

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра электроснабжения



МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине (МДК) «Материаловедение» для студентов специальности 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям) всех форм обучения

КУРСК 2017

УДК 620.1:621.315

Составитель: Н.М. Гайдаш

Рецензент

Доктор технических наук *А.В. Филонович*

Материаловедение: методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине (МДК) «Материаловедение» для студентов специальности 13.02.07 «Электроснабжение (по отраслям)» всех форм обучения /Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Н.М. Гайдаш. - Курск, 2017. 56 с.: табл. 8., ил. 17. - Библиогр. с. 56.

Излагаются методические рекомендации к выполнению лабораторных работ по дисциплине (МДК) «Материаловедение». Указываются порядок проведения работ, обработки результатов и составления отчета.

Методические указания соответствуют требованиям ФГОС СПО по специальности 13.02.07 «Электроснабжение (по отраслям)».

Предназначены для студентов специальности 13.02.07 «Электроснабжение (по отраслям)» всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать .Формат 60x84 1/16.
Усл. печ. л. 3,255. Уч.-изд. л.1,68. Тираж 30 экз. Заказ Бесплатно
Юго-Западный государственный университет,
305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

1. ПРАВИЛА ВНУТРЕННЕГО РАСПОРЯДКА И ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

При работе в лаборатории «Материаловедение» во избежание несчастных случаев, а также преждевременного выхода из строя приборов и электрооборудования студент при выполнении лабораторных работ должен строго выполнять следующие правила внутреннего распорядка и техники безопасности:

1. Приступая в лаборатории к работе, студент должен ознакомиться с правилами внутреннего распорядка и техники безопасности.

2. Студенты обязаны не только строго выполнять эти правила, но и требовать неуклонного выполнения их от своих товарищей.

3. После ознакомления с правилами внутреннего распорядка и инструктажа по технике безопасности студент должен расписаться в соответствующем журнале.

4. При работе в лаборатории категорически запрещается приносить с собой вещи и предметы, загромождающие рабочие места, способствующие созданию условий, могущих привести к нарушению правил безопасности.

5. В лаборатории запрещается громко разговаривать, покидать рабочие места и переходить от одного стенда к другому.

6. Приступая к работе в лаборатории, студенческая группа делится на бригады, преподаватель назначает бригадиров, которые затем распределяются по лабораторным стендам.

7. Лабораторная работа, пропущенная студентом, выполняется в конце семестра и по особому расписанию после получения допуска.

8. Сборку электрической цепи производят соединительными проводами при выключенном напряжении питания в строгом соответствии со схемой, представленной в данных методических указаниях, обеспечивая при этом надёжность электрических контактов всех разъёмных соединений.

9. Приступая к сборке электрической цепи, необходимо убедиться в том, что к стенду не подано напряжение.

10. При сборке электрической цепи необходимо следить за тем, чтобы соединительные провода не перегибались и не скручивались петлями. Приборы и электрооборудование расставляются так, чтобы было удобно ими пользоваться.

11. Собранная электрическая цепь предъявляется для проверки преподавателю.

12. Включение электрической цепи под напряжением (после проверки) производится только с разрешения и в присутствии преподавателя.

13. При обнаружении неисправностей в электрической цепи необходимо немедленно отключить её от питающей сети и доложить об этом преподавателю.

14. Переключения и исправления в собранной электрической цепи разрешается производить только при отключённом напряжении питания.

15. Запрещается прикасаться пальцами, карандашами и другими предметами оголённых токоведущих частей электрической цепи, находящихся под напряжением.

16. При работе с конденсаторами следует помнить, что на их зажимах, отключённых от сети, некоторое время сохраняется электрический заряд, могущий быть причиной поражения электрическим током.

17. При обнаружении повреждений электрического оборудования и приборов стенда, а также при появлении дыма, специфического запаха или искрения необходимо немедленно выключить напряжение питания стенда и известить об этом преподавателя.

18. После выполнения лабораторной работы необходимо выключить напряжение питания стенда, разобрать исследуемую электрическую цепь после проверки преподавателем полученных данных и привести в порядок рабочее место.

19. В случае поражения человека электрическим током необходимо немедленно обесточить стенд, выключив напряжение питания. При потере сознания и дыхания необходимо быстро освободить пострадавшего от стесняющей его одежды и делать искусственное дыхание до прибытия врача.

2. ПОДГОТОВКА К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Лабораторные работы в группах проводятся в соответствии с расписанием учебных занятий в университете. Поэтому для выполнения лабораторных работ студент должен руководствоваться следующими положениями:

1. Предварительно ознакомиться с графиком выполнения лабораторных работ (он доводится на первом, вводном занятии).

2. Внимательно ознакомиться с описанием соответствующей лабораторной работы и установить, в чём состоит основная цель и задача этой работы.

3. По лекционному курсу и соответствующим литературным источникам изучить теоретическую часть, относящуюся к данной лабораторной работе.

4. До проведения лабораторной работы подготовить вступительную часть (титульный лист, название и цель лабораторной работы, приборы и оборудование); соответствующие схемы, таблицы наблюдений (они должны быть вычерчены с помощью чертёжных инструментов или с помощью компьютера); расчётные формулы; желательно миллиметровку для построения графиков.

5. Неподготовленные к работе студенты к выполнению лабораторной работы не допускаются.

Успешное выполнение лабораторных работ может быть достигнуто в том случае, если экспериментатор отчётливо представляет себе цель эксперимента и ожидаемые результаты, поэтому важным условием обстоятельности проводимых исследований является тщательная подготовка к лабораторной работе.

