, хромель, константан.

В первых двух случаях от них требуется высокое удельное сопротивление, и высокая стабильность во времени. Малый температурный коэффициент термоЭДС: в паре данного сплава с медью.

К проводниковым материалам относят также припои, специальные материалы, применяемые при пайке.

В зависимости от температуры плавления припои делят на две группы:

- мягкие (до 400°C) – припои оловянно-свинцовые (марка ПОС) применяются там, где требуется хороший электрический контакт;
- твёрдые (выше 500°C) – припои медно-цинковые (ПМЦ), серебряные – ПСр и др., применяются для получения и хорошего электрического контакта и механически прочного соединения.

Флюсы – это вспомогательные материалы при пайке. Они способны хорошо растворять и удалять окислы из расплава, создавать на его поверхности прочную пленку для защиты металлов от окисления, улучшать растекаемость припоя. В электротехнике в качестве флюса используется канифоль, бура и др.

Полупроводниковые материалы. Полупроводниковыми называют вещества с электронной электропроводностью, удельное сопротивление которых при нормальной температуре лежит между проводниками и диэлектриками. Управляемость электропроводностью полупроводников температурой, светом, электрическим полем, механическим усилием и пр. положено в основу работы многих специальных устройств. Используемые в практике полупроводниковые материалы подразделяют:

- простые полупроводниковые (элементы) к ним относятся кремний, германий;
- полупроводниковые химические соединения – тирил, виллит, силит.

Магнитные материалы. В качестве магнитных материалов используются материалы с высокой магнитной проницаемостью ($\mu > 1$) – железо, никель, кобальт и сплавы различного состава.

В зависимости от величины коэрцитивной силы (H_c) магнитные материалы принято делить на две большие группы: магнитно-мягкие, используемые в основном как проводники магнитного потока; магнитно-твёрдые, используемые как источники магнитного поля.

Магнитно-мягкие (с малым значением H_c) обладают высокой магнитной проницаемостью, малыми потерями на гистерезис. К ним относятся технически чистое железо, листовая электротехническая сталь, различные сплавы (permаллои, альсиферы). Используются для изготовления магнитопроводов электрических машин и аппаратов.

У магнитно-твёрдых материалов (с большим значением H_c) магнитная проницаемость ниже, чем у магнитно-мягких. Причём чем выше H_c , тем ниже магнитная проницаемость. К ним относятся легированные стали, закаливаемые на мартенсит, литые магнитно-твёрдые сплавы, магниты из порошков, магнитно-твёрдые ферриты. Используются для изготовления постоянных магнитов.

В электротехнике самое широкое применение получила листовая электротехническая сталь. Это сталь легированная кремнием, который резко повышает её удельное электрическое сопротивление, что снижает потери на вихревые токи, кроме того несколько увеличивает магнитную проницаемость и снижает потери на гистерезис, однако кремний понижает механические свойства стали.

Электротехническая сталь (толщиной 0,35 или 0,5 мм) по ГОСТ 21427.0-75 подразделяется на 38 марок. Она изготавливается в виде рулона, листов и резной ленты и предназначается для изготовления магнитопроводов электрических машин, аппаратов и приборов.

Обозначения марок электротехнических сталей осуществляется в соответствии с их классификацией.

В обозначении марки цифры означают:

первая – класс по структурному состоянию и виду прокатки (1 – горячекатаная изотропная; 2 – холоднокатаная изотропная; 3 – холоднокатаная анизотропная с ребровой текстурой);

вторая – содержание кремния:

0 – с массовой долей кремния до 0,4 % включительно,

1 – с массовой долей кремния св. 0,4 до 0,8 % включительно,

2 – с массовой долей кремния св. 0,8 до 1,8 % включительно,

3 – с массовой долей кремния св. 1,8 до 2,8 % включительно,

4 – с массовой долей кремния св. 2,8 до 3,8 % включительно,

5 – с массовой долей кремния св. 3,8 до 4,8 % включительно;

третья – группа по основной нормируемой характеристики:

0 – удельные потери при магнитной индукции $B = 1,7$ Тл и частоте 50 Гц ($P_{1,7/50}$),

1 – удельные потери при магнитной индукции $B = 1,5$ Тл и частоте 50 Гц ($P_{1,5/50}$),

2 – удельные потери при магнитной индукции $B = 1,0$ Тл и частоте 400 Гц ($P_{1/400}$) для горячекатаной или холоднокатаной изотропной стали и удельные потери при магнитной индукции $B = 1,5$ Тл и частоте 400 Гц ($P_{1,5/400}$), для холоднокатаной анизотропной стали,

6 – магнитная индукция в слабых магнитных полях при напряженности поля $H = 0,4$ А/м ($B_{0,4}$),

7 – магнитная индукция в средних магнитных полях при напряженности поля $H = 10$ А/м (B_{10}) или 5 А/м (B_5);

четвертая – порядковый номер типа стали.

Горячекатаная изотропная электротехническая сталь изготавливается в виде листов по ГОСТ 21427.3-75 следующих марок: 1211, 1212, 1213, 1311, 1311, 1312, 1313, 1411, 1412, 1413, 1511, 1512, 1513, 1514, 1521, 1561, 1562, 1571, 1572.

По точности прокатки по толщине подразделяют на сталь нормальной (Н) и повышенной (П) точности.

По состоянию поверхности на сталь: с травленой (Т) и НТ – нетравленой поверхностью.

Пример условного обозначения листа толщиной 0,5 мм, шириной 1000 мм, длиной 2000 м, повышенной точности прокатки, класса 2 с травленой поверхностью, из стали марки 1512: лист 0,50x1000x2000-П-2-Т-1512.

На холоднокатаную анизотропную сталь распространяется ГОСТ 21427.1-83 (с целью ориентации в направлении намагничивания) марки: 3311, 3412, 3413, 3414, 3415, 3416, 3404, 3405, 3406.

Выпускается в рулонах, листах, в виде ленты.

По виду покрытия: с электроизоляционным термостойким покрытием ЭТ, М – мягкое покрытие, БП – без изоляционного покрытия.

Тонколистовая холоднокатаная изотропная электротехническая сталь выпускается в виде рулонах, листов резной ленты следующих марок по ГОСТ 21427.2-83: 2011, 2013, 2111, 2112, 2211, 2212, 2311, 2312, 2411, 2412, 242.

По типу покрытия, как у стали холоднокатаной анизотропной.

Железно-никелевые сплавы. В этих сплавах важнейшей составной частью является никель Ni. В зависимости от содержания Ni меняются магнитные свойства сплава (Рис. 1). При 27% Ni сплав NiFe является немагнитным. Индукция B_S достигает максимум при 50% Ni.

Рисунок 1 – Величина индукции насыщения $B_S = f(Ni, \%)$

При намагничивании в переменном поле существенное значение имеет величина активного электрического сопротивления сплава, т.к. от нее зависит величина потерь на вихревые токи. Из рис. 2 видно, что наибольшее активное сопротивление имеет сплав с содержанием Ni 30 – 35 %.

Рисунок 2 – Удельное сопротивление ρ сплавов

Магнитные материалы этого типа называются пермаллоями. Эти сплавы по составу делятся на 4 группы: 1 – с содержанием кремния больше 75 %; 2 – около 65 %; 3 – 50 %; 4 – около 35 %.

Марки этих сплавов и химические составы устанавливаются по ГОСТ 10994-74 и приведены в [6]. Марки сплавов состоят из двузначного числа, обозначающего среднее содержание элемента в % и буквенных обозначений элементов. Буква П означает, что в результате особой технологии изготовления и режима термостойкости сплав обладает прямоугольной петлей гистерезиса (Рис. 3). А – суженные пределы химического состава.

Рисунок 3 – Осциллограммы петли гистерезиса 50 Гц

Наибольшее распространение получил сплав 79НМ:

$Si = 0,3\text{--}0,5 \%$, $Mn = 0,6\text{--}1,1 \%$, $Ni = 78,5\text{--}80 \%$ $Mo = 3,8\text{--}4,1 \%$, $Cu = 0,2 \%$, плотность $8,6 \text{ Мг/м}^3$.

Ферриты. Ферриты – магнитные материалы на основе оксидов металлов. Промышленные магнитно-мягкие ферриты – это в основном поликристаллические материалы, синтезируемые по керамической технологии, включающей в себя составление смеси оксидов в заданной пропорции, ферризацию смеси, формирование изделий и их последующее спекание.

Наибольшее распространение получили 2 группы магнитно-мягких ферритов:

1. Mn-Zn марганцево-цинковые – твердые растворы феррита марганца ($MnFeO$) и феррита цинка $ZnFeO$;

2. Ni-Zn никель-цинковые – твердые растворы феррита никеля ($NiFeO$) и феррита цинка $ZnFeO$.

Разнообразие марок Mn-Zn и Ni-Zn ферритов определяется соотношением основных компонентов, наличием легирующих присадок и режимов синтеза.

По своим электрическим свойствам ферриты являются полупроводниковыми материалами. Их проводимость увеличивается с ростом температуры.

Исходя из условий эксплуатации и области применения ферритовых сердечников, магнитомягкие ферриты делятся на 2 группы.

Ферриты общего применения (1-я группа) включает в себя Ni-Zn ферриты марок 100НН, 400НН, 900НН, 600НН, 1000НН, 2000НН, и Mn-Zn ферриты марок 1000НМ, 1500НМ, 2000НМ, 3000НМ. Ферриты данной группы используется в слабых и сильных полях в диапазоне частот до 30 МГц в качестве сердечников трансформаторов, дросселей магнитных антенн и в другой аппаратуре, где нет особых требований к температурной и временной стабильности параметров.

Магнитные потери Mn-Zn ферритов значительно ниже, чем Ni-Zn при близких значениях начальной магнитной проницаемости. Ширина петли гистерезиса у них меньше ввиду меньших значений остаточной индукции и коэрцитивной силы при достаточно высоких значениях индукции.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. В отчете каждому образцу электроизоляционных материалов, приведенных на стенде, дать краткую характеристику: метод получения, электрическая прочность, класс нагревостойкости, области применения, достоинства и недостатки.

2. Каждому образцу проводниковых и полупроводниковых материалов, приведенных на стенде, составить характеристику:

а) медь, алюминий, латунь, бронза – получение, содержание примесей, марки, основные свойства, влияние обработки, области применения;

б) обмоточные провода – материал провода, его изоляция, допустимые температуры нагрева, области применения;

в) константан, никром – содержание элементов, основные параметры, области применения;

г) припои – тип по температуре плавления, характерные особенности, области применения;

д) флюсы – группы по действию, оказываемому на металл, особенности, области применения;

е) угольные щётки – тип, основные параметры, области применения;

ж) кремний, германий – получение, основные параметры, области применения.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение понятия «электротехнические материалы».
2. Каков характер энергетического спектра электронов в твердых телах?
3. Почему при анализе свойств веществ рассматривается не весь энергетически спектр электронов в твердом теле, а только его часть?
4. Нарисуйте энергетические диаграммы основных классов материалов.
5. На какие классы делятся материалы по отношению к электромагнитному полю?
6. В чем отличие энергетических диаграмм проводников, полупроводников и диэлектриков?
7. Что такое пространственная кристаллическая решетка и кристаллическая структура?
8. Дайте определение термина «проводник».
9. Что является количественной мерой электропроводности и какой параметр для ее характеристики используется в инженерной практике?
10. Запишите и поясните формулу для расчета температурного коэффициента удельного сопротивления.
11. Перечислите проводниковые материалы с высокой удельной проводимостью.
12. Каков порядок величины удельной проводимости меди, алюминия, серебра?
13. Перечислите проводниковые материалы с высоким удельным сопротивлением.
14. Как делятся резисторы по типу материала токопроводящего элемента и конструктивному исполнению?

БПОУ ВО «Грязовецкий политехнический техникум»

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА

*на выполнение практической работы
по учебной дисциплине ОП.03 «Материаловедение»*

Практическая работа

«Исследование схемы возникновения термоЭДС»

по специальности 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского
хозяйства

Тема работы: «Исследование схемы возникновения термоЭДС»

Цель работы: ознакомиться с эффектом проявления термоЭДС в металлических проводниках. Освоить методику исследования термоЭДС и применения эффекта термоЭДС при изготовлении термопар.

Теоретическая часть

Термопара – термоэлемент, применяемый в измерительных и преобразовательных устройствах, а также в системах автоматизации.

Под термоэлектрическим эффектом понимается генерирование термоэлектродвижущей силы (термоЭДС), возникающей из-за разности температур между двумя соединениями различных металлов и сплавов. Принцип действия термопары основан на эффекте Зеебека: если две проволоки из разных металлов с одного конца спаять (это место будет называться рабочим или горячим спаев) и нагреть до температуры T_1 , то на оставшихся свободных концах проволок (холодный спай) с более низкой, комнатной температурой T_2 появиться термоЭДС. Чем выше разница температур между рабочим и холодным спаев ΔT , тем больше термоЭДС. Величина термоЭДС не зависит от диаметра и длины проволок, а зависит от материала проволок и температуры спаев.

Термопары могут изготавливаться из различных металлов, но наиболее распространёнными являются: медь-константан, хромель-алюмель, платина-родий, медь-железо, константан-железо, медь-копель, железо-копель и другие.

Наибольшее распространение получили термопары градуировок ХА (хромель-алюмелевые). Они имеют диапазон 0-1300°C. Термопары градуировки ППР (платина-платинородиевые) имеют температурный диапазон 0-1600°C. Кроме возможности измерять температуру 1600°C и выше, они обладают еще одним преимуществом – высокой точностью.

Максимальные возможности для измерения температуры дают термопары типа ВР (вольфрам-рений) – до 2800°C.

При соприкосновении двух разнородных металлов вследствие теплового движения происходит переход электронов из одного металла в другой. Так как работа выхода электронов из различных металлов разная и число свободных электронов, приходящихся на единицу объёма, тоже разное, то в результате соприкосновения один металл зарядится положительно, а другой – отрицательно. Возникшая при этом разность потенциалов называется контактной.

Таким образом, если два разнородных металла спаять или спаять концами, то в образовавшейся цепи электродвижущая сила будет равна нулю. Если же в

спаях поддерживать различную температуру, то в замкнутой цепи возникает термоэлектродвижущая сила.

Такая замкнутая цепь из двух разнородных проводников называется **термоэлементом или термопарой**.

Существует много способов формирования рабочего спая термопары: механическое скручивание, пайка, сварка и т.д. При сварке в спай добавляется третий метал, т.к. температуры проводников, исходящих из спая одинаковы, это не может привести к какой-либо погрешности.

ТермоЭДС может принимать одинаковые значения при различных значениях ($T_1 - T_2$). Например, разности температур $(200 - 50)^\circ\text{C}$ и $(150 - 0)^\circ\text{C}$ дадут одинаковые значения термоЭДС, хотя при этом разность значений температур рабочих спаев в этих двух случаях достигала $200 - 150 = 50^\circ\text{C}$. Поэтому во вторичном приборе вблизи входных клемм, к которым подключается термопара, монтируется датчик температуры холодного спая. Значит по измеренной термоЭДС и известной температуре холодного спая, вторичный прибор, зная градуировку подключенной термопары, может замерить температуру рабочего спая.

Термопары ХА изготавливают самостоятельно, сваривая специальную проволоку диаметром 2-3 мм. Для определения полярности полученной термопары в этом случае используют обычный магнит: минус термопары притягивается к магниту, плюс не магнититься. На компенсационный провод и большинство промышленно выпускаемых термопар ХА это правило не распространяется. Определить полярность термопары можно и с помощью обычного милливольтметра, подключив его к выводам термопары и нагревая рабочий спай термопары, например, зажигалкой.

Термопара состоит из двух металлов, сваренных на одном конце. Эта часть ее помещается в месте замера температуры. Два свободных конца подключаются к измерительной схеме (милливольтметру).

Если спай двух металлов А и В (термопара) имеет температуру T_1 , а свободные (неспаянные) концы температуру T_2 , причем $T_1 > T_2$, то между свободными концами возникает термоЭДС: $\varepsilon = \alpha_{A-B}(T_1 - T_2)$,

где $\alpha_{A-B} = \frac{k}{e} \cdot \ln \frac{n_1}{n_2}$ – коэффициент термоЭДС или относительная удельная

термоЭДС,

k – постоянная Больцмана,

e – заряд электрона,

n_1, n_2 – концентрации свободных электронов в соприкасающихся металлах.

Наиболее распространены термопары платино-платинородиевые (ПП), хромель-алюминиевые (ХА), хромель-копелевые (ХК), железоконстантовые (ЖК), алюмелевые. Термопары пригодны для измерения температур в диапазоне от 0 до 2300°C, и в области низких температур до -200°C.



Рис. Термопара

Схемы подключения термопар к измерительному прибору показаны на рис. В реальной практике в большинстве случаев используют вторую схему, где измерительный прибор включается в разрыв одного из термоэлектродов. Подобное подключение позволяет компенсировать не нужную термоЭДС, возникающую в точках подключения термоэлектродов к проводам, ведущим к прибору. Эти точки в случае первой схемы хотя и находятся при одинаковой температуре, но соединяют разные по физическим свойствам проводники (например, медь-железо и медь-константан, если соединительные провода медные), в результате чего в них может возникать дополнительная не скомпенсированная термоЭДС, влияющая на результаты измерения. Термопара на основе такой схемы подключения называется дифференциальной.

Следует отметить, что схема подключения может содержать и большее количество спаев, чем два. Такие схемы могут использоваться для измерения, например, средней температуры объекта по нескольким точкам замера.

Для расчета суммарной термоЭДС в цепи дифференциальной термопары необходимо знать как минимум температуру одного из спаев. Раньше холодные спаи опускались в сосуды с тающим льдом для поддержания их температуры, равной 0°C (отсюда появилось название «холодные спаи»). Сейчас температура холодного спая контролируется дополнительным детектором (например, терморезистором).

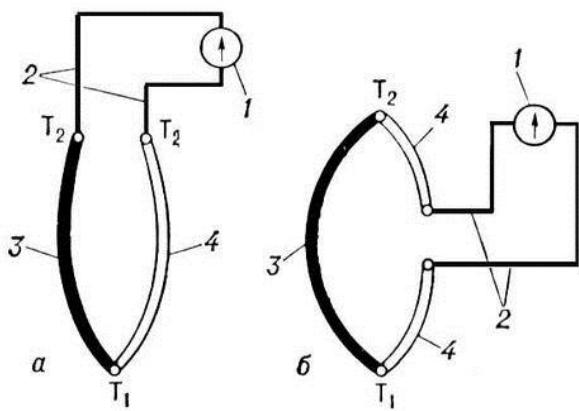
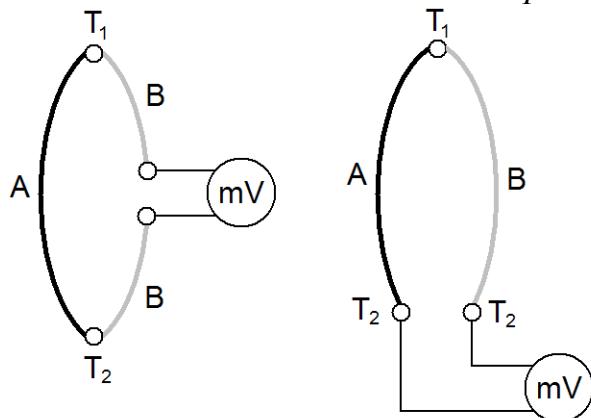


Рис. Способы подключения термопары



Зависимость сопротивления металлического термометра сопротивления от температуры, также как и величины ЭДС термопары от температуры, нелинейные в широком диапазоне температур, но на определенном участке их можно считать линейными и пользоваться для расчета линейными зависимостями.