3. СБОРКА И ВКЛЮЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Перед началом лабораторной работы необходимо расставить приборы и аппараты по возможности так, чтобы они соответствовали электрической схеме. Сборку схемы должен вести один студент (бригадир), другие члены бригады (звена) контролируют его и выполняют мелкие поручения. Начинать сборку цепи нужно от одного из зажимов источника питания, соединяя последовательно один элемент за другим, и закончить цепь на другом зажиме источника. Причём положительный зажим источника постоянного тока следует соединять с положительным зажимом, который указан на приборах магнитоэлектрической и электронной систем. После сборки последовательной цепи нужно подключить и параллельные цепи, если они имеются в электрических схемах (вольтметры, контакты и др.). Целесообразно для последовательных и параллельных цепей использовать провода разного цвета. Это делает электрическую цепь наглядной и позволяет уменьшить число ошибок при её сборке.

После того как схема собрана, необходимо все рукоятки регуляторов напряжения установить на нулевую отметку, а переключача-

тели многопредельных приборов поставить на наибольший предел измерения.

Наличие ошибок в электрической цепи может привести к порче оборудования, приборов или к несчастному случаю. Поэтому каждый раз необходимо показывать собранную схему преподавателю.

После этого к схеме подключают напряжение. Регулятором медленно увеличивают напряжение на входе до нужного значения, наблюдая при этом за показателями приборов. Если стрелка индикатора в цепи источника питания не отклоняется, то это означает, что в цепи обрыв. Если стрелка амперметра даже при малом напряжении отклоняется до конца шкалы, то это указывает на короткое замыкание в цепи. Если стрелки приборов магнитоэлектрической системы отклоняются влево от нулевой отметки, то нужно поменять полярность подключения приборов.

Во всех этих случаях нужно выключить источники питания и ещё раз проверить схему или обратиться за помощью к преподавателю.

4. ВЫПОЛНЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

При выполнении лабораторных работ по МДК «Материаловедение» применяется фронтальный метод. Он предусматривает выполнение всеми студентами одной и той же лабораторной работы. Этот метод считается наиболее перспективным, так как обеспечивает наибольший эффект от лабораторных работ.

Выполнять лабораторную работу нужно, соблюдая последовательность, которая указана в описании каждой работы. Перед выполнением каждого пункта работы рекомендуется выполнить все указанные действия, но без записи результатов. Это необходимо для того, чтобы убедиться, что приборы подобраны верно, реле или аппарат срабатывает и замыкает или размыкает свои контакты, сигнальная лампочка загорается и т.п.

Обязанности в подгруппе (звене) лучше разделить. Один студент может изменять напряжение или ток, а также наблюдать за одним-двумя приборами; другой – за остальными приборами и записывать результаты в таблицу наблюдений. В последующих работах обязанности могут быть перераспределены. Показания всех приборов следует снимать внимательно и записывать измеряемую величину в соответствующих единицах измерения. Если трудно

сразу определить значение измеряемой величины в соответствующих единицах измерения, то сначала можно записать количество делений, а потом пересчитать, учитывая цену деления.

После окончания экспериментов нужно проанализировать полученные результаты, сопоставив их с теорией и свойствами исследуемого материала. При слишком большом расхождении результатов эксперимент следует повторить. Полезно построить черновой график. Если разброс точек на графике окажется слишком великим, то нужно повторить замер.

После выполнения лабораторной работы нужно показать результаты преподавателю, а затем разобрать электрическую цепь и привести в порядок рабочее место.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЁТА ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Каждый студент должен самостоятельно обработать результаты выполненных им опытов и составить отчёт по проделанной текущей лабораторной работе. Он должен быть составлен настолько ясно, чтобы каждый знакомящийся с ним чётко представлял себе цель поставленной работы, тип экспериментальной установки, методику измерения и расчёт отдельных величин, порядок проведения работы, окончательные результаты испытаний в виде таблиц и графиков, а также ознакомился с заключением на основе экспериментальных данных.

Отчёт составляют на одной стороне листа формата А4 или в тетради.

В начале отчёта приводится титульный лист, на котором указываются название учебного заведения, кафедры, номер и наименование проделанной лабораторной работы, название дисциплины, номер учебной группы, фамилия и инициалы выполнившего работу студента, фамилия и инициалы преподавателя.

Далее в отчёте по каждой лабораторной работе должно приведено следующее: наименование работы; цель работы; перечень электроизмерительных приборов и другого оборудования и их технические данные; электрические схемы; результаты измерений, сведённые в таблице с краткими пояснениями; диаграммы и графики; анализ полученных результатов и выводы по выполненной работе.

Электрические схемы необходимо выполнять с соблюдением условных графических обозначений.

Каждый элемент электрической схемы должен иметь позиционное обозначение, характеризующее вид этого элемента, выполняемую им функцию, порядковый номер, а при необходимости и другие сведения.

Все схемы, таблицы и графики, приводимые в отчёте, должны иметь наименования. Схемы соединений и таблицы следует выполнять карандашом с помощью чертёжных принадлежностей либо на компьютере.

Особое внимание необходимо уделять выполнению графиков исследуемых зависимостей. Они должны быть выполнены на миллиметровой или другой бумаге, имеющей масштабную сетку. При выборе масштаба необходимо исходить из того, чтобы графики получились нормальных размеров (не менее 100×100 мм и не более 200×200 мм).

В большинстве случаев масштабы для осей x и y необходимо брать различными, однако следует предпочитать такие, чтобы в масштабной линейной единице (в 1 см, 1 мм или одной клеточке сетки) находилось целое число откладываемых на осях единиц измеряемой величины.

У каждой координатной оси должны быть указаны условное обозначение откладываемой величины и единица её измерения.

После того как масштаб для координатных осей выбран, необходимо внимательно нанести имеющиеся в таблице экспериментальные или вычисленные точки. Построение необходимо начинать с нулевого или некоторого исходного значения для оси x и продолжать в порядке его возрастания.