ТермоЭДС некоторых термопар (мВ) для разности температур 100 К
(температура холодного спая 0°C)

Термопара	U, мВ
Железо – константан	5,37
Медь – константан	4,25
Нихром – никель	4,1
Нихром – константан	6,21
Платина – платинородий	0,643
Железо – медь	1,05

Термопары широко применяют для измерения температуры различных объектов. К числу достоинств термопар относятся также малая инерционность, возможность измерения малых разностей температур. Термопары незаменимы при измерении высоких температур (вплоть до 2500°C) в агрессивных средах. Термопары могут обеспечивать высокую точность измерения температуры на уровне ±0,01°C.

В таблице приведены особенности и области применения некоторых типов термопар.

Тип термопары	Особенности применения
TXA(Хромель-алюмель)	Обладают: наиболее близкой к прямой характеристикой. Предназначены для работы в окислительных и инертных средах.
TXK (Хромель-кобальт)	Обладают: наибольшей чувствительностью; высокой термоэлектрической стабильностью при температурах до 600°C. Предназначены для работы в окислительных и инертных средах. Недостаток: высокая чувствительность к деформациям.
TPP (Платина-платинородий)	Обладают: хорошей устойчивостью к газовой коррозии, особенно на воздухе при высоких температурах; высокой надежностью при работе в вакууме (но менее стабильны в нейтральных средах). Предназначены для длительной эксплуатации в окислительных средах. Недостаток: высокая чувствительность термоэлектродов к любым загрязнениям, появившимся при изготовлении, монтаже или эксплуатации термопар.
TBP (Вольфрам - рений)	Обладают: возможностью длительного применения при температурах до 2200°C в неокислительных средах; устойчивостью в аргоне, гелии, сухом водороде и азоте. Термопары с термоэлектродами из сплава платины с 10% родия относительно электрода из чистой платины могут использоваться как стандартные для установления номинальных статических характеристик термопар методом сравнения. Недостаток: плохая воспроизводимость термоЭДС, вынуждающая группировать термоэлектродные пары по группам с номинальными статическими характеристиками A-1, A-2, A-3.
TNN (Никросил - нисил)	Обладают: высокой стабильностью термоЭДС (по сравнению с термопарами TXA, TPP, TPR); высокой радиационной стойкостью; высокой стойкостью к окислению электродов. Предназначены в качестве универсального средства измерения температур в диапазоне температур 0-1230°C

Цель работы:

1) создать опытный образец хромель-алюмелевой термопары для измерения температуры в школьной лаборатории;

- 2) провести диагностические замеры;
- 3) проанализировать экспериментальный материал и сделать обобщения.

Оборудование: проволоки (хромель, алюмель) толщиной 2 мм, керамические бусы, изолирующая перемычка (клеммы), цифровой мультиметр, электронный термометр ТЭН-5, сосуд с водой, электрическая плитка.

Порядок работы:

1. *Подбор проволоки.* Выбрать две проволоки из хромеля и алюмели диаметром поперечного сечения 2 мм. (хромель - никелевый термоэлектродный сплав, состоящий из следующих элементов: хром (Cr) - 8,7-10%, никель (Ni) - 89-91%, примеси кремния (Si), меди (Cu), марганца (Mn), кобальта (Co). Алюмель - никелевый термоэлектродный сплав, который состоит из никеля (Ni) - 93-96%, алюминия (Al) - 1,8-2,5%, марганца (Mn) - 1,8-2,2%, кремния (Si) - 0,8-1,2%, кобальта (Co) - 0,5%).

2. *Формирование рабочего конца термопары.* При формирования рабочего конца воспользуйтесь механическим скручиванием.

3. *Изолирование проводников.* На скрученные с одного конца проволоки, надеть керамические бусы с целью изолировать проволоки друг от друга по всей длине. Для удобства использования свободные концы проволок соединить с клеммами, расположенными в головке термопары (изолирующая перемычка).

4. *Калибрование термопары.* Выходным сигналом термопары является термоЭДС, измеряемая в милливольтах (мВ). $E = f(T_1 - T_2)$, мВ

Для определения выходного сигнала используйте цифровой мультиметр. Температуру холодных концов проволоки считать равной температуре окружающей среды. Опустим рабочий конец термопары опустить в воду, нагреть, измеряя температуру с помощью термометра. Значение термоЭДС отметить по мультиметру (Таблица):

T₁,°C	T₂,°C	T₁-T₂,°C	E, мВ
40°C	22°C	18°C	1,3 мВ
50°C		28°C	1,5 мВ
60°C		38°C	1,8 мВ

70°C		48°C	2,0 мВ
80°C		58°C	2,5 мВ
90°C		68°C	2,9 мВ
100°C		78°C	3,1 мВ

E , мВ – термоЭДС,

T_1 , °C – температура горячей воды,

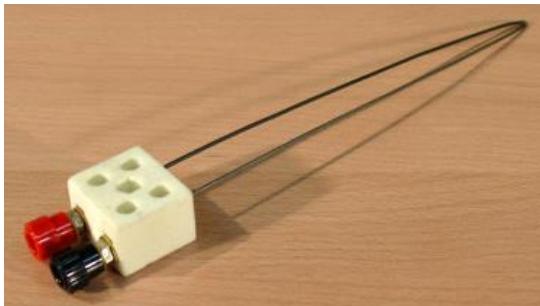
T_2 , °C – температура окружающей среды,

$T_1 - T_2$, °C – разность температур.

Проведя измерения, построить график зависимости между термоЭДС и температурой.

Различные виды термопар





Задание для отчета:

1. Написать тему и цель работы.
2. Описать каждый пункт выполнения работы.
3. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается эффект термоЭДС?
2. Нарисуйте принципиальную электрическую схему установки.
3. расскажите о практических приложениях эффекта термоЭДС.
4. Контактная разность потенциалов, причины её возникновения.
5. Что такое термо-ЭДС? Как она возникает, от чего зависит?
6. Каков физический смысл постоянной термопары?
7. Термоэлектрические приборы и их практическое применение.
8. Что такое контактная разность потенциалов?
9. При каком условии появляется термоЭДС в цепи, состоящей из разнородных материалов?
10. Чем определяется нижний и верхний предел измеряемых температур с помощью термопар?

БПОУ ВО «Грязовецкий политехнический техникум»

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА

*на выполнение лабораторной работы
по учебной дисциплине ОП.03 «Материаловедение»*

Лабораторная работа

«Приготовление электролитов для аккумуляторов и определение плотности электролитов»

по специальности 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского
хозяйства

Тема работы: «Приготовление электролитов для аккумуляторов и определение плотности электролитов»

Цель работы:

Получение практических навыков по приготовлению электролита. Освоение приемов определения плотности электролитов.

Приборы и оборудование:

Ареометр из стеклянной запаянной полой трубы и бумажной шкалы с делениями. Нижняя часть ареометра – трубка большого диаметра, на дне которой балласт (определенное количество ртути или дроби); стеклянная или фарфоровая посуда; мерный стакан и стеклянные или эbonитовые палочки.

Введение:

Для кислотных (свинцовых) аккумуляторов в качестве электролита применяют безводную (аккумуляторную) серную кислоту, растворенную в дистиллированной воде. Исправная работа аккумулятора во многом зависит от чистоты электролита, поэтому составные части электролита – кислота и вода – не должны содержать водных примесей.

Плотность электролита сравнивают с плотностью дистиллированной воды, которая равна 1. Тогда плотность безводной серной кислоты равна 1,84 г/см³. Величину плотности электролита для различных типов аккумуляторов устанавливает завод-изготовитель.

С изменением температуры электролита меняется его плотность. За номинальную температуру электролита принята температура 15°C. При температуре выше 15°C вводят поправку + 0,0007; при температуре ниже 15°C вводят поправку - 0,0007. Чем меньше плотность электролита, тем меньше внутреннее сопротивление аккумулятора, тем более долговечны его пластины. Но зато, чем больше вес аккумулятора, и его габариты, тем больше подвержен электролит замерзанию. По величине плотности электролита судят о процессе зарядки аккумулятора и ее окончании, поэтому плотность необходимо уметь измерять.

Для приготовления электролита надо лить кислоту в воду, а не наоборот. В этом случае реакция идет под слоем воды и безопасна для работающего. Если лить воду в кислоту, то реакция идет на поверхности кислоты и вода разбрызгивается с каплями кислоты, которые могут вызвать ожоги.

Для приготовления электролита определенной плотности можно пользоваться данными таблицы 1.

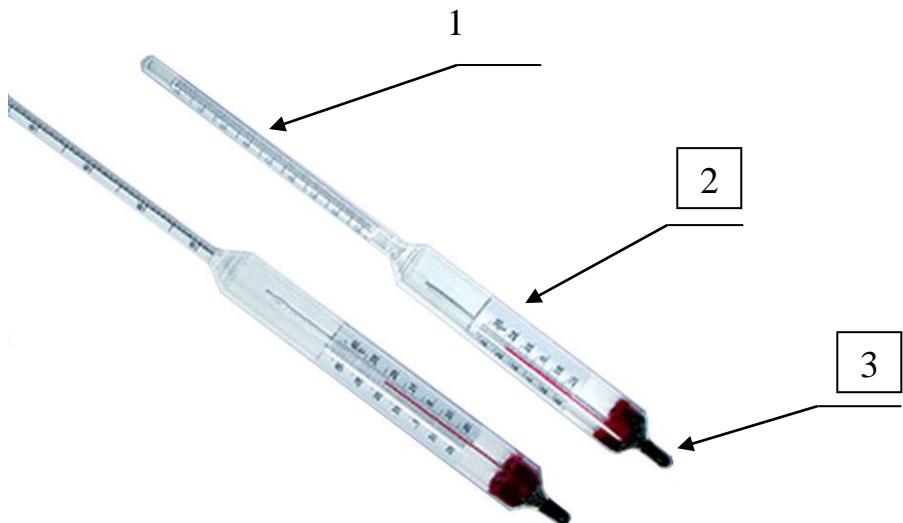
Таблица 1. Содержание безводной серной кислоты плотностью 1,84 г/см² в электролите.

Плотность Электролита, г/см ³	Кол-во серной кислоты, г/1л						
1	0	1,134	214	1,308	527	1,547	990
1,007	12	1,143	229	1,320	548	1,563	1022
1,014	23	1,152	244	1,332	572	1,580	1054
1,022	34	1,162	259	1,345	596	1,597	1091
1,029	46	1,171	275	1,357	619	1,615	1128
1,037	58	1,180	292	1,370	643	1,635	1168
1,045	71	1,190	310	1,383	669	1,652	1200
1,052	81	1,200	328	1,397	697	1,671	1249
1,060	93	1,210	346	1,410	721	1,693	1293
1,067	105	1,220	364	1,424	748	1,710	1340
1,075	117	1,231	382	1,438	776	1,732	1386
1,083	130	1,241	401	1,453	805	1,753	1442
1,091	145	1,252	421	1,468	834	1,775	1491
1,100	158	1,263	441	1,483	863	1,790	1539
1,108	172	1,274	461	1,498	894	1,820	1636
1,116	186	1,285	483	1,515	926	1,839	1839
1.125	199	1,297	504	1,530	958	-	-

Например: Имеется раствор серной кислоты плотностью 1,41. Определить, сколько необходимо взять такого раствора и дистилированной воды для приготовления 5 л. Электролита плотностью 1,22. По таблице определяем, что 1 л. Электролита плотностью 1,22 содержит 364 г. кислоты. 5 л электролита должны содержать: $364 * 5 = 1820$ г = 1,82 кг кислоты. По той же таблице определяем, что 1 л. Раствора плотностью 1,4 содержит 721 г. кислоты. Следовательно, для получения 1,82 кг кислоты нужно взять: $1,82 / 0,721 = 2,5$ л раствора плотностью 1,41. Для получения 5 л электролита плотностью 1,22 следует взять 2,5 л раствора серной кислоты плотностью 1,41; а остальные 2,5 л – дистиллированной воды.

Приборы и оборудование:

Для определения плотности электролита требуется ареометр, который состоит из стеклянной запаянной полой трубы и бумажной шкалы с делениями. Нижняя часть ареометра представляет собой трубку большего диаметра, на дне которой находится балласт – определенное количество ртути. Стеклянная или фарфоровая посуда, мерный стакан и стеклянные или эbonитовые палочки.



Ареометр: 1 – шкала ареометра, 2 – шкала ртутного термометра, 3 – балласт.

Порядок проведения работы:

1. Залить в приготовленную посуду дистиллированную воду. Количество воды и кислоты брать в соответствии с таблицей 1.
2. Вливать осторожно тонкой струйкой кислоту из мерного стакана в дистиллированную воду, помешивая раствор стеклянной или эбонитовой палочкой.
3. После остывания раствора измерить плотность электролита ареометром и сравнить его с данными таблицы 1.
4. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу № 2.

Таблица 2. Результаты измерений и вычислений.

№ п/п	Температура, °С.	Электролит			
		Наименование	% содержания	Расчетное значение плотности, г/см ³	Плотность измерения ареометром, г/см ³

Правила техники безопасности:

1. Для приготовления электролита необходимо вливать кислоту в воду, а не наоборот. В этом случае реакция идет под слоем воды и безопасна для работающего. Если лить воду в кислоту, то реакция идет на поверхности кислоты и вода разбрызгивается с каплями кислоты, которые могут вызвать ожоги кожи.

2. Место случайного ожога кислотой следует слабым раствором соды, затем холодной водой, смазать вазелином и наложить повязку.

3. Необходимо использовать спецодежду: резиновые перчатки, сапоги и фартук, покрывающий голенища сапог. Также необходимо использовать защитные очки.

Контрольные вопросы:

1. Почему исходные материалы для приготовления электролита не должны содержать примесей?
2. Почему при приготовлении электролита надо лить кислоту в воду, а не наоборот?
3. Что называется плотностью электролита?
4. Как температура электролита влияет на величину его плотности?

Содержание отчета:

1. Тема работы.
2. Краткое описание установки, ее схемы.
3. Перечень используемых образцов.
4. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
5. Ответы на контрольные вопросы.

Литература, необходимая при ответах на вопросы:

1. Батиенков В. Т. Материаловедение: Учебник / В.Т. Батиенков, Г.Г. Сеферов, А.Л. Фоменко, Г.Г. Сеферов; Под ред. В.Т. Батиенкова. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 151 с.:
2. Стуканов В. А. Материаловедение: Учебное пособие / В.А. Стуканов. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 368 с.
3. В.Н. Бородулин, А. С. Воробьев, В.М. Матюнин; под ред. В.А. Филикова. Электротехнические и конструкционные материалы: учеб. пособие для студ. сред. проф. Образования/ – М.: Издательский центр «Академия», 2014.-280 с.

БПОУ ВО «Грязовецкий политехнический техникум»

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА

*на выполнение лабораторной работы
по учебной дисциплине ОП.03 «Материаловедение»*

Лабораторная работа «Механические испытания электроизоляционных материалов на растяжение и сжатие»

по специальности 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского
хозяйства

Тема работы: Механические испытания электроизоляционных материалов на растяжение и сжатие.

Цель работы:

Ознакомление с испытательными разрывными машинами. Изучение методов определения разрушающих нагрузок и сравнение опытных данных с табличными.

Введение:

Для полного представления о свойствах электроизоляционных материалов необходимо знать не только их электрические, но и механические характеристики.

К механическим характеристикам материалов относят: предел прочности при растяжении σ_p , предел прочности при сжатии σ_c , предел прочности при статическом изгибе σ_{iz} .

Предел прочности материала определяется отношением разрушающей нагрузки P_p , P_c , P_{iz} к площади первоначального поперечного сечения образца материала S_o .

Предел прочности при растяжении вычисляют по формуле:

$$\sigma_p = P_p / S_o$$

где P_p – разрушающая нагрузка, Н;

S_o – первоначальная площадь наименьшего поперечного сечения образца, измеренная до приложения нагрузки, м².

Относительное удлинение L_p при растяжении, если сечение образца по всей длине одинаково, рассчитывают по формуле:

$$L_p = (\Delta L_p / L_o) 100\%,$$

где L_o – длина образца до приложения нагрузки;

ΔL_p – удлинение образца в момент, предшествующий разрыву ($\Delta L_p = L_p - L_o$).

L_p и L_o должны измеряться в одинаковых единицах.

Предел прочности при сжатии вычисляют по формуле:

$$\sigma_c = P_c / S_o,$$

где P_c – разрушающая нагрузка, Н;

S_o – площадь поперечного сечения образца материала до испытания, м².

Предел прочности при статическом изгибе вычисляют по формуле:

$$\sigma_{iz} = 1,5 PL / bh^2$$

где P – разрушающая нагрузка, Н;

L – пролет между опорами, м;

b – ширина образца, м;

h – толщина образца, м.

Испытание на изгиб пластичных масс производят на стандартных образцах длиной 120 мм и поперечным сечением 15×10 мм, т.е. $b = 1,5$ см; $h = 1$ см. Пролет L между опорами берут 10 см.

Приборы и оборудование

Для механических испытаний материала на растяжение и сжатие используют разрывные машины. На рисунке 1 показана схема разрывной машины с ручным приводом. Груз 4 укрепляют на длинном плече 1 неравноплечевого рычага, поворачивающегося вокруг оси. При вращении маховика с рукояткой 16 усилие через пару конических зубчатых колес 17 передается на укрепленный в зажимах 12 и 14 испытываемый образец 13. Верхний зажим 12 прикреплен к цепи, другой конец которой прикреплен к короткому плечу 9 рычага.

В момент разрушения образца собачка 2, связанная с рычагом, упирается в зубец секторной зубчатой рейки 6, сбоку которой находится шкала 3, и положение рычага фиксируется. Величина разрушающей нагрузки отсчитывается по шкале 3 при помощи указателя 5.

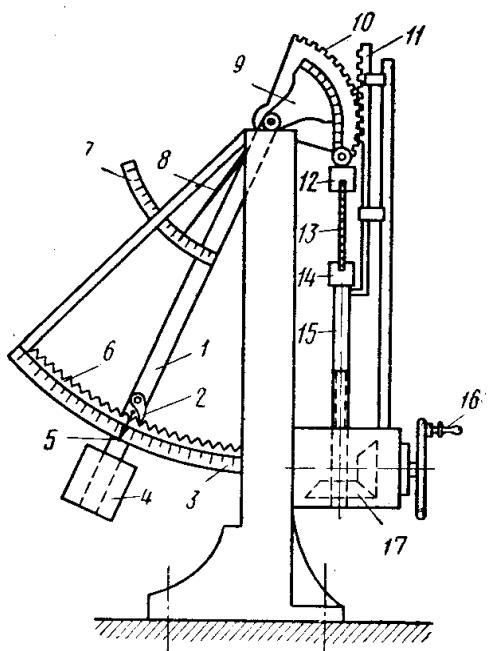


Рис 1. Схема разрывной машины с ручным приводом:

1 – длинное плечо рычага; 2 – собачка; 3 – неподвижная шкала (шкала нагрузок); 4 – груз; 5 – указатель нагрузок; 6 – секторная зубчатая рейка; 7 – подвижная шкала (шкала удлинений); 8 – указатель шкалы удлинений; 9 – короткое плечо рычага (сектор); 10 – зубчатый сектор; 11 – зубчатая рейка; 12 – верхний зажим; 13 – испытываемый образец; 14 – нижний зажим; 15 – винтовой вал; 16 – рукоятка маховишка; 17 – конические зубчатые колеса.

Машина снабжена также шкалой 7 для отсчета удлинения образца материала, которая крепится к длинному плечу рычага. Указатель 8 шкалы удлинений при помощи зубчатого сектора 10 и рейки 11 связан с нижним зажимом 14. Это позволяет отсчитать удлинения образца материала при растяжении.

Материал испытывают на сжатие на разрывной машине, но при помощи реверсора (рис.2). Реверсор – приспособление, позволяющее менять направление усилия.

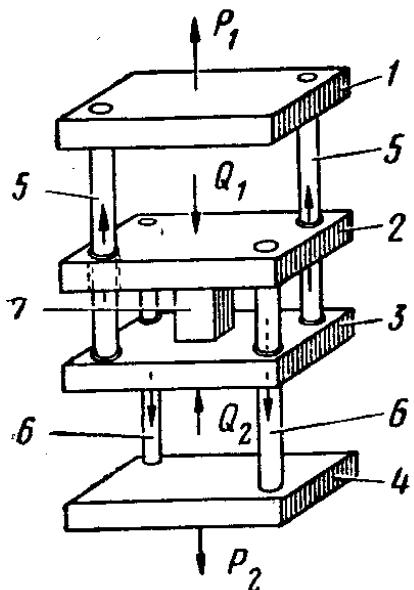


Рис 2. Схема приспособления для испытания на сжатие (реверсора):
1, 2, 3 и 4 – стальные пластины; 5 – первая пара стержней; 6 – вторая пара стержней; 7 – образец испытываемого материала.

Пластины 1 и 4 закрепляют в зажимах 12 и 14 разрывной машины. При удалении пластин 1 и 4 друг от друга под действием сил P_1 и P_2 образец 7, находящийся между пластинами 2 и 3, испытывает сжатие под влиянием сил Q_1 и Q_2 .

Размеры и формы образцов разных электротехнических материалов для механических испытаний различны. При испытании бумаг на разрыв берут образец (полоску) шириной 15 мм, а при испытании картонов – шириной 50 мм и длиной 150-200 мм (рис. 3).

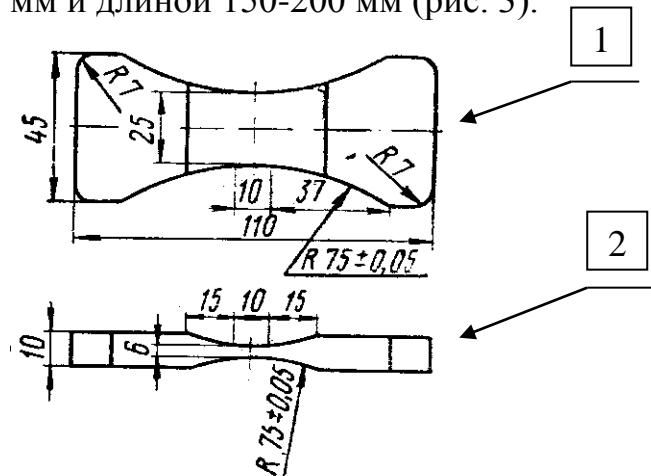
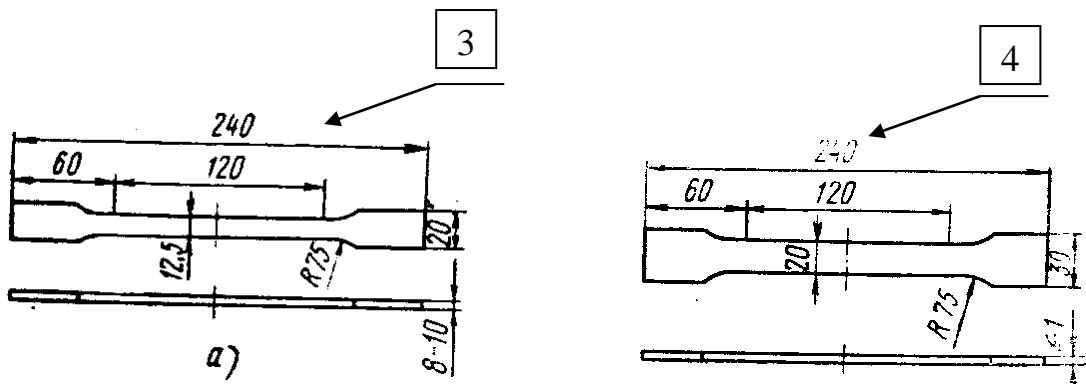


Рис 3. Образцы для испытания на сжатие и растяжение слоистых пластиков и листовых материалов:
1 – для материалов с толщиной листа 10 мм и выше;
2 – для более тонких материалов.



На рисунке 3 (1 и 2) показаны форма и размеры образца для испытания на растяжение пластических масс, а на рисунке 3 (3 и 4) – образцы для испытания слоистых пластиков (гетинакса, текстолита, стеклотекстолита) и листовых материалов (винипласта, оргстекла, фибры). При испытании на сжатие образцы пластмасс выполняют в виде цилиндров высотой 15 мм и диаметром 10 мм. Основания цилиндра должны быть гладкими и строго перпендикулярными его оси. При испытании слоистых пластиков на сжатие образцы выполняют в виде параллелепипедов высотой 15 мм и основанием 10×10 мм (слоистые пластики, толщина которых меньше 15 мм, на сжатие не испытывают).

Порядок проведения работы:

1. Проверить геометрические размеры приготовленных образцов масштабной линейкой. Измерить толщину листовых электроизоляционных материалов (винипласти, бумаги, фибры, пластмассы, резины) микрометром.
 2. Укрепить соответствующий образец в клиновых зажимах разрывной машины и вращая рукоятку с заданной скоростью, вести наблюдение за состоянием образца и изменением положения рычага с разновеликими плечами. Записать в момент разрыва образца показание указателя, соответствующее разрушающей нагрузке, а также удлинение образца, показываемое указателем на шкале.
 3. Поместить в приспособление, применяемое для испытания. Испытать образец на сжатие.
 4. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу.

Контрольные вопросы:

1. Чем характеризуется механическая прочность на растяжение, сжатие и статический изгиб?
2. Приведите примеры работы изделий из электротехнических материалов на растяжение, сжатие и статический изгиб.
3. Приведите формулы для расчета предела прочности при испытании на растяжение, сжатие и статический изгиб.

Составить отчет:

1. Тема работы.
2. Краткое описание установки, ее схемы.
3. Перечень используемых образцов.
4. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
5. Ответы на контрольные вопросы.

Литература, необходимая при ответах на вопросы:

1. Батиенков В. Т. Материаловедение: Учебник / В.Т. Батиенков, Г.Г. Сеферов, А.Л. Фоменко, Г.Г. Сеферов; Под ред. В.Т. Батиенкова. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 151 с.:
2. Стуканов В. А. Материаловедение: Учебное пособие / В.А. Стуканов. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 368 с.
3. В.Н. Бородулин, А. С. Воробьев, В.М. Матюнин; под ред. В.А. Филикова. Электротехнические и конструкционные материалы: учеб. пособие для студ. сред. проф. Образования/ – М.: Издательский центр «Академия», 2014.-280 с.

БПОУ ВО «Грязовецкий политехнический техникум»

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА

*на выполнение лабораторной работы
по учебной дисциплине ОП.03 «Материаловедение»*

Лабораторная работа

«Определение дугостойкости (искростойкости) диэлектриков»

по специальности 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского
хозяйства

Тема работы: «Определение дугостойкости (искростойкости) диэлектриков»

Цель работы:

Проверить несколько диэлектриков на дугостойкость.

Приборы и оборудование:

Прибор для определения дугостойкости твердых органических материалов, измерительные приборы: милиамперметр и вольтметр, повышающий трансформатор, автотрансформатор, рубильник, ограничительное сопротивление.

Введение:

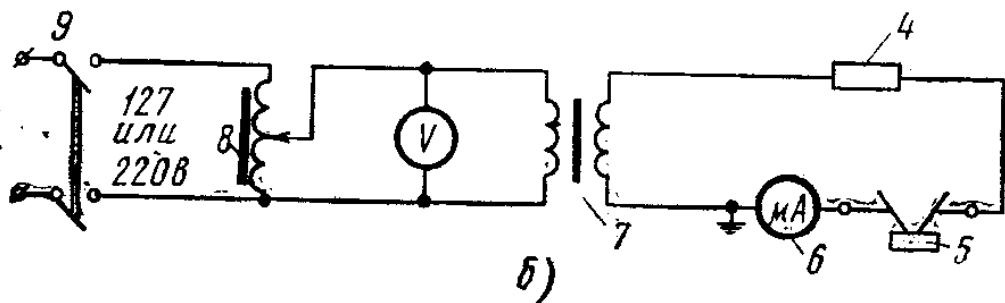
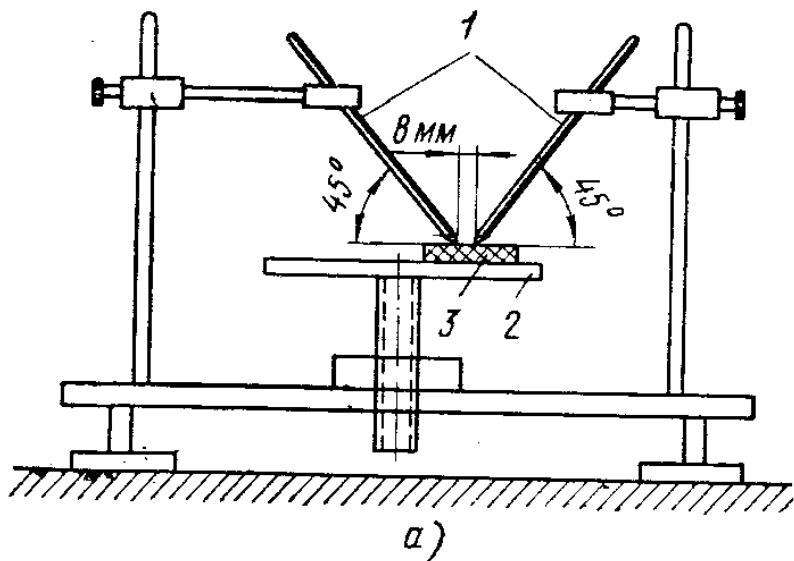
Под дугостойкостью диэлектриков понимают его способность длительно противостоять электрической дуге, сохраняя в заданных пределах электрические и физикохимические характеристики. Электрическая дуга (температура которой около 3000°C) опасна для токоведущих частей и органических электроизоляционных материалов, кроме тех, которые предназначены для гашения дуги. В результате действия электрической дуги электроизоляционные материалы науглероживаются, растрескиваются и становятся непригодными. В некоторых случаях это может вызвать аварию.

В камерах контакторов, пакетных выключателей и других коммутационных аппаратов может возникнуть электрическая дуга, поэтому материалы, используемые для изготовления, испытывают на дугостойкость. О дугостойкости материалов органического состава, имеющих в своем составе углерод, судят по их способности образовывать поверхностный проводящий слой из науглероженных частиц. По скорости образования этого слоя судят о дугостойкости материала.

Приборы и оборудование:

Прибор для определения дугостойкости твердых органических материалов представлен на рис.1 а и схема включения прибора на рис.1 б. Прибор имеет подставку 2, которую можно перемещать вертикально вверх. На подставке устанавливают испытываемый образец 3. В зажимах прибора укрепляют электроды 1 диаметром 6-8 мм с вольфрамовыми наконечниками конусообразной формы (угол при вершине 30°).

Прибор 5 включают во вторичную обмотку повышающего трансформатора 7 мощностью 1-2 кВА с напряжением во вторичной обмотке 10 кВ. Последовательно с образцом включают ограничительное сопротивление 4, равное 1 МОм. Автотрансформатор 8 служит для плавного изменения напряжения. Для контроля за током включают миллиамперметр 6 с пределами измерений от 0 до 30 мА. Время горения дуги измеряют при помощи секундометра.



Электроды закрепляют в зажимах под углом 45^0 к поверхности образца; расстояние между электродами по поверхности образца устанавливают 8 мм. Образцы для испытания могут иметь произвольную форму, поверхность которой позволяет поместить на ней иглообразные электроды на расстоянии 8 мм друг от друга. Толщина образцов должны быть не менее 4 мм.

Для сравнительных испытаний на дугостойкость рекомендуется брать образцы из следующих материалов: гетинакса или текстолита; коллекторного микарита; пластмассы ВЭИ-12, КМК-218, МФК-20.

Порядок проведения работы:

1. Установить электроды на подставке. Развести их на расстояние 8 мм (острия зачистить). Каждый из электродов должен быть расположен под углом 45^0 к плоскости подставки. Затем подставку отвести вниз от электродов на расстояние 10 – 15 мм.
2. Включить прибор в схему.
3. Включить рубильник и при помощи автотрансформатора поднимать напряжение до разряда в воздухе между электродами. При этом установить такое напряжение, чтобы ток дуги, измеряемый миллиамперметром, был равен 10 мА. Затем рубильник выключить.
4. Испытать образец на дугостойкость:
 - а) поместить испытываемый образец диэлектрика на подставку;

б) поднять подставку до соприкосновения образца с электродами;
в) включить рубильник. В момент появления дуги пустить секундомер. При переходе дуги из воздуха на поверхность образца остановить секундомер. Испытания повторить 6 раз для каждого образца (в различных его местах). Среднее арифметическое время действия дуги на испытываемую поверхность образца принять за его дугостойкость.

5. Результаты измерений и вычислений записать в таблицу:

№ п/п	Наименование образца	Ток, А	Напряжение на первичной обмотке трансформатора, В	Время горения дуги, с	Дугостойкость образца, с

Контрольные вопросы:

1. В каких случаях в электрических цепях возникает электрическая дуга?
2. Что понимают под дугостойкостью электроизоляционного материала?
3. В каких аппаратах, приборах и устройствах имеет решающее значение дугостойкость электроизоляционного материала?
4. Почему желательно, чтобы наконечники электродов прибора были из вольфрама?

Составить отчет:

1. Тема работы.
2. Краткое описание установки, ее схемы.
3. Перечень используемых образцов.
4. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
5. Ответы на контрольные вопросы.

Литература, необходимая при ответах на вопросы:

1. Батиенков В. Т. Материаловедение: Учебник / В.Т. Батиенков, Г.Г. Сеферов, А.Л. Фоменко, Г.Г. Сеферов; Под ред. В.Т. Батиенкова. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 151 с.:
2. Стуканов В. А. Материаловедение: Учебное пособие / В.А. Стуканов. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 368 с.
3. В.Н. Бородулин, А. С. Воробьев, В.М. Матюнин; под ред. В.А. Филикова. Электротехнические и конструкционные материалы: учеб. пособие для студ. сред. проф. Образования/ – М.: Издательский центр «Академия», 2014.-280 с.

БПОУ ВО «Грязовецкий политехнический техникум»

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА

*на выполнение лабораторной работы
по учебной дисциплине ОП.03 «Материаловедение»*

Лабораторная работа «Определение удельных электрических сопротивлений твердых диэлектриков»

по специальности 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского
хозяйства

Тема работы: «Определение удельных электрических сопротивлений твердых диэлектриков»

Цель работы:

Проверка опытным путем величины удельных сопротивлений диэлектриков различного состава и влажности. Получение навыков в работе по электрическим испытаниям электроизоляционных материалов.

Приборы и оборудование:

Образцы диэлектриков, схема установки для измерения удельного объемного электрического сопротивления диэлектрика, схема установки для измерения удельного поверхностного электрического сопротивления диэлектрика.

Введение:

Технические диэлектрики всегда имеют некоторое количество свободных зарядов, благодаря чему в диэлектрике под действием электрического поля возникают слабые токи объемной I_V и поверхностной I_s утечки (рис.1). Величина этих токов зависит от удельного объемного и удельного поверхностного электрических сопротивлений диэлектрика.

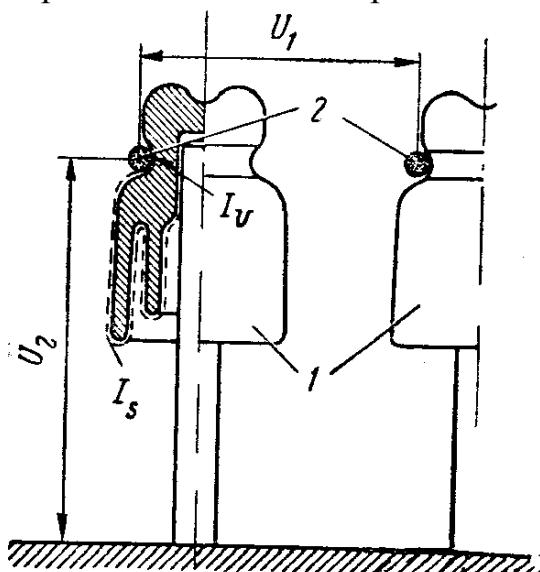


Рис 1. Пути токов объемной и поверхностной утечки:
(в изоляторе высокого напряжения).

1 – диэлектрик; 2 – элементы изолятора, между которыми приложено напряжение.

U_1 – напряжение сети; U_2 – напряжение между проводом и конструкцией (землей).

I_V – ток объемной утечки; I_s – ток поверхностной утечки.

Для определения удельного объемного электрического сопротивления применяют образец диэлектрика с тремя металлическими электродами 1,2 и 5 (рис.2а).