Если в одних координатных осях строится несколько графиков, представляющих собой функциональную зависимость ряда величин от одной независимой переменной, то параллельно основной оси ординат, пересечение которой с осью абсцисс принято за начало координатных осей, проводят дополнительные оси ординат, каждую со своим масштабом и своими единицами измерения. За начало координат всех величин в этом случае принимают точку пересечения основных осей.

При построении точек по результатам опытов на таком совмещённом графике эти точки, во избежание ошибок, следует отмечать различными условными значками – крестиками, кружочками и т.п. После нанесения точек какого-либо графика их соединяют плавной кривой с помощью лекала. При этом возможен «разброс»

точек, т.е. некоторые из этих точек не будут лежать на кривой. Это объясняется возможными погрешностями экспериментов: неточным снятием показания измерительного прибора, случайным колебанием напряжения в сети, приближённой вычислений и т.п. Если «разброс» точек оказался значительным, то опыт следует повторить. Для построения криволинейного графика необходимо иметь не менее пяти точек.

Следует обратить внимание на то, что когда экспериментальная зависимость не выражает определённого закона изменения исследуемых величин, экспериментально найденные точки соединяют между собой отрезками прямой. Кроме того, на осях графика должны быть нанесены только основные единицы выбранного масштаба.

В отчёте следует приводить только окончательные результаты вычислений с указанием расчётных формул.

В выводах по выполненной работе надо указывать характер изменения исследуемых параметров или сравнивать полученные результаты с техническими данными исследуемого материала, которые приведены в справочной литературе.

По каждой лабораторной работе студент должен получить зачёт. Для этого он должен знать теоретический материал по данной теме, строение, свойства и область применения исследуемого материала, уметь собрать электрическую схему и объяснить принцип её работы, пояснить, как определяется тот или иной параметр, уметь делать анализ полученных результатов.

Зачёт может проходить в форме личной беседы преподавателя со студентом и может содержать программированный (тестовый) опрос. Оценка (баллы по БРС) за каждую работу может быть учтена при промежуточной аттестации (контрольные точки БРС). Такая система не только стимулирует работу студента, но и даёт преподавателю более полное представление о знаниях студента, его работоспособности, аккуратности и помогает вывести объективную оценку по дисциплине (МДК) за семестр.

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИЗМЕРЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Цель работы:

- изучить методы определения твердости металлов;
- измерить твердость металлов по методам Бринелля и Роквелла.

1. Общие положения

1.1 Методы измерения твердости металлов

Одним из широко распространенных видов испытания металлов является определение твердости. Твердость металла можно определять прямыми и косвенными методами. Прямые методы испытания на твердость состоят в том, что в образец вдавливают специальный твердый наконечник (из закаленной стали, алмаза или твердого сплава) различной формы (шарик, конус, пирамида). После снятия нагрузки остается отпечаток, величина которого характеризует твердость образца. При косвенных методах оцениваются свойства металла, пропорциональные его твердости. Испытания на твердость могут быть статическими и динамическими. К первому виду относятся испытания методом вдавливания, ко второму – методом ударного вдавливания. В зависимости от характера и способа приложения нагрузки твердость косвенно характеризует различные механические свойства металлов. Если наконечник вдавливается в образец, то твердость характеризует сопротивление пластической деформации. Если наконечник царапает образец, то твердость характеризует сопротивление разрушению. Твердость, определенная по отскоку наконечника, характеризует упругие свойства металла образца. По значению твердости металла можно составить представление о его свойствах. Например, чем выше твердость, определенная вдавливанием наконечника, тем меньше пластичность металла, и наоборот.

Метод измерения твердости имеет ряд преимуществ перед другими методами механических испытаний металла: простота техники и быстрота испытаний, простота формы и небольшие размеры образцов, возможность проводить испытание непосредственно на изделии без его разрушения.

Твердость определяют на специальных приборах – твердомерах. Твердомеры бывают стационарные и переносные. Принципиальное устройство твердомеров для всех методов испытаний на твердость одинаково.

Основными узлами твердомеров являются станина, рабочий столик, наконечник (узел, состоящий из оправки и индентора), нагружающее устройство, прибор для измерения величины деформации.

Общая схема испытания такова: деталь или образец помещают на рабочем столике, с помощью нагружающего устройства в образец вдавливают индентор и после снятия нагрузки определяют твердость.

В зависимости от цели испытания, свойств испытуемого металла, размеров образца выбирают форму, размер и материал индентора, величину и длительность приложения нагрузки.

Наиболее часто проводят определение твердости следующими методами: измерение твердости по Бринеллю – по ГОСТ 9012-59; измерение твердости по Роквеллу – по ГОСТ 9013-59; измерение твердости по Виккерсу – по ГОСТ 2999-75; измерение твердости методом ударного отпечатка – по ГОСТ 18661-73; измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников – по ГОСТ 9450-76.

Существуют общие требования к подготовке образцов и проведению испытаний:

1. Изготовление образцов и подготовка поверхности должны осуществляться способами, исключаящими изменения свойств металла из-за нагрева или наклепа.

2. Поверхность образца должна быть чистой, без окисных пленок, следов ржавчины или окалина, трещин и прочих дефектов.

3. Образцы должны быть определенной толщины. После нанесения отпечатка на обратной стороне образца не должно быть следов деформации.

4. Образец должен лежать на столике жестко и устойчиво. В процессе испытания образец не должен смещаться или прогибаться.

5. Прилагаемая нагрузка должна действовать перпендикулярно к поверхности образца.

6. Нагрузка должна прилагаться и возрастать плавно до заданного значения, а далее поддерживаться постоянной в течение определенного времени.

1.1.1 Измерение твердости по Бринеллю

При определении твердости методом Бринелля в испытуемый образец или изделие вдавливается в течение определенного времени металлический шарик (рисунок 1).