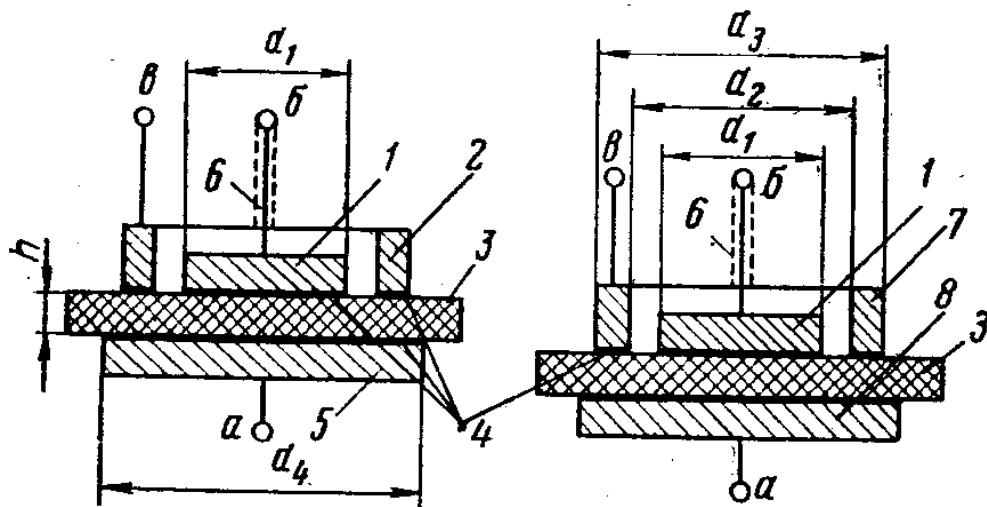


Рис 2. Электроды и образцы для измерения удельного объемного (а) и удельного поверхностного (б) электрических сопротивлений твердых диэлектриков:

1 – измерительный цилиндрический электрод; 2 – охранный кольцевой электрод; 3 – образец диэлектрика; 4 – электроды из фольги; 5 – цилиндрический электрод высокого потенциала; 6 – экран; 7 – кольцевой электрод высокого потенциала; 8 – охранный цилиндрический электрод; а, б, в – зажимы для присоединения проводов.

Удельное объемное электрическое сопротивление ρ_v диэлектрика определяют по формуле:

$$\rho_v = R_v S / h ,$$

где R_v – объемное электрическое сопротивление образца, Ом;

S – площадь верхнего электрода, см^2 ; $S = \pi d^2 / 4$;

h – толщина образца диэлектрика, см.

Для определения удельного поверхностного электрического сопротивления также применяют образец диэлектрика с тремя металлическими электродами. Удельное поверхностное электрическое сопротивление ρ_s подсчитывают по формуле:

$$\rho_s = R_s (\pi(d_2 + d_1) / (d_2 - d_1)) ,$$

где R_s – поверхностное электрическое сопротивление поверхности образца диэлектрика, заключенной между электродами 1 и 7, Ом;

d_1 – диаметр электрода 1, мм;

d_2 – внутренний диаметр кольцевого электрода 7, мм.

От величины удельного объемного и удельного поверхностного электрических сопротивлений электроизоляционных материалов зависит сопротивление изоляции электрических установок. Низкое сопротивление изоляции увеличивает потери электрической энергии, повышает опасность возникновения пожара в установках и поражения током.

Приборы и оборудование:

Для определения удельного объемного и удельного поверхностного электрических сопротивлений используют образцы диэлектриков, диаметр или наибольший размер которых должен быть больше диаметра соответствующего измерительного электрода. В зависимости от размеров образца испытываемого диэлектрика выбирают нужный вариант.

Стандартные размеры электродов при определении удельного объемного и удельного поверхностного сопротивлений плоских образцов:

Параметры	Размеры электродов, см.				
диаметр измерительного электрода, см	1	2,5	5	7,5	10
диаметр соответствующего высоковольтного электрода, не менее, см	2	4	7,5	10	12,5
ширина охранного электрода, не менее, см	0,2	0,5	1	1	1

Образцы твердых диэлектриков представляют собой круглые и квадратные пластины и полосы шириной 4 см и более. Электроды вырезают из оловянной или алюминиевой фольги толщиной 0,01-0,03 мм. Электроды наклеивают на поверхность твердых диэлектриков на тонком слое вазелина или трансформаторного масла.

Каждый из образцов устанавливают на нижний металлический электрод 5 (рис.2), закрепленный на опорном изоляторе, привернутом к столу. На верхние два электрода из фольги 4 накладывают массивные металлические электроды 1 и 2 из стали. Диаметры электродов равны диаметрам из фольги, высота 40-50 мм. Электроды снабжены зажимами *a* и *b*, к которым присоединяют гибкие провода от испытательной установки. В качестве измерительного прибора используется зеркальный гальванометр G магнитоэлектрической системы и вольтметр с пределами измерений от 100 до 1000 В. Резистор R_1 величиной 1 МОм является защитным сопротивлением от больших токов при пробое образца. Параллельно гальванометру включают шунт R_2 , со ступенями регулирования от 0,00001 до 1, для расширения пределов измерения гальванометра.

Источник постоянного тока для подключения схем. Переключатель П1 позволяет изменять полярность электродов на образце диэлектрика, П2 – для включения электрода с высоким потенциалом на землю, чтобы разрядить образец материала.

Порядок проведения работы:

1. Собрать схему для измерения удельного объемного электрического сопротивления и подключить образец диэлектрика (рис.3).

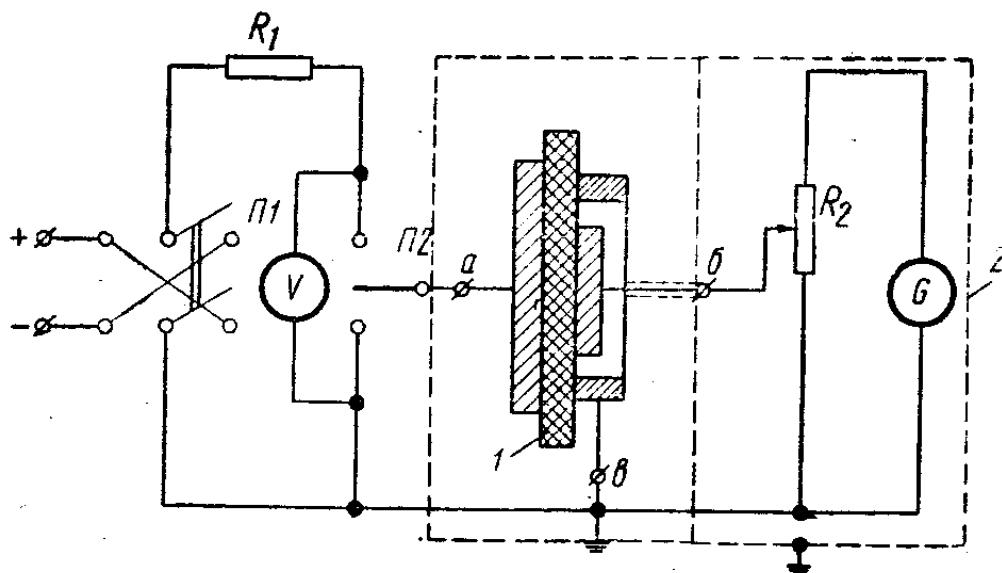


Рис 3. Схема установки для измерения удельного объемного электрического сопротивления диэлектрика:

1 – образец диэлектрика; 2 – экран.

2. Ручку шунта R_2 поставить в положение, соответствующее наименьшему шунтовому числу 1:10000, чтобы гальванометр не вышел из строя вследствие чрезмерного увеличения силы тока.
3. Закрыть ограждение установки, куда подается напряжение на испытываемый образец.
4. Замкнуть переключатель $P1$ и записать в таблицу показания вольтметра V , показывающего напряжение U между электродами 1 и 5 (рис.2а).
5. Замкнуть переключатель $P2$ и тем самым подать напряжение на образец диэлектрика 3(рис.2а).
6. Осторожно вывести шунт до получения удобно отсчитываемого отклонения гальванометра (от 5 до 30 мм шкалы). После снятия показания ручку шунта установить в первоначальное положение, соответствующее числу 0,00001.
7. Отметить отклонение α гальванометра через 1 мин. после подачи напряжения на образец диэлектрика.
8. Подсчитать силу тока I_V , протекающего через гальванометр, по формуле:

$$I_V = \alpha C_d / n,$$

где α – отклонение гальванометра, мм;

C_d – динамическая постоянная гальванометра, А/мм;

n – коэффициент шунтирования.

9. По закону Ома подсчитать объемное электрическое сопротивление образца диэлектрика:

$$R_V = U / I_V = U_n / \alpha C_d.$$

10. Подсчитать удельное объемное электрическое сопротивление по формуле:

$$\rho_v = R_v S / h .$$

11. Результаты измерений и вычислений записать в таблицу 1:
Таблица 1: Результаты измерений и вычислений.

№ п/п	Наименование материала	$C_d, A/mm$	$d_1, \text{см}$	$d_2, \text{см}$	$d_3, \text{см}$	$d_4, \text{см}$	Измерения			Вычисления		
							$h, \text{см}$	$U, \text{В}$	$\alpha, \text{мм}$	$I_v, \text{А}$	$R_v, \text{Ом}$	$\rho_v, \text{Ом}^* \text{см}$

12. Собрать схему по рис.4 для измерения удельного поверхностного электрического сопротивления.

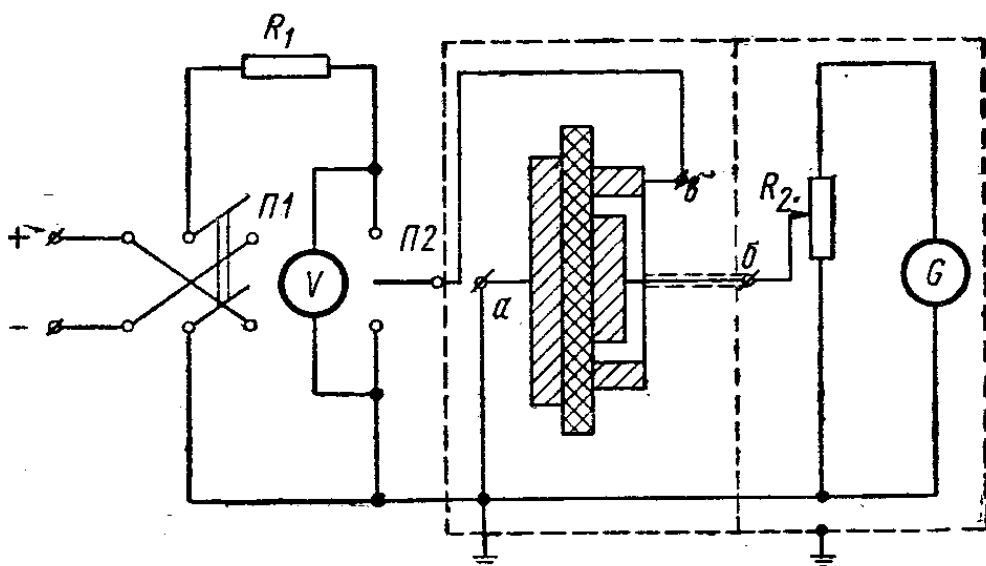


Рис 4. Схема установки для измерения удельного поверхностного электрического сопротивления диэлектрика.

13. Повторить операции пунктов 2-6.

14. Измерить силу тока I_s поверхности утечки гальванометром и напряжение вольтметром между электродами 1 и 7.

15. Подсчитать поверхностное сопротивление R_s по формуле:

$$R_s = U / I_s$$

16. Подсчитать величину удельного поверхностного электрического сопротивления по формуле:

$$\rho_s = R_s S' / l$$

Для электродов 1 и 7 длина пути утечки тока по поверхности диэлектрика равна ширине зазора между электродами, то есть

$$l = (d_2 - d_1) / 2$$

Условное сечение S' равно длине средней окружности диаметром $(d_2 + d_1) / 2$. Величину условного сечения подсчитывают по формуле:

$$S' = R_s (\pi^* (d_2 + d_1)) / (d_2 - d_1).$$

17. Результаты измерений записать в таблицу 1.

Контрольные вопросы:

1. Почему у твердых диэлектриков различают объемное и поверхностное электрические сопротивления?
2. В каких единицах измеряют удельное объемное и удельное поверхностное сопротивления?
3. Как влияет влажность и температура на удельное объемное и удельное поверхностное сопротивления?

Составить отчет:

1. Тема работы.
2. Краткое описание установки, ее схемы.
3. Перечень используемых образцов.
4. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
5. Ответы на контрольные вопросы.

Литература, необходимая при ответах на вопросы:

1. Батиенков В. Т. Материаловедение: Учебник / В.Т. Батиенков, Г.Г. Сеферов, А.Л. Фоменко, Г.Г. Сеферов; Под ред. В.Т. Батиенкова. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 151 с.:
2. Стуканов В. А. Материаловедение: Учебное пособие / В.А. Стуканов. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 368 с.
3. В.Н. Бородулин, А. С. Воробьев, В.М. Матюнин; под ред. В.А. Филикова. Электротехнические и конструкционные материалы: учеб. пособие для студ. сред. проф. Образования/ – М.: Издательский центр «Академия», 2014.-280 с.

БПОУ ВО «Грязовецкий политехнический техникум»

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА

*на выполнение лабораторной работы
по учебной дисциплине ОП.03 «Материаловедение»*

Лабораторная работа

«Измерение диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь твердых диэлектриков»

по специальности 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского
хозяйства

Тема работы: «Измерение диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь твердых диэлектриков»

Цель работы:

Проверка опытным путем значения ϵ некоторых электроизоляционных материалов и тангенса угла ряда электротехнических изделий.

Приборы и оборудование:

Мост переменного тока МД-16 (малогабаритный).

Введение:

Диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь – важнейшие характеристики электроизоляционных материалов. Диэлектрической проницаемостью ϵ называется отношение абсолютной диэлектрической проницаемости вещества ϵ_a к электрической постоянной ϵ_0 :

$$\epsilon = \epsilon_a / \epsilon_0.$$

Значение относительной диэлектрической проницаемости электроизоляционных материалов можно вычислить, сравнив емкости двух конденсаторов, одинаковых по форме и геометрическим размерам:

$$\epsilon = C_x / C_0,$$

где C_x – емкость конденсатора с испытываемым диэлектриком;

C_0 – емкость конденсатора при тех же геометрических размерах.

Значение ϵ исследуемого диэлектрика можно определить, измеряя дважды емкость разборного конденсатора: когда между обкладками данный диэлектрик (C_x) и когда между ними воздух (C_0). Замена вакуума воздухом дает малую погрешность.

Используя для измерения плоские (пластинчатые) образцы и электроды, можно применять для вычисления формулу емкости плоского конденсатора:

$$C_x = \epsilon S / 3,6 \pi h$$

где S – площадь образца электродов. Тогда $\epsilon = 3,6 \pi h C_x / S$

Если электроды имеют форму круга диаметром d , то, подставляя в предыдущую формулу $S = \pi d^2 / 4$, получаем $\epsilon = 14,4 h C_x / d^2$.

где C_x – емкость образца, пФ;

h – толщина образца, см;

d – диаметр измерительного электрода, см.

Диаметр измерительного электрода 10 – 100 мм. Соответствующие высоковольтные электроды имеют размеры 20 – 125 мм. Величина зазора между этими электродами 2 мм и ширину охранного электрода не менее 2, 5, 10, 10, 10 мм для пяти вариантов стандартных электродов.

Условия работы изоляции под напряжением переменного тока тяжелее, чем под напряжением постоянного тока при одинаковых величинах напряжения, т.е. когда $U_{\text{пост}} = U_{\text{пер}}$ (действующее значение).

При напряжении переменного тока в изоляции возникают значительные потери энергии, которые называют *диэлектрическими потерями*.

При переменном токе через изоляцию протекает ток I , равный геометрической сумме токов: сквозной проводимости $I_{ск}$, тока абсорбции $I_{абс}$ и емкостного тока (тока смещения) $I_{см}$, обусловленного геометрической емкостью C_r : $I = I_{см} + I_{абс} + I_{ск}$.

Диэлектрические потери в электроизоляционном материале, работающем под переменным напряжением, пропорциональны квадрату напряжения, угловой частоте, емкости изоляции и тангенсу угла диэлектрических потерь и подсчитывают по формуле:

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

где P_a – мощность, теряемая в диэлектрике, Вт;

U – напряжение, В;

$\omega = 2\pi f$ – угловая частота, Гц;

C – емкость, Ф;

$\operatorname{tg} \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь.

Так как величины U , ω , C практически являются неизменными, то о потерях энергии в изоляции судят по величине тангенса угла диэлектрических потерь, которым обладает данный диэлектрик.

Тангенсом угла диэлектрических потерь называется отношение активной составляющей тока I_a , протекающего через изоляцию приложении к ней переменного напряжения, к его емкостной составляющей I_c : $\operatorname{tg} \delta = I_a / I_c$; $\operatorname{tg} \delta(\%) = (I_a / I_c) 100 = 100 \operatorname{tg} \delta$.

Из векторной диаграммы видно, что активная составляющая полного тока I_a состоит из тока сквозной проводимости $I_{ск}$ и активной составляющей тока абсорбции $I_{абс}$. Емкостная составляющая тока I_c равна сумме тока смещения $I_{см}$ и емкостной составляющей тока абсорбции $I_{абс}$. Потери в изоляции создаются в основном током абсорбции.

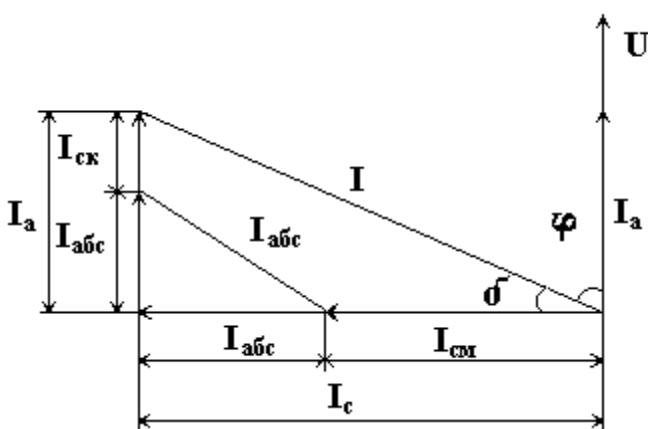


Рисунок 1. Векторная диаграмма токов в диэлектрике

Увлажнение и загрязнение изоляции вызывает увеличение активной составляющей тока и вместе с тем увеличение тангенса угла диэлектрических потерь. Показатель $\operatorname{tg} \delta$ очень чувствителен к изменению качества изоляции, поэтому, измеряя его, контролируют состояние

изоляции трансформаторов, конденсаторов, электрических машин, высоковольтных вводов и другого электрооборудования.

Приборы и оборудование:

Для измерения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь использован мост переменного тока МД-16.

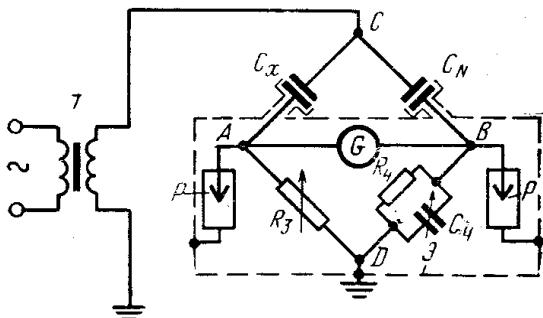


Рис 2. Принципиальная схема моста переменного тока МД-16.

Т – трансформатор; Сх – испытуемый объект; С_Н – образцовый конденсатор высокого напряжения; G – гальванометр; R₃ – магазин сопротивлений; R₄ – постоянный резистор; С₄ – магазин емкостей; Э – экран; Р – разрядник.

Плечо моста АС – испытуемый объект; плечо ВС – образцовый конденсатор. Плечо ВД состоит из постоянного сопротивления R₄ = 10000/π = 3184 Ом и магазина емкостей С₄, включенных параллельно друг другу.

Между точками А и В включен вибрационный гальванометр G, который является индикатором равновесия моста. При равновесии следующие соотношения:

$$C_x = C_N * R_4 / R_3 = C_N * 3184 / R_3; \quad \operatorname{tg} \delta = \omega * R_4 * C_4 * 10^{-6} = C_4$$

где С₄ – переменная емкость, мкФ.

Комплект моста состоит из измерительного устройства в металлическом корпусе и образцового конденсатора. Измерительное устройство состоит из магазина сопротивлений, постоянного сопротивления, магазина емкостей, шунтов, реохорда Rx, вибрационного гальванометра, переключателей чувствительности П₁ и полярности П₂, разрядников Р, осветителя и ввода.

Трансформатор для моста имеет мощность 0,5 кВА. Гальванометр подключают через переключатель полярности и находится в двойном пермаллоевом экране для защиты от электромагнитных полей. У переключателя есть положения, соответствующие значениям: 4, 10, 25 и 60.

На лицевой стороне внешней панели моста размещены зажимы для подключения к сети, контакты для подсоединения измеряемых объектов, зажимы для сборки моста на низком напряжении, выключатель осветителя, переключатель для пересоединения образцовых конденсаторов.

На изоляционной панели укреплена розетка с тремя гнездами для подключения моста к объекту, образцовому конденсатору, трансформатору и к зажимам.

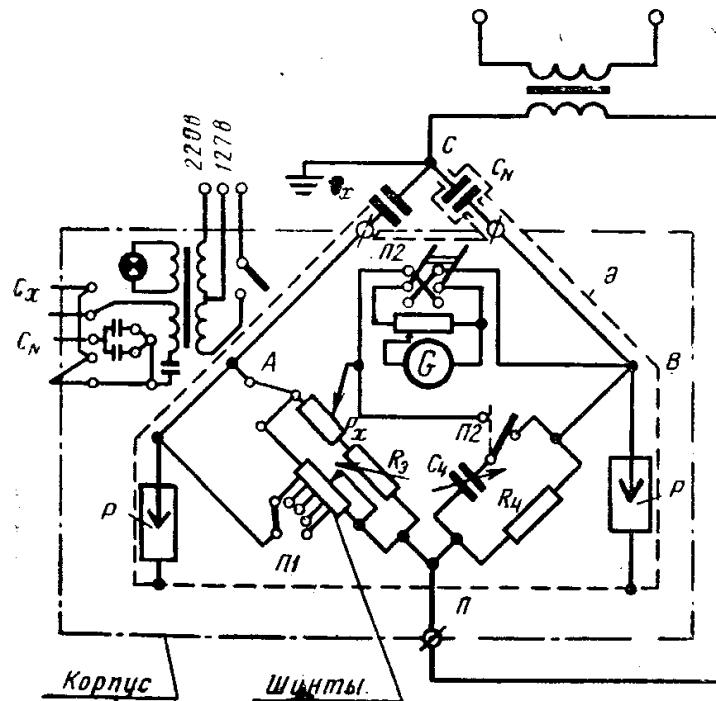


Рис 3. Полная принципиальная схема моста МД-16 (перевернутая)

Применяют две схемы включения моста для измерения тангенса угла диэлектрических потерь: нормальную, когда оба электрода испытываемого объекта изолированы от земли, и перевернутую, когда один из электродов объекта измерения заземлен.

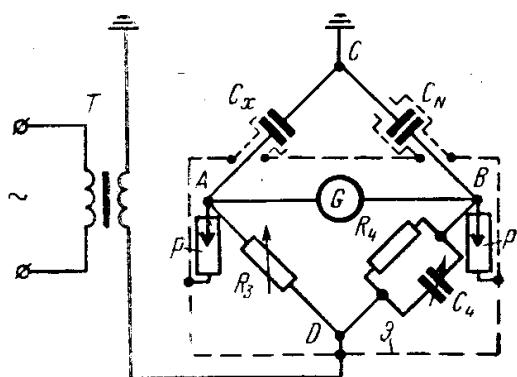


Рис 4. Принципиальная схема моста МД-16 (перевернутая)

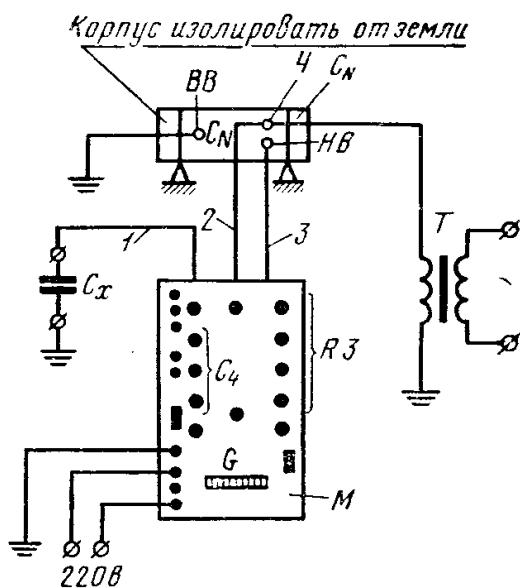


Рис 5. Схема соединения при работе на высоком напряжении (перевернутая)
1, 2, 3 – соединительные провода; 4 – зажим

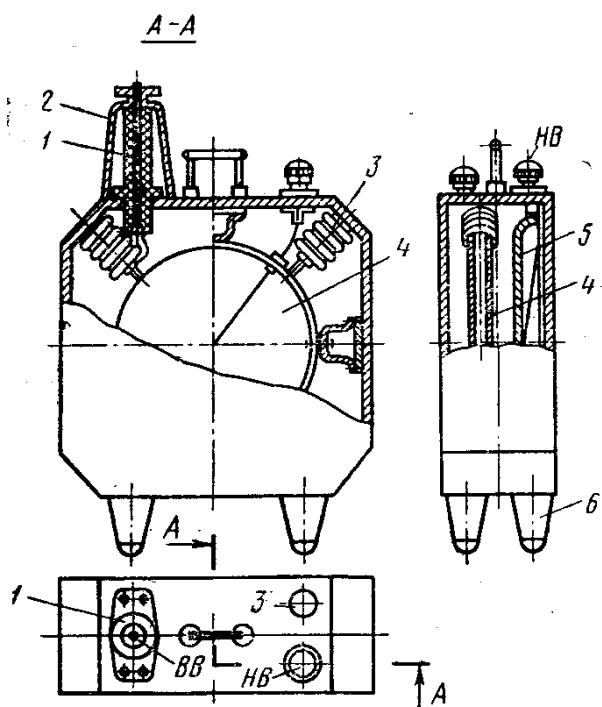


Рис 6. Схема образцового конденсатора:

1 – проходной изолятор; 2 – колпачок; 3 – форфоровый изолятор; 4 – высоковольтный электрод; 5 – низковольтный электрод; 6 – изоляционные ножки

Высоковольтный образцовый конденсатор имеет электрод 4, представляющий собой пьезотелесный диск, укрепленный на корпусе при помощи изолятора 3. Электрод включен через проходной изолятор 1 к зажиму ВВ.

Испытательный трансформатор включается по схеме:

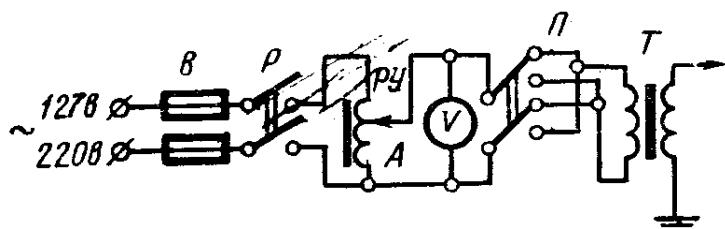


Рис 7. Схема включения испытательного трансформатора:

Т – испытательный трансформатор; РУ – регулирующее устройство; Р – рубильник; П – переключатель полярности трансформатора; Пр – предохранитель

Рубильник Р для создания второго разрыва, предохраняющего установку от неожиданного появления высоковольтного напряжения (при случайном включении переключателя П). Переключатель П предназначен для изменения полярности трансформатора. Вольтметр показывает испытательное напряжение.

В учебной лаборатории оборудование расположено по схеме, изображенной на рис. 8.

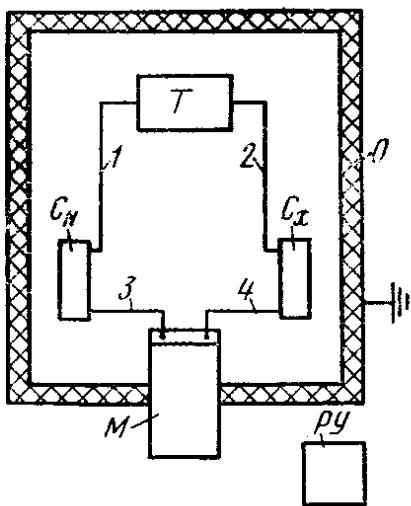


Рис 8. Принципиальная схема расположения оборудования при испытании:

1, 2, 3 и 4 – провода; М – мост МД-16; РУ – регулирующее устройство и переключатели; Сн – образцовый конденсатор; Т – трансформатор; Сх – объект измерения; О – заземленное ограждение (стальная сетка)

Порядок выполнения работы:

Рубильник, переключатель, вольтметр и регулирующее устройство расположены на пульте.

1. Открыть крышку моста и соединить зажим заземления на верхней панели с контуром заземления. Заземлить корпус испытательного трансформатора.

2. Собрать нормальную схему питания испытательного трансформатора:

- подсоединить зажимы питания моста к сети, убедиться в том, что световая полоса появилась на шкале гальванометра при включении выключателя на верхней панели, после чего выключить выключатель;
- открыть заднюю крышку моста и вставить в гнездо вилку с экранированным проводом.

3. Собрать нормальную схему выпрямительного моста (рис. 9):

- присоединить экранированный провод 1 моста к электроду испытываемого объекта,
- подключить провод 2 к зажиму 4 образцового конденсатора и соединить его с заземлением,
- присоединить провод 3 к зажиму НВ образцового конденсатора,
- соединить высоковольтный вывод с высоковольтным электродом испытываемого объекта Сх и зажимом ВВ образцового конденсатора.

4. Перед испытанием установить рукоятку регулирующего устройства в положение А.

5. Установить рукоятки сопротивлений R_3 , конденсаторов C_4 моста и переключателей в нулевое положение.

6. Установить рукоятку переключателя полярности в среднее положение.

7. Установить рукоятку шунтов сопротивления R_3 в положение, соответствующее наибольшему току.

8. Включить рубильник и переключатель, далее с помощью регулирующего устройства плавно довести напряжение до нужной для измерения величины. Производить измерение на мосте в следующем порядке:

- включить на панели моста выключателем осветитель гальванометра и убедиться в появлении на шкале узкой световой полоски возле нулевого деления,
- установить переключатель полярности в одно из крайних положений,
- перевести рукоятку шунта гальванометра из нулевого положения до тех пор, пока световая полоса, расширяясь, не займет $\frac{1}{2}$ всей шкалы,
- вращая рукоятку частотной настройки гальванометра, добиться максимального расширения световой полосы,
- медленно вводя сопротивление R_3 , подобрать его величину, при которой световая полоса на шкале имеет минимальную ширину,
- ввести конденсатор C_4 , подбирая его емкость, чтобы световая полоса на шкале имела минимальное значение.

9. Повторяя операции, добиться того, чтобы световая полоса стала узкой и заняла первоначальное положение (полное отсутствие тока в гальванометре).

10. Одновременно с уравновешиванием моста с помощью шунта увеличить чувствительность гальванометра до максимальной величины.

11. Еще раз добившись равновесия моста, записать величину сопротивления резистора R_3 и емкости конденсатора C_4 , а также положения переключателя полярности, положения рукоятки шунтов сопротивления R_3 .

12. Установить переключатель чувствительности гальванометра на нуль и перевести переключатель полярности в другое крайнее положение, снизив на время чувствительность гальванометра с помощью его шунта.

13. Повысив чувствительность гальванометра, произвести измерения при двух противоположных полярностях гальванометра.

14. Записать полученные результаты.

15. Произвести подсчет по формуле: $C_x = C_N (R4 / R3 + \rho)$.
16. Отсчитать величину $\operatorname{tg} \delta$ непосредственно на мосте из каждого отдельного измерения и определить ее по формуле:

$$\operatorname{tg} \delta = C4, \operatorname{tg} \delta(\%) = 100 C4.$$

Таблица результатов измерений:

№ п/п	Наименование материала	Схема	Измерения					Вычисления			
			$C_N, \mu\text{Ф}$	$R4, \Omega$	$R3, \Omega$	ρ, Ω	Толщина диэлектрика, см	$d, \text{см}$	$C_x, \mu\text{Ф}$	ϵ	$\operatorname{tg} \delta$

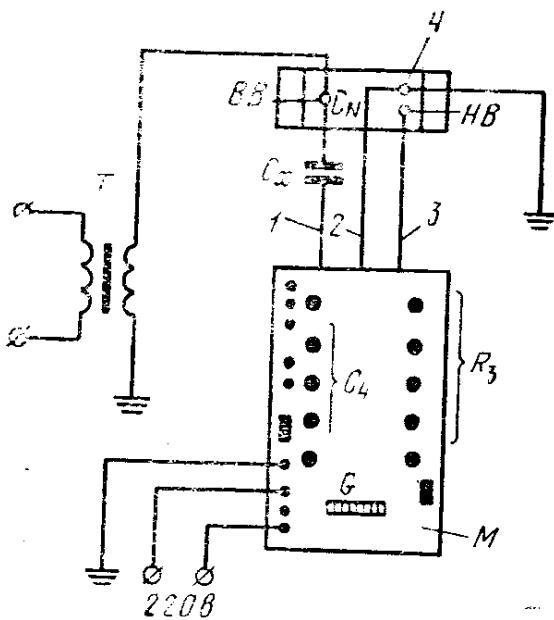


Рис. 9. Схема соединения моста при работе на высоком напряжении (нормальная):

1, 2, 3 - соединительные провода; 4 - зажим.

Испытания диэлектриков в лаборатории при низком напряжении по схеме рисунка 10. Собрать схему в следующем порядке:

- Части моста МД-16 соединить по схеме рис. 10,
- Присоединить экранированные провода от ввода трансформатора к соответствующим зажимам,
- Соединить зажим 4 с зажимом «Земля»,
- К зажимам, обозначенным буквой C_x , присоединить испытываемый образец диэлектрика,
- После уравновешивания моста измерить и подсчитать величины емкости C_x и $\operatorname{tg} \delta$ так же, как при работе на высоком напряжении,

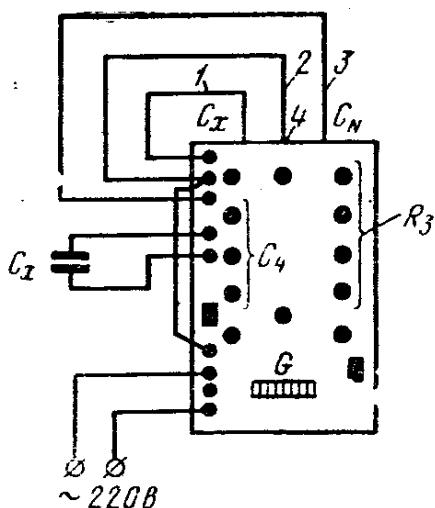


Рис 10. Схема соединения частей моста при работе на низком напряжении.

При емкостях больших 0,6 мкФ внести поправку согласно графика рис.11, учитывая величину шунтов.

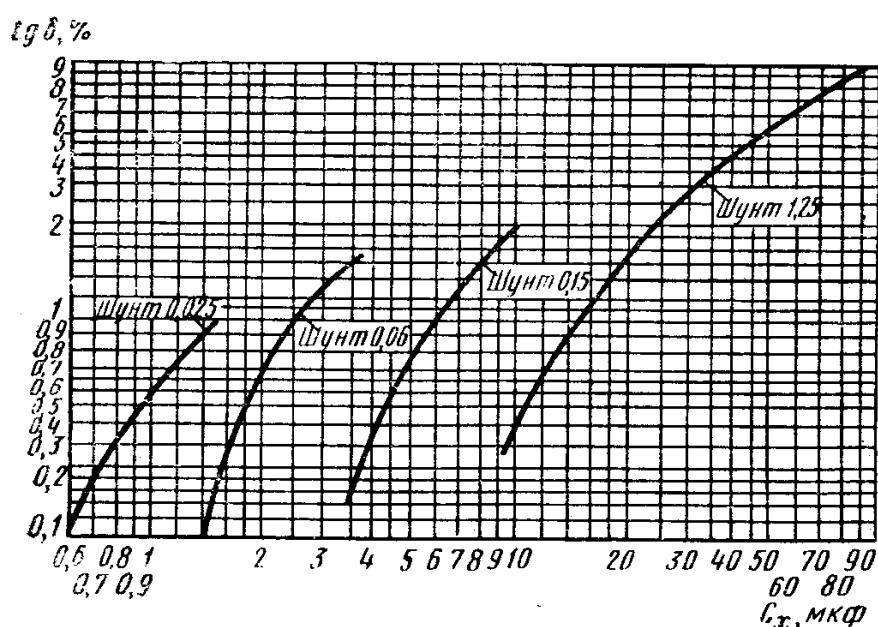


Рис 11. График зависимости $\text{tg } \delta$ от величины емкости C_x .

Контрольные вопросы:

1. Какое значение имеет величина относительной диэлектрической проницаемости диэлектрика для создания конденсатора и кабелей высокого напряжения?
2. От чего зависят потери энергии в изоляции и какое состояние изоляции увеличивает их?
3. Что понимают под тангенсом угла диэлектрических потерь и о чем свидетельствует $\text{tg } \delta$ изоляции электротехнической установки?

Содержание отчета:

1. Тема работы.
2. Краткое описание установки, ее схемы.
3. Перечень используемых образцов.
4. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
5. Ответы на контрольные вопросы.

Литература, необходимая при ответах на вопросы:

1. Батиенков В. Т. Материаловедение: Учебник / В.Т. Батиенков, Г.Г. Сеферов, А.Л. Фоменко, Г.Г. Сеферов; Под ред. В.Т. Батиенкова. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 151 с.:
2. Стуканов В. А. Материаловедение: Учебное пособие / В.А. Стуканов. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 368 с.
3. В.Н. Бородулин, А. С. Воробьев, В.М. Матюнин; под ред. В.А. Филикова. Электротехнические и конструкционные материалы: учеб. пособие для студ. сред. проф. Образования/ – М.: Издательский центр «Академия», 2014.-280 с.

БПОУ ВО «Грязовецкий политехнический техникум»

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА

*на выполнение лабораторной работы
по учебной дисциплине ОП.03 «Материаловедение»*

Лабораторная работа

«Определение электрической прочности твердых диэлектриков»

по специальности 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского
хозяйства

Тема работы: «Определение электрической прочности твердых диэлектриков»

Цель работы:

Ознакомление с порядком испытания твердых диэлектриков на электрическую прочность и получение навыков в определении электрической прочности различных материалов.