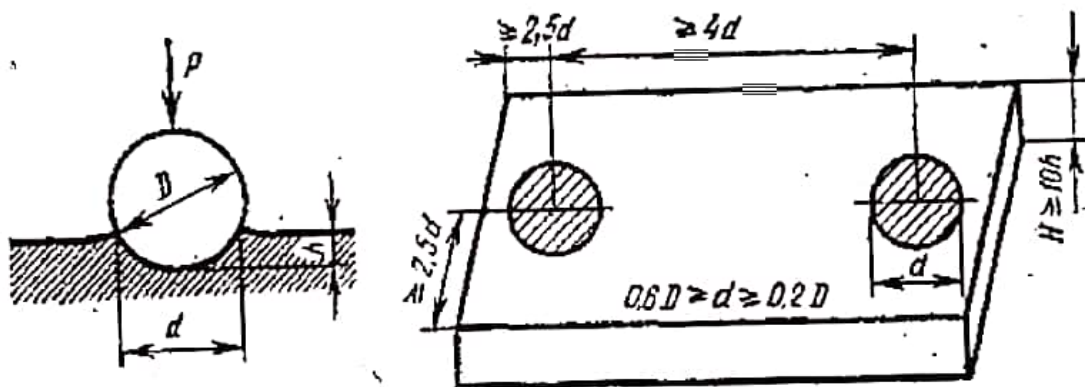


Рисунок 1. Схема расположения отпечатка при определении твердости методом Бринелля

После снятия нагрузки, на поверхности образца остается сферический отпечаток. Величина отпечатка зависит от твердости металла: чем тверже металл, тем меньше будет величина отпечатка. Число твердости по Бринеллю обозначается HB .

Чтобы определить число твердости HB ($\text{H}/\text{м}^2$ или $\text{кг}/\text{мм}^2$), надо величину приложенной нагрузки P разделить на площадь отпечатка F :

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

где D – диаметр шарика, м (или мм);
 d – диаметр отпечатка, м (или мм);
 P – нагрузка на шарик, Н (или кг).

Чтобы не производить каждый раз вычисления, при определении числа твердости пользуются специально составленной табли-

цей (приложение к ГОСТ 9012-59). Зная нагрузку, диаметры шарика и отпечатка, по этой таблице можно определить число твердости HV .

Для испытания применяют шарики из закаленной стали или твердого сплава диаметром 2,5; 5,0 и 10 мм. Диаметр шарика выбирают в зависимости от толщины испытуемого образца и его твердости: чем тоньше и тверже образец, тем меньше должен быть диаметр шарика.

Обычно испытание проводят на специально подготовленной горизонтальной площадке образца. Если поверхность детали криволинейная, то на ней должна быть подготовлена плоскость размером $20 \times 20 \text{ мм}^2$ при диаметре шарика $D = 10,0 \text{ мм}$, $10 \times 10 \text{ мм}^2$ при диаметре шарика $D = 5,0 \text{ мм}$ и $5 \times 5 \text{ мм}^2$ при диаметре шарика $D = 2,5 \text{ мм}$.

Толщина испытуемого образца должна быть не меньше десятикратной глубины отпечатка. Глубину отпечатка определяют пробным испытанием или, если известен уровень твердости, по формуле:

$$H = P / \pi D^2 \cdot HV,$$

где H – глубина отпечатка, D – диаметр шарика, P – нагрузка на шарик, HV – число твердости.

Расстояние от центра отпечатка до края образца должно быть не менее $2,5d$, а между центрами двух соседних отпечатков – не менее $4d$. Для получения правильных результатов диаметр отпечатка d должен находиться в пределах $0,2 \dots 0,6$ диаметра шарика D . Диаметр отпечатка d измеряют при помощи лупы или отсчетного микроскопа (рисунок 2) в двух взаимно перпендикулярных направлениях и определяют среднее арифметическое из двух определений. Разность измерений диаметров одного отпечатка не должна превышать 2% от меньшего из них. Размер отпечатка определяют с точностью до 0,05 мм при диаметре шарика 5 и 10 мм и с точностью до 0,01 мм при диаметре шарика 2,5 мм.

В зависимости от твердости металла нагрузка на шарик может изменяться от 15,6 до 3000 кг. Чтобы результаты испытаний были сопоставимы при любом диаметре взятого шарика, между нагрузкой и диаметром шарика должно выдерживаться соотношение: $P = 2,5D^2$, $P = 10D^2$, $P = 30D^2$.

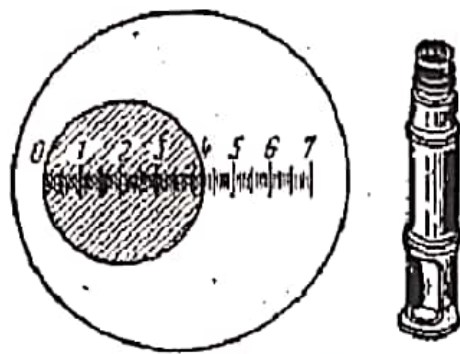


Рисунок 2. Измерение диаметра отпечатка по шкале лупы

Длительность приложения нагрузки должна быть достаточной для прохождения деформации и возрастать с уменьшением твердости испытуемого металла от 10 до 30 и 60 с.

При выборе диаметра шарика D , нагрузки P , продолжительности выдержки под нагрузкой t и минимальной толщины образца руководствуются таблицей 1.