Приборы и оборудование:

Схемы установки переменного и постоянного тока для измерения пробивного напряжения. Схема аппарата АМИ-60 для определения электрической прочности трансформаторного масла.

Введение:

При увеличении напряжения, приложенного к изоляции в электрической установке, может произойти электрический пробой изоляции. В результате пробоя диэлектрик оказывается непригодным к дальнейшему применению. Напряжение, при котором происходит пробой, называется *пробивным напряжением*, обозначается U_{pr} и выражается в кВ.

Способность электроизоляционных материалов противостоять пробою называется *электрической прочностью*. Электрическая прочность E_{pr} определяется величиной пробивной напряженности электрического поля и вычисляется по формуле: $E_{pr} = U_{pr} / h$, где h – толщина диэлектрика в месте пробоя, мм.

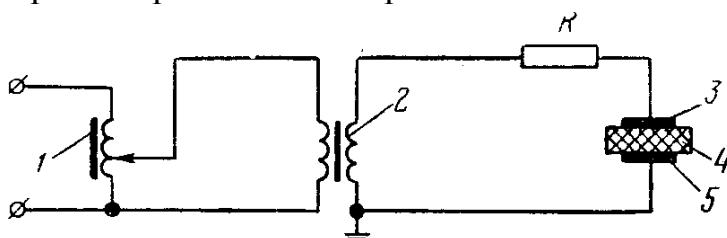
Электрическая прочность твердых диэлектриков зависит от их структуры, толщины, окружающей температуры и других факторов. Она может быть повышена пропиткой маслами, лаками или компаундами.

Для обеспечения надежности работы электрических установок рабочее напряжение $U_{раб}$ электроизоляционных материалов должно быть значительно ниже пробивного напряжения U_{pr} .

Приборы и оборудование:

Электрическую прочность диэлектриков определяют на установках переменного тока промышленной частоты.

Рис.1. Принципиальная схема установки переменного тока для измерения пробивного напряжения:



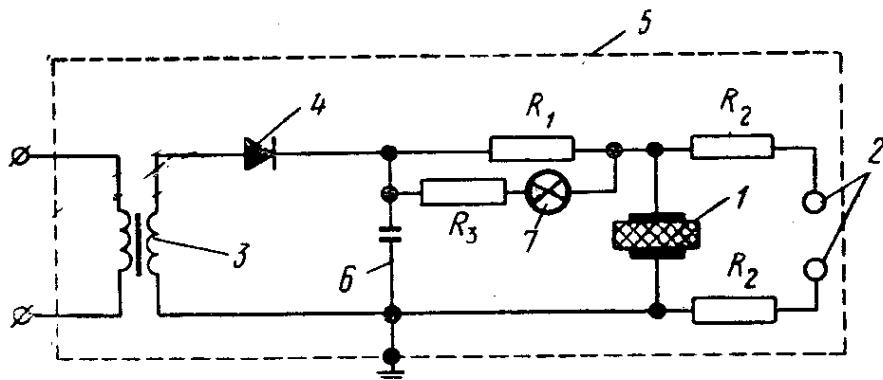
1 – регулирующее устройство (ЛАТР); 2 – повышающий трансформатор; 3 и 5 – электроды; 4 – испытываемый образец диэлектрика.

Изменение подводимого напряжения с помощью ЛАТРа. Испытываемый образец 4 с двумя электродами 3 и 5 включают последовательно с резистором R , который служит для ограничения тока в цепи при пробое образца диэлектрика. Защитное сопротивление выбирают по высшему напряжению трансформатора $U_{\text{ВН}}$:

$$R = 0,2 * U_{\text{ВН}}$$

Электрическую прочность диэлектриков определяют и на установке постоянного тока.

Рис.2. принципиальная схема установки постоянного тока для измерения пробивного напряжения.



1 – испытываемый образец; 2 – шаровой разрядник; 3 – испытательный трансформатор; 4 – выпрямитель высокого напряжения; 5 – заземленное ограждение; 6 – конденсатор фильтра; 7 – неоновая лампа; R1, R2, R3 – защитные резисторы

В качестве источника питания используют выпрямитель 4 с номинальным напряжением, не менее высшего номинального напряжения $U_{\text{ВН}}$ трансформатора, а ток насыщения не менее 100 мА. Резисторы R1 и R2 должны иметь сопротивления:

$$R1 = 0,2 * U_{\text{ВН}}; R2 = 0,5 * U_{\text{ВН}}$$

Мощность повышающего трансформатора выбирается в зависимости от наибольшего напряжения установки:

Наибольшее напряжение установки, кВ.....	1	5	50	80	150
Мощность трансформатора, кВА не менее....	0,5	1	2,5	5	10

В схемах напряжение измеряется высоковольтным вольтметром, присоединенным параллельно испытываемому образцу.

Испытания на пробой проводится испытание твердых диэлектриков с применением аппарата АМИ-60 (рис.3).

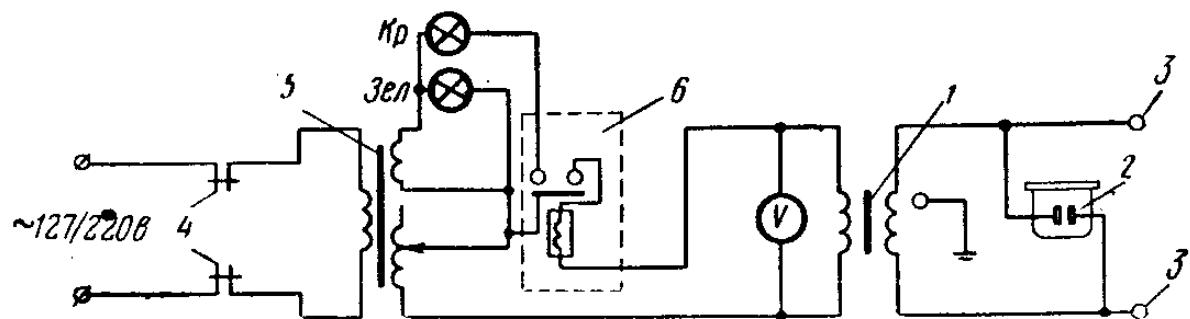


Рис 3. Принципиальная схема аппарата АМИ-60 для определения электрической прочности трансформаторного масла:

1 – трансформатор; 2 – сосуд с электродами; 3 – высоковольтные выводы для присоединения испытываемых образцов твердых диэлектриков; 4 – блок-контакты крышки; 5 – регулировочный трансформатор; 6 – автоматический переключатель.

Испытательные образцы выполнены в виде квадратных или круглых пластин от 25 до 150 мм. Электроды выполнены из меди или латуни, с отшлифованными поверхностями, плотно прижатыми к образцам.

Монтажная схема электрических соединений аппарата АМИ-60:

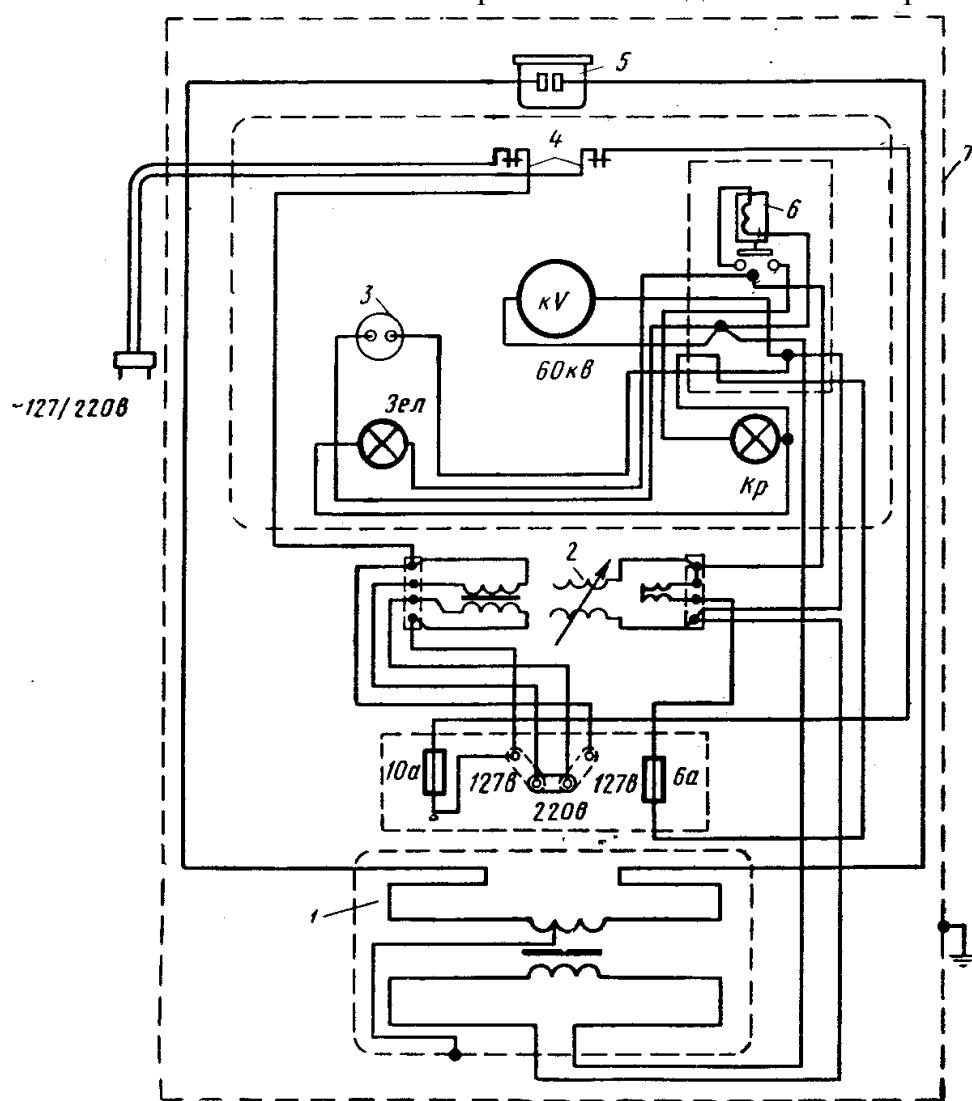


Рис 4. Принципиально-монтажная схема АМИ-60:

1 – повышающий трансформатор; 2 – регулировочный трансформатор; 3 – розетка для включения контрольного вольтметра; 4 – блок-контакты крышки; 5 – сосуд с электродами; 6 – автоматический выключатель; 7 – корпус аппарата

Если толщина образца не позволяет определить электрическую прочность в направлении, перпендикулярном слоям, испытания проводятся по образцам рисунка 5:

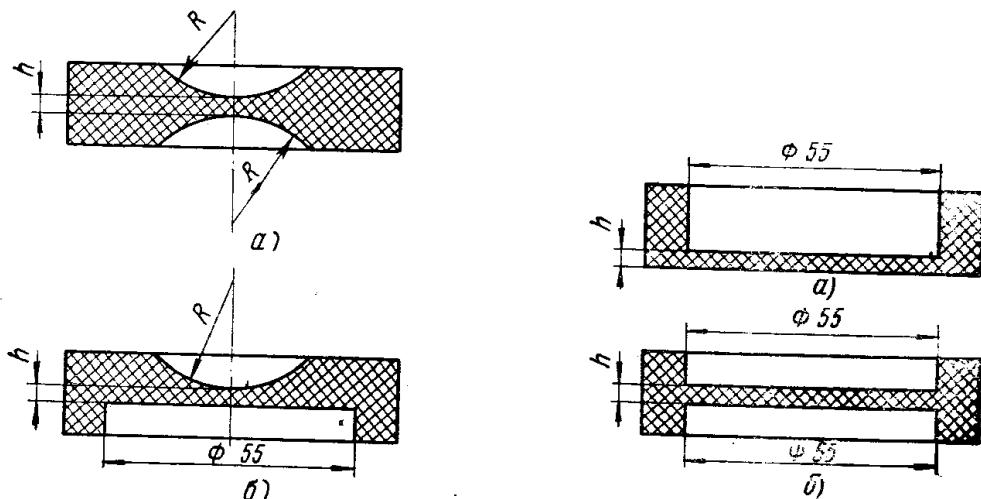


Рис 5. Образцы твердых диэлектриков в однородном (а) и в неоднородном (б) поле.

Для определения электрической прочности образцов в направлении, перпендикулярном поверхности образца, применяют электроды согласно рисунку 6:

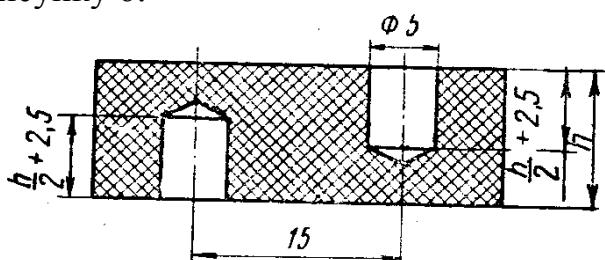


Рис 6. Образец слоистого диэлектрика.
h – толщина образца диэлектрика

Порядок проведения работы:

1. Изучить правила техники безопасности при работе на установках высокого напряжения. Выполнить следующие операции:

- соединить зажим заземления аппарата с заземляющей шиной лаборатории;
- снять крышку аппарата, проверить наличие и исправность блок-контактов;
- установить при открытой крышке аппарата два высоковольтных ввода взамен фарфорового сосуда, предназначенного для испытания жидкого диэлектрика;
- установить образцы для испытания;
- установить перемычки на доске с зажимами в положение 127 В или 220 В;

- поставить движок автотрансформатора в крайнее левое положение (на ноль).

2. Подать напряжение сети на аппарат, включив вилку в штепсельную розетку. При этом должна загораться зеленая лампа, сигнализирующая о наличии напряжения на автотрансформаторе.

3. Включить автоматический выключатель 6. При этом загорается красная лампа, т.е. подано напряжение на первичную обмотку повышающего трансформатора.

4. Пользуясь регулировочным трансформатором, плавно увеличивать напряжение со скоростью 1 кВ/с до наступления пробоя. Время повышения напряжения не менее 10 с. В момент пробоя диэлектрика автоматический выключатель должен срабатывать, разрывая цепь первичной обмотки испытательного трансформатора.

5. Записать показание вольтметра в момент пробоя. Это напряжение является пробивным. Для каждого образца измерить пробивное напряжение не менее трех раз и взять среднюю его величину.

6. Зная среднюю величину пробивного напряжения и среднюю толщину диэлектрика, вычислить электрическую прочность по формуле: $E_{np} = U_{np} / h$

7. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу:

№ п/п	Наименование материала	Измерения			Вычисления	
		$h, \text{мм}$	U_c, kV	U_{np}, kV	$U_{np,cr.}, \text{kV}$	E_{np}, kV

Контрольные вопросы:

1. Почему у твердых диэлектриков, пропитанных электроизоляционными жидкостями, увеличивается электрическая прочность?
2. В каких единицах измеряется пробивное напряжение и электрическая прочность? Какова связь между этими величинами?
3. Зависит ли электрическая прочность твердых диэлектриков от скорости повышения напряжения?

Содержание отчета:

1. Тема работы.
2. Краткое описание установки, ее схемы.
3. Перечень используемых образцов.
4. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
5. Ответы на контрольные вопросы.

Литература, необходимая при ответах на вопросы:

1. Батиенков В. Т. Материаловедение: Учебник / В.Т. Батиенков, Г.Г. Сеферов, А.Л. Фоменко, Г.Г. Сеферов; Под ред. В.Т. Батиенкова. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 151 с.:
2. Стуканов В. А. Материаловедение: Учебное пособие / В.А. Стуканов. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 368 с.
3. В.Н. Бородулин, А. С. Воробьев, В.М. Матюнин; под ред. В.А. Филикова. Электротехнические и конструкционные материалы: учеб. пособие для студ. сред. проф. Образования/ – М.: Издательский центр «Академия», 2014.-280 с.

БПОУ ВО «Грязовецкий политехнический техникум»

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА

*на выполнение лабораторной работы
по учебной дисциплине ОП.03 «Материаловедение»*

Лабораторная работа

«Определение нагревостойкости твердых диэлектриков по консольному способу (способ Мартенсона)»

по специальности 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского
хозяйства

Тема работы: «Определение нагревостойкости твердых диэлектриков по консольному способу (способ Мартенсона)»

Цель работы:

Ознакомление с методами определения нагревостойкости твердых диэлектриков и установкой для испытания. Получение средних величин нагревостойкости пластмасс и сравнение их с данными справочных материалов.

Приборы и оборудование:

Аппарат Мартенса.

Введение:

При воздействии на диэлектрик температуры выше допустимой ухудшаются его электрические и механические характеристики. Материал может размягчиться, механическая прочность уменьшится, произойдет деформация изделия. В некоторых случаях материал может разрушиться, загореться или обуглиться. Все эти изменения зависят от химического состава и структуры материала, условий эксплуатации и конструктивного выполнения изделия.

Тепловые свойства твердых диэлектриков определяются различными тепловыми характеристиками: температурой вспышки, нагревостойкостью, дугостойкостью и т.д. Для пластических масс одной из важных характеристик является нагревостойкость, которая связана с нагревом и деформацией материала.

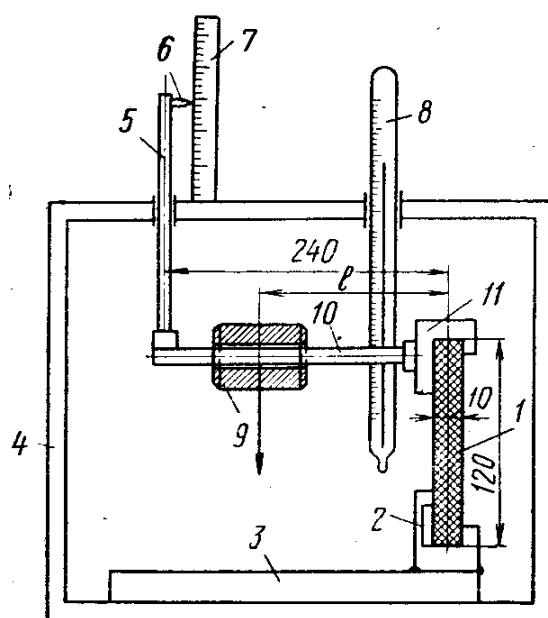


Рис 1. Схема аппарата Мартенса:

1 – испытываемый образец; 2 – нижний зажим; 3 – основание; 4 – термостат; 5 – стержень; 6 – указатель; 7 – шкала; 8 – термометр; 9 – груз; 10 – рейка; 11 – верхний зажим

Нагревостойкость («Теплостойкость по Мартенсу») измеряется температурой, при достижении которой образец 3 из пластмассы, помещенный в аппарат Мартенса, претерпевает предельную деформацию при изгибе. Это отмечается перемещением вниз (на 6 мм) указателя 9.