Таблица 1 - Выбор параметров испытания при определении твердости методом Бринелля

Материал	Интервал твердости в числах Бринелля	Минимальная толщина испытуемого образца, мм	Соотношение между нагрузкой P и диаметром шарика	Диаметр шарика D , мм	Нагрузка P , кг	Выдержка под нагрузкой, сек
Черные металлы	140-450	от 6 до 3 от 4 до 2 < 2	$P=30D^2$	10,0 5,0 2,5	3000 750 187,5	10
	< 140	> 6 от 6 до 3 < 3	$P=10D^2$	10,0 5,0 2,5	1000 250 62,5	10
Цветные металлы	>130	от 6 до 3 от 4 до 2 < 2	$P=30D^2$	10,0 5,0 2,5	3000 750 187,5	30
	35-130	от 9 до 3 от 6 до 3 < 3	$P=10D^2$	10,0 5,0 2,5	1000 250 62,5	30
	8-35	> 6 от 6 до 3 < 3	$P=2,5D^2$	10,0 5,0 2,5	250 62,5 15,6	60

Запись результатов испытания проводится следующим образом. Если испытание проводится шариком диаметром $D = 10$ мм под нагрузкой $P = 3000$ кг с выдержкой 10 с, то записывается число

твердости с символом *HB*. Например, твердость стали *HB 350*. Если условия испытания иные, то это показывается соответствующими индексами. Например, число твердости 230 и испытание проводилось шариком диаметром 5,0 мм при нагрузке 750 кг с выдержкой под нагрузкой 10 с. В этом случае результаты записываются так: *HB 5/750/10/230*.

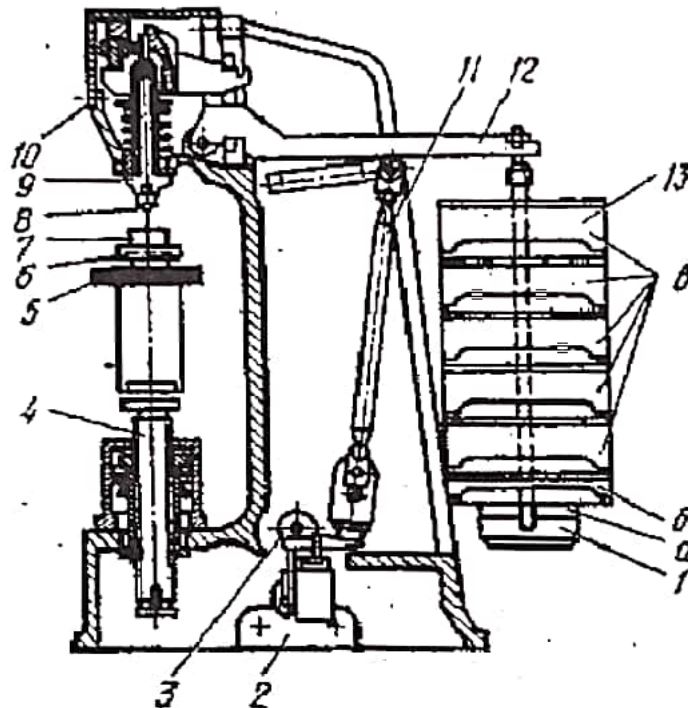


Рисунок 3. Схема прибора ТШ-2

Схема прибора для определения твердости по методу Бринелля приведена на рисунке 3.

На подвеску 1 устанавливают набор грузов 13. Сама подвеска создает нагрузку 1875 Н (187,5 кг). В наборе имеются грузы а, б и в, создающие нагрузки 625 Н (62,5 кг), 2500 Н (250 кг), 5000 Н (500 кг) соответственно. В шпинделе 9 закрепляют наконечник с шариком 8. Образец 7 устанавливают на столик 6. Вращением штурвала 5 приводят в движение винт 4 и прижимают образец к шарiku до совпадения указателя 10 с риской, при этом создается предварительная нагрузка 1000 Н (100 кг). После этого нажатием кнопки включают электродвигатель 2, через эксцентрик 3 и шатун 11 опускается рычаг 12 с нагруженной подвеской 1. При этом нагрузка передается на шарик и последний вдавливается в образец в течение установленного времени, после которого рычаг с грузами поднимается, снимая нагрузку с шарика. Вращением штурвала 5 против ча-

совой стрелки опускается столик 6. Образец снимают и замеряют оставшийся отпечаток.

1.1.2 Измерение твердости по Роквеллу

При измерении твердости этим методом алмазный конус или стальной шарик вдавливаются в испытуемый образец под действием общей нагрузки P . При этом сначала прилагается предварительная нагрузка P_0 , а затем основная – P_1 , т.е. $P = P_0 + P_1$. Твердость определяют по глубине отпечатка (рисунок 4).

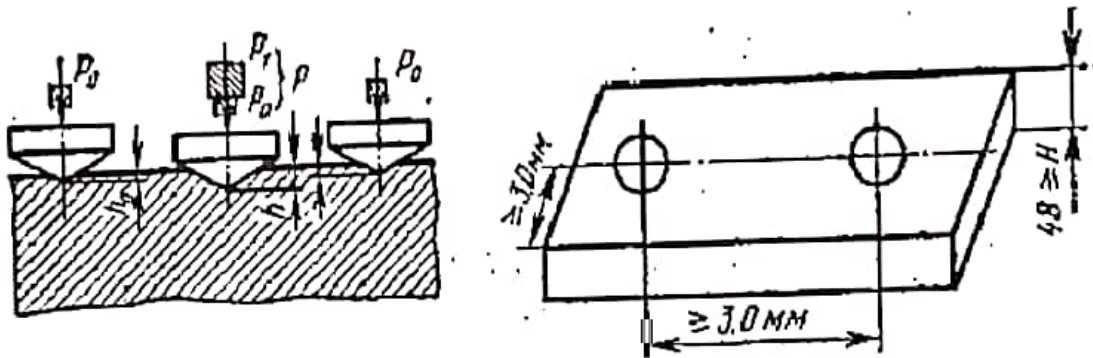


Рисунок 4. Схема испытания на твердость по методу Роквелла

За единицу твердости по Роквеллу принята условная величина, соответствующая осевому перемещению наконечника на 0,002 мм. В зависимости от твердости испытуемого образца испытание проводят вдавливанием алмазного конуса или шарика при различной величине основной и общей нагрузки. При испытании твердость можно измерять по трем шкалам: *A*, *B* и *C* (табл. 2).