Аппарат Мартенса представляет собой термостат 4, на основании которого 3 установлены зажимы 2 для крепления в них трех стандартных образцов 1. Зажимы 11 служат для крепления верхних концов образцов. С зажимом 11 соединена рейка 10, по которой может передвигаться груз 9. На конце рейки 10 укреплен стержень 5 с указателем 6, положение которого отмечается на миллиметровой шкале 7. Образец должен иметь постоянное поперечное сечение 15×10 мм и длину 120 мм. Подъем температуры внутри термостата производится терморегулятором. Для контроля за температурой аппарат имеет 2 термометра 8, которые располагают вблизи испытываемых образцов.

Порядок проведения работы:

1. Закрепить испытываемый образец в зажимах 2 и 11.
2. Груз расположить на рейке так, чтобы расстояние между осью образца и осью груза было 150 – 160 мм. Масса груза 0,65 кг; рейки – 5 кг. При этих условиях в опасном сечении образца создается напряжение 500 Н/м^2 .
3. Установить указатель 6 на шкале 7 на нуль.
4. Повышать температуру в термостате со скоростью $50^\circ\text{C}/\text{ч}$. По мере повышения температуры образец начнет изгибаться и стрелка указателя будет опускаться вниз. Температуру, при которой указатель опуститься на 6 мм или образец сломается, считать его нагревостойкостью (в градусах стоградусной шкалы).
5. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу:

№ п/п	Испытываемый материал	Нагревостойкость по Мартенсу, $^\circ\text{C}$	
		По данным опыта	По данным ГОСТа

Контрольные вопросы:

1. Что понимают под нагревостойкостью пластмасс?
2. Каким образом характеристики электрических машин и аппаратов зависят от нагревостойкости диэлектриков?
3. Назовите классы нагревостойкости электроизоляционных материалов и предельно-допустимые рабочие температуры в градусах Цельсия.

4. Приведите примеры материалов, относящихся к соответствующим классам нагревостойкости.

Содержание отчета:

1. Тема работы.
2. Краткое описание установки, ее схемы.
3. Перечень используемых образцов.
4. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
5. Ответы на контрольные вопросы.

Литература, необходимая при ответах на вопросы:

1. Батиенков В. Т. Материаловедение: Учебник / В.Т. Батиенков, Г.Г. Сеферов, А.Л. Фоменко, Г.Г. Сеферов; Под ред. В.Т. Батиенкова. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 151 с.:
2. Стуканов В. А. Материаловедение: Учебное пособие / В.А. Стуканов. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 368 с.
3. В.Н. Бородулин, А. С. Воробьев, В.М. Матюнин; под ред. В.А. Филикова. Электротехнические и конструкционные материалы: учеб. пособие для студ. сред. проф. Образования/ – М.: Издательский центр «Академия», 2014.-280 с.

БПОУ ВО «Грязовецкий политехнический техникум»

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА

*на выполнение лабораторной работы
по учебной дисциплине ОП.03 «Материаловедение»*

Лабораторная работа

«Определение температуры вспышки трансформаторного масла»

по специальности 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского
хозяйства

Тема работы: «Определение температуры вспышки трансформаторного масла»

Цель работы:

Ознакомление с прибором ПВНЭ для определения температуры вспышки масла, а также с методом ее определения. Установление, соответствует ли испытываемый образец масла нормам ГОСТа.

Приборы и оборудование:

Прибор ПВНЭ для определения температуры вспышки жидкости.

Введение:

На современных электростанциях и подстанциях имеется большое количество трансформаторного масла. Оно является горючим материалом и поэтому очень опасно в пожарном отношении. *Температурой вспышки* называется температура, при которой пары масла, нагреваемого в закрытом сосуде, образуют с воздухом смесь, вспыхивающую при поднесении к ней пламени. Если масло нагреть выше температуры вспышки, то наступит такой момент, когда при поднесении пламени к маслу оно загорится. Температура вспышки паров трансформаторного масла, находящегося в закрытом тигле, должна быть не ниже 135°C.

При уменьшении температуры вспышки паров масла увеличивается интенсивность его испарения, что приводит к изменению его состава и образованию вредных и взрывоопасных газов. Иногда количество газов резко увеличивается в связи с повреждениями в трансформаторе. Об этом сигнализирует газовая защита трансформатора. Чтобы предотвратить аварии в трансформаторах и масляных выключателях и выявить возможные повреждения аппаратов, периодически определяют температуру вспышки масла.

Приборы и оборудование:

Температуру вспышки определяют при помощи прибора ПВНЭ. Сосуд помещен в чугунной бане. Фланцем он опирается на рубашку, чтобы не соприкасаться со стенками бани. Внутри сосуда имеется отметка, до которой наливают трансформаторное масло. Внутренний диаметр сосуда 51 мм, высота 56 мм.

Крышка плотно пригнана к сосуду. В ней имеются три отверстия и заслонка с двумя отверстиями. На крышке есть отверстие для термометра и пружинный рычаг, открывающий заслонку и наклоняющий пробную газовую горелку. В центре крышки имеется крыльчатая мешалка с гибкой передачей. Термометр для определения температуры испытываемой жидкости отградуирован через 1°C.

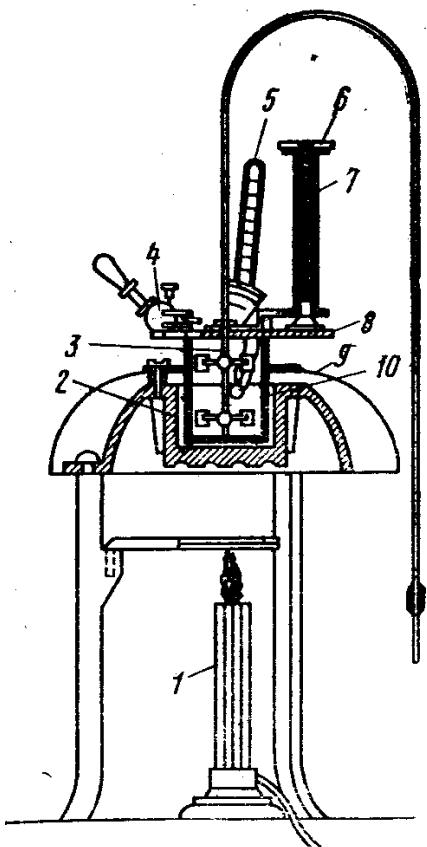


Рис 1. Прибор ПВНО для определения температуры вспышки жидкости:
1 – горелка для подогрева бани; 2 – чугунная баня; 3 – мешалка; 4 – пробная горелка; 5 – термометр; 6 – головка; 7 – трубка; 8 – крышка сосуда; 9 – рубашка; 10 – сосуд.

Порядок проведения работы:

1. Латунный сосуд промыть бензином и тщательно высушить. Залить пробу масла в сосуд до отметки. Закрыть сосуд крышкой и поставить термометр так, чтобы его нижний конец был погружен в жидкость. Осторожно поместить сосуд в чугунную баню.
2. Нагреть прибор электронагревательным прибором со скоростью 5°C в минуту. За 10°C до предполагаемой температуры вспышки скорость подъема температуры снизить до 2°C в минуту, а за 5°C до температуры вспышки – до 1°C в минуту. Масло и образующиеся над ним пары периодически перемешивать.
3. Когда масло нагреется до температуры, которая на 10°C ниже предполагаемой температуры вспышки его паров, быстро открыть отверстие крышки при помощи головки и пробную горелку совместить с открытым отверстием. Вспышка паров сопровождается образованием синеватого пламени над поверхностью масла.
4. Записать температуру масла, при которой его пары в смеси с воздухом вспыхивают.
5. Повторить опыт 2 раза и найти среднее значение температуры вспышки.

6. Вычислить температуру вспышки, приведенную к нормальным атмосферным условиям. Для этого к отмеченной температуре вспышки прибавить поправку Δt на барометрическое давление.

$$\Delta t = 0,345 (760 - p),$$

$$\text{тогда } t_h = t + 0,345 (760 - p) ^\circ\text{C},$$

где t – температура вспышки во время испытания, $^\circ\text{C}$;

p – барометрическое давление во время испытания, мм рт.ст.

6. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу:

№ п/п	Жидкий диэлектрик			
	Наименование жидкости	Температура вспышки, полученная опытным путем, $^\circ\text{C}$	Поправка Δt на барометрическое давление, $^\circ\text{C}$	Фактическая температура вспышки t_h , $^\circ\text{C}$

Контрольные вопросы:

1. Почему температура вспышки масла должна быть возможно выше?
2. О каких качествах масла судят по температуре вспышки?
3. Какие жидкости диэлектриков вам известны и какова их температура вспышки?

Составить отчет:

1. Тема работы.
2. Краткое описание установки, ее схемы.
3. Перечень используемых образцов.
4. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
5. Ответы на контрольные вопросы.

Литература, необходимая при ответах на вопросы:

1. Батиенков В. Т. Материаловедение: Учебник / В.Т. Батиенков, Г.Г. Сеферов, А.Л. Фоменко, Г.Г. Сеферов; Под ред. В.Т. Батиенкова. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 151 с.:
2. Стуканов В. А. Материаловедение: Учебное пособие / В.А. Стуканов. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 368 с.
3. В.Н. Бородулин, А. С. Воробьев, В.М. Матюнин; под ред. В.А. Филикова. Электротехнические и конструкционные материалы: учеб. пособие для студ. сред. проф. Образования/ – М.: Издательский центр «Академия», 2014.-280 с.

БПОУ ВО «Грязовецкий политехнический техникум»

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА

*на выполнение лабораторной работы
по учебной дисциплине ОП.03 «Материаловедение»*

Лабораторная работа

«Определение электрической прочности жидких диэлектриков»

по специальности 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского
хозяйства

Тема работы: «Определение электрической прочности жидкого диэлектрика»

Цель работы:

Ознакомление с методом испытания жидкого диэлектрика. Определение пригодности испытываемой жидкости для применения в высоковольтных аппаратах путем сравнения опытных данных с характеристиками жидкого диэлектрика, приведенных в ГОСТе.

Введение:

Для повышения электрической прочности изоляции трансформаторов, кабелей и бумажных конденсаторов применяют жидкые диэлектрики (трансформаторное и конденсаторное масло, солов, октол).

Трансформаторное масло используют как диэлектрик в различной высоковольтной аппаратуре. В трансформаторах масло является также охлаждающей средой, в масляных выключателях – дугогасящей средой. Масло характеризуется достаточно высокой электрической прочностью (12 – 20 кВт/мм), малыми диэлектрическими потерями, удовлетворительной теплопроводностью 0,0015 Вт/ (см²°С). Оно, как и другие жидкые диэлектрики, способно восстанавливать свою электрическую прочность после пробоя. Это масло можно очищать и сушить, тем самым восстанавливая его электроизоляционные свойства.

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 с медью). Масло обладает гигроскопичностью, понижающей его электрическую прочность.

Одной из наиболее важных электрических характеристик жидкого диэлектрика является их электрическая прочность E_{np} .

$$E_{np} = U_{np} / h,$$

где U_{np} – пробивное напряжение, кВ;

h – толщина испытываемого слоя жидкого диэлектрика (расстояние между электродами), мм.

Величина пробивного напряжения зависит от формы и размеров электродов, расстояния между ними, давления и температуры жидкого диэлектрика, характера приложенного напряжения (постоянное, переменное), степени загрязнения волокнами, водой и другими примесями. Снижение электроизоляционных свойств жидкого диэлектрика может привести к аварии в электрической установке, поэтому для обеспечения нормальной работы аппаратуры периодически проверяют качество диэлектрика и, в первую очередь, его электрическую прочность.

Приборы и оборудование:

Для испытания электроизоляционных жидкостей и трансформаторного масла на электрическую прочность применяют аппараты АМИ-60 и АИМ-80.

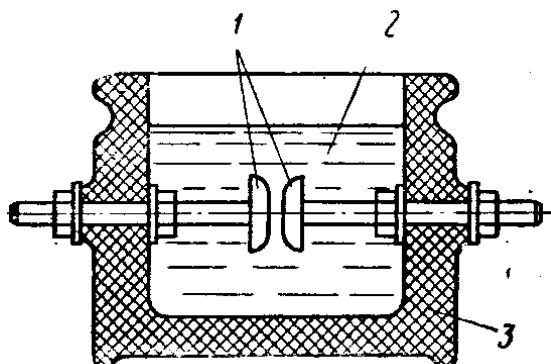


Рис. 1. Сосуд с электродами для определения электрической прочности жидких диэлектриков:

1 – латунные электроды; 2 – испытываемый жидкий диэлектрик; 3 – сосуд

Порядок проведения работы:

1. Установить сосуд с маслом в аппарате.
 2. Заземлить корпус установки и закрыть крышку.
 3. Повышать напряжение со скоростью 2 кВ в секунду, плавно перемещая подвижной контакт регулировочного трансформатора и наблюдать по вольтметру за напряжением.
 4. Напряжение повышать до тех пор, пока не произойдет полный пробой масла, сопровождающийся появлением сплошной искры между электродами в масле.
 5. Отключение аппарата осуществляется автоматическим выключателем.
 6. Испытание масла произвести 6 раз. На основании шести пробоев вычислить среднее значение пробивного напряжения, которое принимают за действительное значение. Интервал между пробоями (5 – 10 мин) контролируют по песочным часам.
 7. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу:

Контрольные вопросы:

1. Как влияет на электрическую прочность масла большое число следующих друг за другом пробоев?
2. Почему при стандартном испытании масла берут среднее из шести значений пробивного напряжения, а не удовлетворяются одним значением?
3. В каких электрических аппаратах применяют трансформаторное масло?
4. Почему изменяется электрическая прочность масла при содержании в нем воды и других примесей?

Содержание отчета:

1. Тема работы.
2. Краткое описание установки, ее схемы.
3. Перечень используемых образцов.
4. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
5. Ответы на контрольные вопросы.

Литература, необходимая при ответах на вопросы:

1. Батиенков В. Т. Материаловедение: Учебник / В.Т. Батиенков, Г.Г. Сеферов, А.Л. Фоменко, Г.Г. Сеферов; Под ред. В.Т. Батиенкова. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 151 с.:
2. Стуканов В. А. Материаловедение: Учебное пособие / В.А. Стуканов. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 368 с.
3. В.Н. Бородулин, А. С. Воробьев, В.М. Матюнин; под ред. В.А. Филикова. Электротехнические и конструкционные материалы: учеб. пособие для студ. сред. проф. Образования/ – М.: Издательский центр «Академия», 2014.-280 с.

БПОУ ВО «Грязовецкий политехнический техникум»

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА

*на выполнение лабораторной работы
по учебной дисциплине ОП.03 «Материаловедение»*

Лабораторная работа

«Определение условной вязкости жидких диэлектриков»

по специальности 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского
хозяйства

Тема работы: «Определение условной вязкости жидких диэлектриков»

Цель работы:

Ознакомление с устройством приборов для определения условной вязкости и методами ее определения.

Введение:

Для жидких диэлектриков (электроизоляционных масел, лаков, заливочных и пропиточных компаундов и подобных им материалов) одной из наиболее важных характеристик является вязкость. Вязкость представляет собой коэффициент внутреннего трения при относительном перемещении частиц жидкости. Если вязкость жидкости большая, то жидкость густая, ее частицы имеют малую подвижность; если вязкость маленькая, то частицы жидкости очень подвижны. Пропитывающая способность жидких диэлектриков определяется их вязкостью. Чем меньше вязкость жидкого диэлектрика, тем глубже проникают его частицы в пористые диэлектрики и между витками обмотки.

Вязкость измеряют при помощи специальных приборов – вискозиметров. Работа вискозиметра основана на измерении времени истечения определенного объема жидкости из сосуда через цилиндрическое отверстие в его дне. Вязкость масла, заливаемого в трансформатор, должна быть как можно меньшей, чтобы масло отводило тепло от обмоток. В масляных выключателях масло малой вязкости оказывает меньшее сопротивление движению механизмов выключателя и способствует лучшему охлаждению и ее гашению.

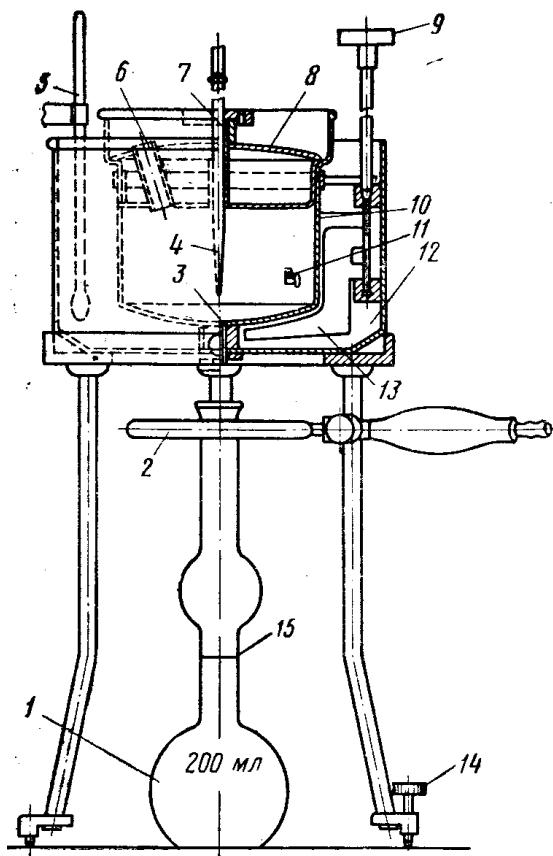
Одной из характеристик вязкости является условная вязкость. Величина условной вязкости в градусах Энглера ($^{\circ}\text{C}$) представляет собой отношение времени истечения 200 мл электроизоляционной жидкости при заданной температуре ко времени истечения 200 мл дистиллированной воды при 20°C . Время истечения 200 мл дистиллированной воды при 20°C называется постоянной прибора, она равна 50 – 52 с.

Приборы и оборудование:

Универсальный вискозиметр ВУ.

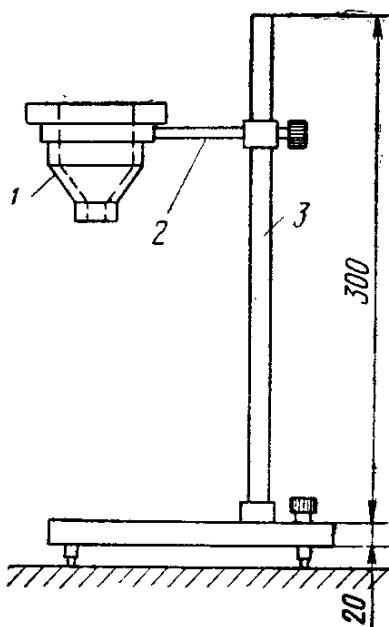
Устройство:

1 – мерная колба; 2 – кольцевая газовая горелка; 3 – сточное отверстие; 4 – стержень; 5 – термометр; 6 – отверстие для термометра; 7 – отверстие для стержня; 8 – крышка; 9 – рукоятка мешалки; 10 – латунный сосуд; 11 – указатель; 12 – баня; 13 – мешалка; 14 – установочный винт; 15 – метка, соответствующая емкости 200 мл.