Таблица 2 - Выбор параметров при определении твердости методом Роквелла

Шкала	Число твердости	Индентор	Нагрузка, кг			Пределы измерения в ед. тверд. по Роквеллу, HR
			P_0	P_1	P	
A	HRA	Стальной конус	10	50	60	70...85
B	HRB	Стальной шарик	10	90	100	25...100
C	HRC	Алмазный конус	10	140	150	20...67

Поверхность для испытания может быть плоской и криволинейной. Радиус кривизны поверхности должен быть не менее 15 мм. Минимальная толщина образца должна быть не меньше восьмикратной глубины внедрения индентора после снятия основной нагрузки P_1 . При измерении твердости расстояние между центрами двух соседних отпечатков или расстояние от центра отпечатка до края образца должно быть не менее 3,0 мм. На каждом образце проводят не менее трех измерений.

Схема прибора для измерения твердости по методу Роквелла показана на рисунке 5.

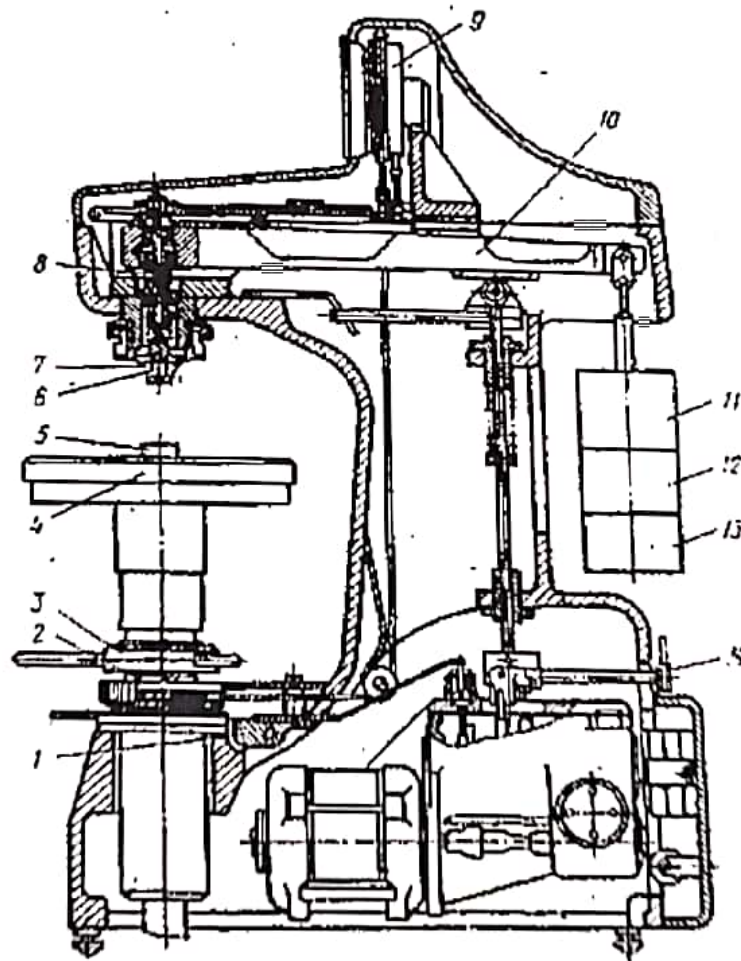


Рисунок 5. Схема прибора ТК-2

В зависимости от твердости испытываемого образца выбирают нагрузку и индентор (см. табл. 2). Нагрузку обеспечивает набор грузов, состоящий из одного постоянного 13 и двух переменных 12 и 11, каждый из которых дает соответственно нагрузку 500 Н (50 кг), 400 Н (40 кг) и 500 Н (50 кг). Твердость образца определяют по шкале индикатора 9. При испытании алмазным конусом под на-

грузкой 1500 Н (150 кг) отчет производят по черной шкале *C*, а под нагрузкой 600 Н (60 кг) – по черной шкале *A*; при испытании стальным шариком отчет производят по красной шкале – *B*. В шпиндель 8 закрепляют оправку с индентором 6. Образец 5 устанавливают на столик 4, и, вращая по часовой стрелке маховик 3, поднимают столик до упора образца в ограничительный чехол 7 индентора, что создает предварительную нагрузку 100 Н (10 кг). В момент упора образца в ограничительный чехол маленькая стрелка индикатора (рис. 6,а) должна дойти до точки, а большая стрелка установится около нуля черной шкалы *C*. Совмещают большую стрелку индикатора с нулем шкалы *C*, вращая барабан 2. Такое совмещение производится при испытании всеми инденторами с любыми нагрузками. При нажатии на клавишу 1 электродвигатель опускает рычаг 10 с подвеской и грузами – создается общая нагрузка: предварительная + основная. При этом индентор углубляется в образец, а большая стрелка индикатора поворачивается против движения часовой стрелки (рис. 6,б).

Длительность цикла испытания устанавливают рукояткой 14. Нормальный цикл испытания занимает 4 с, а ускоренный – 2 с. После окончания вдавливания основная нагрузка автоматически снимается. При этом большая стрелка индикатора поворачивается по часовой стрелке и указывает на соответствующей шкале число твердости по Роквеллу (рис. 6,в). Вращая маховик 8 против часовой стрелки, опускают стол 4 и освобождают образец 5.