В латунный сосуд заливают испытываемую жидкость. Сосуд помещен внутри бани. В крышке сосуда два отверстия для термометра и фибрового стержня. Стержень острием закрывает сточное отверстие. Баня подогревается при помощи электрического нагревательного прибора. Мешалка для перемешивания жидкости в бане. Регулируется горизонтальная установка при помощи винтов.

Для определения вязкости используется вискозиметр В3-4, который определяет вязкость без подогрева.



1 – сосуд; 2 – держатель; 3 – штатив.

Сосуд вискозиметра В3-4 изготовлен из металла или пластмассы. В его конусообразном дне имеется сточное отверстие диаметром 4 мм, закрываемое пробкой. Сосуд укреплен на штативе при помощи держателя. Вискозиметр вмещает 100 мл испытываемой жидкости, вязкость которой определяется временем истечения (в секундах) этого количества жидкости из сосуда.

Порядок проведения работы:

1. Отверстие в сосуде предварительно закрыть стержнем и надеть крышку.
2. В чистый сосуд вискозиметра ВУ залить испытываемую жидкость до касания с тремя остриями указателей.
3. В баню залить необходимое количество водопроводной воды и установить термометр.
4. Медленно подогревать баню электронагревательным прибором до установления нужной температуры испытываемой жидкости (для трансформаторного масла 20 или 50°C). Когда температура испытываемой жидкости достигнет заданной величины, температура жидкости в бане не должна превышать температуры испытываемой жидкости более чем на 0,2°C.
5. После этого приступить к измерению условной вязкости. Для этого выдержать при достигнутой температуре жидкость в течение 5 мин. Затем вынуть стержень и одновременно пустить в ход секундомер. Остановить секундомер в тот момент, когда уровень жидкости дойдет до отметки 200 мл в мерной колбе.
6. Определить условную вязкость жидкости при 20 и 50°
7. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу:

№ п/п	Наименование диэлектрика	Постоянная прибора	Измерения		Вычисления
			Температура диэлектрика, °C	Время истечения диэлектрика, с	

Контрольные вопросы:

1. Почему недопустимо применять масло с вязкостью более 4 – 4,5°Э при 20°C и менее 1,6 – 1,8°Э при 50°C?
2. Каким образом вязкость трансформаторного масла влияет на работу трансформатора?

3. Как влияет степень вязкости жидкого диэлектрика на его способность пропитывать пористые диэлектрики?

Составить отчет:

1. Тема работы.
2. Краткое описание установки, ее схемы.
3. Перечень используемых образцов.
4. Таблицы с результатами измерений и вычислений.
5. Ответы на контрольные вопросы.

Литература, необходимая при ответах на вопросы:

1. Батиенков В. Т. Материаловедение: Учебник / В.Т. Батиенков, Г.Г. Сеферов, А.Л. Фоменко, Г.Г. Сеферов; Под ред. В.Т. Батиенкова. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 151 с.:
2. Стуканов В. А. Материаловедение: Учебное пособие / В.А. Стуканов. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 368 с.
3. В.Н. Бородулин, А. С. Воробьев, В.М. Матюнин; под ред. В.А. Филикова. Электротехнические и конструкционные материалы: учеб. пособие для студ. сред. проф. Образования/ – М.: Издательский центр «Академия», 2014.-280 с.

БПОУ ВО «Грязовецкий политехнический техникум»

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА

*на выполнение лабораторной работы
по учебной дисциплине ОП.03 «Материаловедение»*

Лабораторная работа

«Определение температуры размягчения и температуры каплепадения аморфных диэлектриков»

по специальности 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского
хозяйства

Тема работы: «Определение температуры размягчения и температуры каплепадения аморфных диэлектриков»

Цель работы:

Ознакомиться с приборами для определения температуры размягчения по методам «кольца и шара» и Уббелоде. Освоить приемы определения температуры размягчения и температуры каплепадения аморфных диэлектриков.

Введение:

Смолы, битумы, компаунды и другие аморфные вещества характеризуются отсутствием определенной температуры плавления. При нагревании они постепенно размягчаются. Температуру размягчения и температуру каплепадения различных смолообразных диэлектриков определяют методами «кольца и шара» и Уббелоде.

Приборы и оборудование:

Прибор для определения температуры по методу «кольца и шара» состоит из комплекта четырех латунных колец и стальных шариков для одновременного испытания четырех образцов. Кольца укрепляют на стойке, имеющей контрольную пластинку, и помещают их в стеклянный сосуд с водой или глицерином. Глицерин применяют для испытания материалов с температурой размягчения выше 100°C.

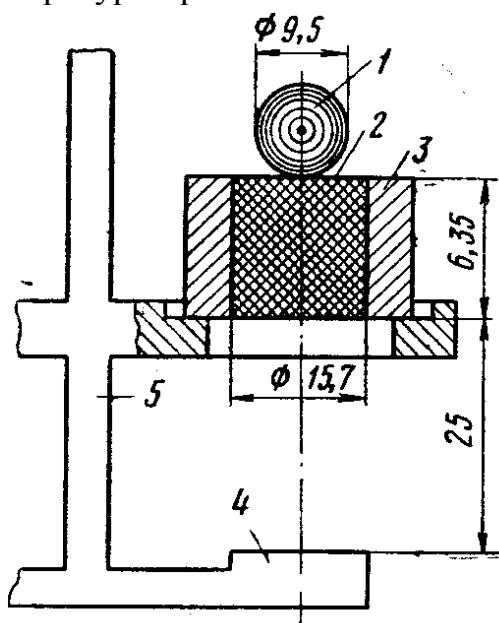
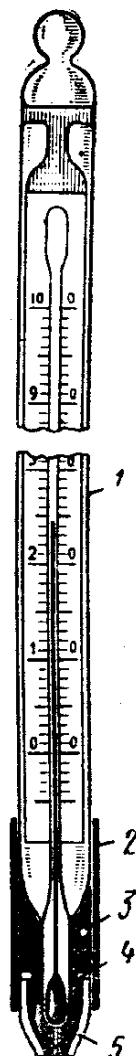


Схема прибора «кольцо и шар»:

1 – шар; 2 – испытываемый материал; 3 – кольцо; 4 – контрольная пластина; 5 – штатив.

Прибор Уиблоде состоит из специального термометра, на нижнюю часть которого наложена металлическая гильза. На гильзу навинчена трубка с отверстием для сообщения с атмосферой.



Прибор Уиблоде:

1 – термометр; 2 – металлическая трубка; 3 – отверстие; 4 – установочный штифт; 5 – стеклянная чашечка.

Стеклянная чашечка высотой 12 мм имеет внутренний диаметр 7 мм, а диаметр его нижнего отверстия равен 3 мм. Она предназначена для заполнения испытываемым материалом. Чашечку, заполненную пробой испытываемого диэлектрика, вставляют в трубку до упора в установочные штифты, ограничивающие глубину погружения шарика термометра в испытываемый материал.

Порядок выполнения работы:

1. Определить температуру размягчения битума, используя метод «кольца и шара».
 - 1.1. Поместить кусочек битума в фарфоровую чашу и медленным нагреванием довести до жидкого состояния.

- 1.2. Залить четыре кольца расплавленным испытываемым материалом.
 - 1.3. Срезать после охлаждения лишний материал по верхней плоскости колец нагретым ножом.
 - 1.4. Установить кольца в отверстия латунной полки в приборе и на слой битума поместить по стальному шарику.
 - 1.5. Опустить прибор в сосуд с водой или глицерином и подогревать его со скоростью $5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. Температуру контролировать термометром. Материал начнет равномерно разогреваться. Размягчаясь, испытываемый материал выдавливается под действием веса стального шара и касается нижней контрольной пластиинки в приборе.
 - 1.6. Температуру, отмеченную в момент касания, принять за температуру размягчения образца материала и записать её.
2. Определить температуру каплепадения.
 - 2.1. Заполнить чашечку испытываемым материалом, доведенным до жидкого состояния, лишний срезать.
 - 2.2. Вставить чашечку и термометр в прибор.
 - 2.3. Поместить прибор в пробирку диаметром 40 мм. Пробирку погрузить в водяную или масляную баню и нагревать со скоростью $1^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. Отметить момент падения первой капли из отверстия в дне.
 - 2.4. Записать температуру, и считать ее температурой каплепадения данного аморфного материала.
 - 2.5. Результаты измерений занести в таблицу:

№ п/п	наименование испытываемого материала	Измерения	
		температура размягчения, $^{\circ}\text{C}$	температура каплепадения, $^{\circ}\text{C}$

Контрольные вопросы:

1. Что понимают под температурой размягчения и каплепадения?
2. Какими приборами определяют температуру размягчения и каплепадения?
3. Какую роль играет водяная или масляная баня?
4. Какое практическое значение имеют температуры размягчения и каплепадения аморфных диэлектриков?

Содержание отчета:

1. Тема лабораторной работы.
2. Цель лабораторной работы.
3. Описание и чертеж лабораторной установки.
4. Перечень используемых образцов.
5. Таблица с результатами измерений и вычислений.
6. Ответы на контрольные вопросы.

Литература, необходимая при ответах на вопросы:

1. Батиенков В. Т. Материаловедение: Учебник / В.Т. Батиенков, Г.Г. Сеферов, А.Л. Фоменко, Г.Г. Сеферов; Под ред. В.Т. Батиенкова. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 151 с.:
2. Стуканов В. А. Материаловедение: Учебное пособие / В.А. Стуканов. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 368 с.
3. В.Н. Бородулин, А. С. Воробьев, В.М. Матюнин; под ред. В.А. Филикова. Электротехнические и конструкционные материалы: учеб. пособие для студ. сред. проф. Образования/ – М.: Издательский центр «Академия», 2014.-280 с.

БПОУ ВО «Грязовецкий политехнический техникум»

ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА

*на выполнение лабораторной работы
по учебной дисциплине ОП.03 «Материаловедение»*

Лабораторная работа

«Определение электрической прочности воздуха в равномерном и неравномерном электрических полях»

по специальности 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского
хозяйства

Тема работы: «Определение электрической прочности воздуха в равномерном и неравномерном электрических полях»

Цель работы:

Ознакомиться с особенностями пробоя воздуха при использовании электродов различной формы. Получить опытные значения электрической прочности воздушных промежутков.

Введение:

Воздух является естественной изоляцией многих электротехнических конструкций: трансформаторов, конденсаторов, воздушных выключателей, линий электропередачи. Как диэлектрик воздух имеет следующие свойства: (положительные) быстро восстанавливает свою электрическую прочность после пробоя, незначительно изменяет диэлектрическую проницаемость, диэлектрические потери его очень малы, (отрицательные) низкая теплопроводность, невысокая электрическая прочность, способность увлажняться, образовывать окислы, поддерживать горение. Электрическая прочность воздуха не является величиной постоянной и зависит от давления и относительной влажности, а также формы электродов.

Под действием электрического поля имеющиеся в воздухе ионы и электроны приобретают кинетическую энергию, необходимую для усиленной ионизации частиц газа. При этом у электродов появляется светящийся синий слой, сопровождающийся легким шипением; такой разряд называется тихим, или коронирующим. Это явление опасно в высоковольтных электрических машинах. Особенно проявляется тихий разряд на электродах, диаметр которых мал (тонкие провода. Углы прямоугольных шин, острия, заусеницы). При увеличении напряжения тихий разряд может перейти в искровой, который может перерасти в дуговой. Дуговой разряд приводит к короткому замыканию.

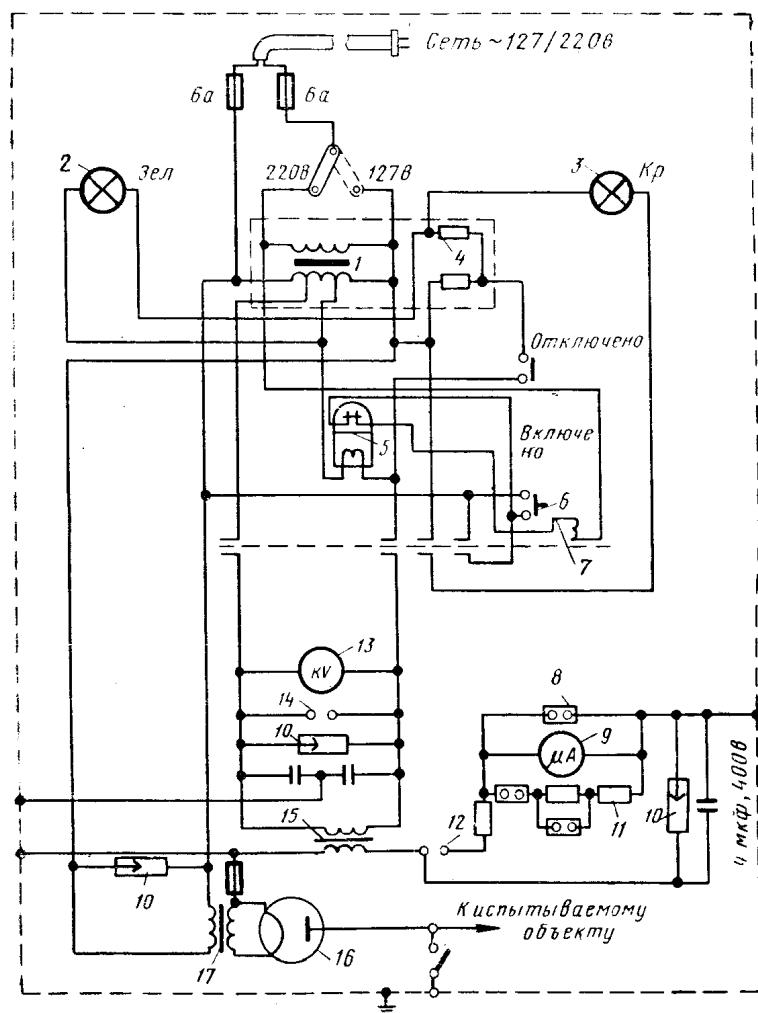
Приборы и оборудование:

Аппарат АКИ-50 для испытания изоляции кабелей, питается от сети однофазного переменного тока напряжением 127/220 В. Аппарат имеет выпрямленное напряжение 50 В, выпрямленный ток 2 мА и мощность 0,5 кВА. Высоковольтный однофазный масляный трансформатор с напряжением первичной обмотки 110 В создает во вторичной обмотке напряжение до 36 кВ.

Выпрямление тока осуществляется кенотроном, который расположен в баке трансформатора. там же помещены трансформатор канала кенотрона и буферное сопротивление, которое служит для защиты высоковольтного трансформатора и кенотрона от перегрузок при пробое воздуха.

Первичная обмотка высоковольтного трансформатора присоединяется к сети через автотрансформатор. Напряжение измеряется киловольтметром, подключенным в первичную обмотку трансформатора.

Аппарат снабжен сигнальными лампами: зеленой, загоряющейся при включении штепсельной вилки в сеть, и красной, загоряющейся при включении кнопки и сигнализирующей о наличии напряжения на высоковольтной обмотке трансформатора.



Принципиально-монтажная схема аппарата АКИ-50:

1 – автотрансформатор; 2 – зеленая сигнальная лампа; 3 – красная сигнальная лампа; 4 – сопротивление; 5 – реле максимального тока; 6 – кнопки включения; 7 – магнитный пускатель с электромагнитным реле; 8 – штепсельный контакт; 9 – микроамперметр; 10 – разрядники; 11 – высокоомное буферное сопротивление; 12 – контакты для подключения контрольного микроамперметра; 13 – киловольтметр; 14 – контакты для подключения контрольного вольтметра; 15 – однофазный масляный трансформатор; 16 – кенотрон; 17 – трансформатор накала кенотрона

Порядок выполнения работы:

1. Закрепить электроды на высоковольтных шинах, предназначенных для определения электрической прочности воздушного промежутка.
 2. Включить установку в сеть напряжением 220 В. При этом должна загореться зеленая сигнальная лампа.
 3. Включить автоматический выключатель и подать напряжение на трансформатор. При этом должна загореться красная сигнальная лампа.

4. С помощью автотрансформатора изменять напряжение от нуля до пробивного значения со скоростью 1 кВ/с. В момент пробоя сработает реле максимального тока и аппарат выключится.

5. Записать величину напряжения при пробое $U_{\text{пр}}$ в таблицу 1.

6. Получить опытным путем зависимость пробивного напряжения от длины разрядного промежутка:

- а) шаровых электродов одинакового диаметра (50 мм);
- б) плоских электродов – дисков диаметром 50 мм с закругленными краями;
- в) электродов игла-плоскость (при положительной игле);
- г) электродов игла-плоскость (при отрицательной игле).

6. Изменяя расстояние h между электродами (от 2 до 15 мм), определить напряжение при пробое $U_{\text{пр}}$ в случае неравномерного и равномерного электрического поля.

После каждого произведенного пробоя рукоятку регулировочного автотрансформатора вывести в нулевое положение.

7. Результаты измерений и вычислений записать в таблицу 1:

Таблица 1. Результаты измерений и вычислений.

№ п/п	Формы электродов	Измерения		Вычисления
		h , мм	$U_{\text{пр}}$, В	

8. Когда атмосферные условия испытания отличаются от нормальных ($\rho=760$ мм рт. ст. и $t=20^{\circ}\text{C}$), истинное пробивное напряжение находят, умножая $U_{\text{пр}}$ (из таблицы) на поправочный коэффициент α :

$$U_{\text{н.пр.}} = \alpha * U_{\text{пр}}$$

Поправочный коэффициент зависит от относительной плотности воздуха δ следующим образом:

Относительная

плотность

воздуха, δ0,7 0,75 0,8 0,85 0,9 0,95 1,0 1,05 1,1 1,15

Поправочный

коэффициент α0,72 0,77 0,82 0,86 0,91 0,95 1,0 1,05 1,09 1,13

Относительную плотность воздуха определяют по формуле:

$$\delta = 293 * \rho / (760 * (273 + t))$$

где ρ – атмосферное давление в момент измерения, мм рт. ст.;

t – температура окружающего воздуха в момент измерения, $^{\circ}\text{C}$;

Контрольные вопросы:

1. При какой форме электродов величина электрической прочности воздуха наибольшая?
2. Какова величина электрической прочности воздуха при нормальных условиях в случае равномерного поля?
3. Как связаны между собой пробивное напряжение и электрическая прочность?
4. Какая форма электродов способствует увеличению пробивного напряжения и почему?

Содержание отчета:

1. Тема лабораторной работы.
2. Цель лабораторной работы.
3. Описание и чертеж лабораторной установки.
4. Перечень используемых образцов.
5. Таблица с результатами измерений и вычислений.
6. Ответы на контрольные вопросы.

Литература, необходимая при ответах на вопросы:

1. Батиенков В. Т. Материаловедение: Учебник / В.Т. Батиенков, Г.Г. Сеферов, А.Л. Фоменко, Г.Г. Сеферов; Под ред. В.Т. Батиенкова. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 151 с.:
2. Стуканов В. А. Материаловедение: Учебное пособие / В.А. Стуканов. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 368 с.
3. В.Н. Бородулин, А. С. Воробьев, В.М. Матюнин; под ред. В.А. Филикова. Электротехнические и конструкционные материалы: учеб. пособие для студ. сред. проф. Образования/ – М.: Издательский центр «Академия», 2014.-280 с.