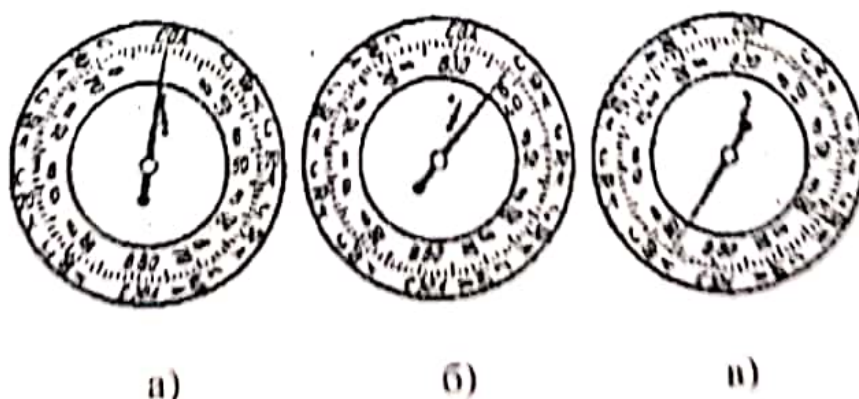


Рисунок 6. Шкала индикатора прибора ТК-2

2. Оборудование и материалы, применяемые в работе

1. Твердомер Бринелля.

2. Твердомер Роквелла.
3. Лупа Бринелля.
4. Набор образцов для испытаний.

3. Порядок определения твердости по Бринеллю

1. Пользуясь таблицей 1, определяют нагрузку и диаметр шарика в зависимости от толщины образца.

2. Устанавливают испытуемый образец на столик шлифованной поверхностью кверху. Центр отпечатка должен находиться от края образца на расстоянии не менее диаметра шарика. Каждое последующее испытание надо проводить на расстоянии не менее двух диаметров отпечатка.

3. Доводят образец до соприкосновения с шариком (см. рис.3) вращением маховика по часовой стрелке до полного упора.

4. Включают электродвигатель нажатием кнопки пускателя мотора и следят за ходом испытания. Нагрузка на образец, выключение мотора и освобождение образца от нагрузки происходят автоматически.

5. Опускают столик с испытуемым образцом вращением маховика против часовой стрелки.

6. Получают на том же образце еще один отпечаток.

7. Диаметры отпечатков измеряют при помощи лупы Бринелля в двух взаимно перпендикулярных направлениях и берут среднее арифметическое из двух измерений.

8. Результаты замеров заносят в таблицу 3.

Таблица 3- Результаты измерения твердости по Бринеллю

№ образца	Диаметр, мм	Нагрузка, Н	Диаметры отпечатков, мм			НВ
			d ₁	d ₂	d _{ср}	

Твердость по Бринеллю для ряда металлов связана эмпирической зависимостью с пределом прочности при растяжении σ . Для ковальной и катаной углеродистой стали – $\sigma = 0,36 \cdot НВ$; для легированных сталей – $\sigma = (0,33...0,35) \cdot НВ$; для стального литья $\sigma = (0,30...0,40) \cdot НВ$.

4. Порядок измерения твердости по Роквеллу

1. По предполагаемой величине твердости образца определить шкалу (А, В или С), по которой следует измерять твердость.

2. Установить необходимую нагрузку и индентор.

3. Довести образец до соприкосновения с наконечником при помощи маховика (см. рис. 5).

4. Создать предварительную нагрузку в 10 кг, для чего вращением маховика продолжать подъем столика до тех пор, пока малая стрелка индикатора не окажется против красной точки на шкале, а большая не станет примерно в вертикальное положение.

5. Вращать барабан вместе с циферблатом до тех пор, пока для наконечника (шарика или алмазного конуса) нуль черной шкалы не совпадет с большой стрелкой (вращение барабана передается циферблату индикатора тросиком).

6. Включить основную нагрузку, для чего включить электрический привод, время приложения основной нагрузки 5...7 с (основная нагрузка снимается автоматически).

7. Записать число твердости по Роквеллу (цифру, которую указывает на шкале циферблата большая стрелка). При этом, если ее наконечником является алмазный конус, отсчет делают по черной шкале циферблата, если шарик – по красной.

8. Разгрузить образец полностью, для чего необходимо вращать маховик против часовой стрелки, столик прибора с образцом при этом опускается.

9. Испытание повторить на одном образце не менее трех раз. За число твердости принять среднее из трех последних. Результат первого испытания не учитывать. Полученные значения занести в таблицу 4.

Таблица 4 - Результаты измерения твердости по Роквеллу

№ образца	Материал	Шкала (А,В,С)	Нагрузка, Н	Тип индентора	Твердость, HR	
					Числа твердости	Среднее

5. Содержание отчета

Отчет должен содержать ответы на следующие вопросы:

- а) характеристика твердости как свойства металла и способы измерения твердости;
- б) схемы приборов Бринелля, Роквелла и методика измерения твердости на них;
- в) протокол испытаний в виде таблиц и анализ результатов измерений.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Цель работы: Изучить процесс кристаллизации металлов и сплавов.

1. Краткие теоретические сведения

Переход металла из жидкого состояния в твердое (кристаллическое) называется *кристаллизацией*. Кристаллизация протекает в условиях, когда система переходит к термодинамически более устойчивому состоянию с меньшей энергией Гиббса (свободной энергией) G , т.е. когда энергия Гиббса кристалла меньше, чем энергия Гиббса жидкой фазы. Если превращение происходит с небольшим изменением объема, то $G = E - TS$,

где E – полная энергия (внутренняя энергия фазы); T – абсолютная температура; S – энтропия.

Изменение энергии Гиббса металла в жидком и твердом состоянии в зависимости от температуры показано на рисунке 7. При температуре выше температуры превращения (T_n) более устойчив жидкий металл, имеющий меньший запас свободной энергии, а ниже T_n – устойчив твердый металл. При температуре T_n значения энергий Гиббса металла в жидком и твердом состояниях равны. Температура T_n соответствует равновесной температуре кристаллизации (или плавления) данного вещества, при которой обе фазы (жидкая и твердая) могут сосуществовать одновременно.

Процесс кристаллизации при этой температуре еще не начинается, а начинается, тогда, когда возникает разность энергий Гиббса (ΔG), образующаяся вследствие меньшей энергии Гиббса твердого металла по сравнению с жидким.

Следовательно, процесс кристаллизации может протекать только при переохлаждении металла ниже равновесной температуры T_n . Разность между температурами T_n и T_k , при которых может протекать процесс кристаллизации, носит название степени переохлаждения: $\Delta T = T_n - T_k$.

Переход сплава из жидкого состояния в твердое, как и при кристаллизации чистых металлов, протекает только при наличии некоторого переохлаждения, когда энергия Гиббса жидкой фазы оказывается выше энергии Гиббса твердой фазы.

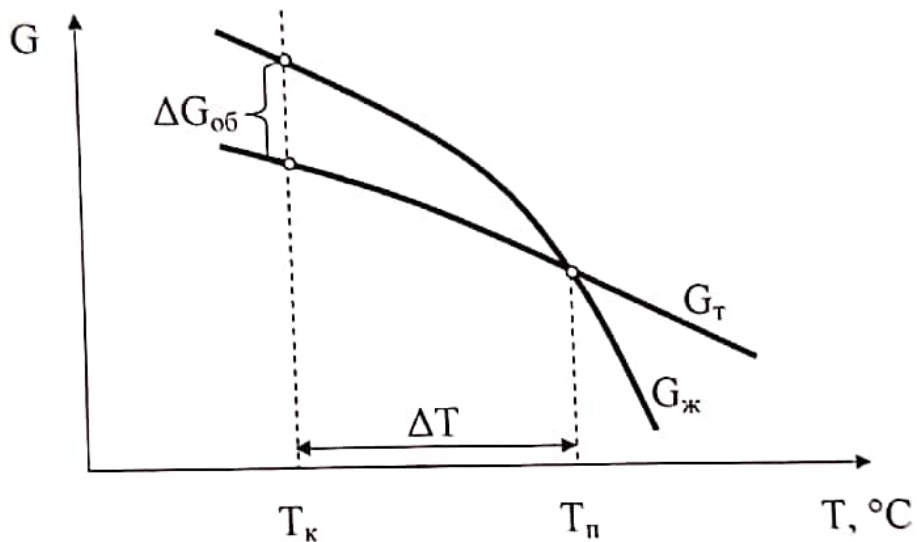


Рисунок 7. Изменение энергии Гиббса металла в жидком ($G_{ж}$) и твердом ($G_{т}$) состояниях в зависимости от температуры (T_k – температура, при которой происходит кристаллизация)

Процесс затвердевания протекает в результате образования центров кристаллизации (зародышей) и последующего их роста в виде дендритных или полигональных кристаллитов.

Любые твердые фазы, образующиеся в жидком сплаве, отличаются по составу от исходного жидкого раствора, поэтому для образования устойчивого зародыша необходимы не только гетерогенные флуктуации, но и флуктуации концентрации. *Флуктуациями концентрации называют временно возникшие отклонения химического состава сплава в отдельных малых объемах жидкого раствора от среднего его состава.*

Такие флуктуации возникают вследствие диффузионного превращения атомов вещества в результате тепловых движений в жидком растворе.

Русский ученый Д.К. Чернов, изучая структуру литой стали, указал, что процесс кристаллизации состоит из двух элементарных процессов. Первый процесс заключается в зарождении мельчайших частиц кристаллов, которые Чернов назвал *зачатками*, а теперь их называют зародышами, или центрами кристаллизации. Второй процесс состоит в росте кристаллов из этих центров.

Рассмотрение схем кристаллизации позволяет объяснить два момента:

1) по мере развития процесса кристаллизации в нем участвует все большее и большее число кристаллов. Поэтому процесс вначале ускоряется, пока в какой-то момент взаимное столкновение растущих кристаллов не начинает заметно препятствовать их росту;

2) в процессе кристаллизации, пока кристалл окружен жидкостью, он часто имеет правильную форму, но при столкновении и срастании кристаллов их правильная форма нарушается, внешняя форма кристалла оказывается зависимой от условий соприкосновения растущих кристаллов.

Зародыш новой фазы может возникнуть только в тех микрообъемах исходной фазы, состав которых в результате флуктуации концентрации и расположения атомов соответствует составу и строению новой кристаллизующей фазы. Если при этом концентрационные флуктуации соответствуют микрообъемам, имеющим размер меньше критического, возникает устойчивый зародыш, способный к росту.

Самостоятельное образование зародышей на основе фазовых и энергетических флуктуаций может проходить только в высокочистом жидком металле при больших степенях переохлаждения.

Чаще источником образования зародышей являются всевозможные твердые частицы, которые всегда присутствуют в расплаве. Если частицы примеси имеют одинаковую кристаллическую решетку с решеткой затвердевающего металла, и параметры сопрягающихся решеток примесей и кристаллизующегося вещества примерно одинаковы, то они играют роль готовых центров кристаллизации.

Структурное сходство между поверхностями сопряжения зародыша и частицы посторонней примеси приводит к уменьшению размера критического зародыша, работы его образования, и затвердевание жидкости начинается при меньшем переохлаждении, чем при самостоятельном зарождении.

Чем больше примесей, тем больше центров кристаллизации, тем мельче получается зерно. Такое образование зародышей называют *гетерогенным*.

Модифицирование – использование специально вводимых в жидкий металл примесей для получения мелкого зерна по описанному выше механизму. Эти примеси, практически не изменяя химического состава сплава, вызывают при кристаллизации измельчение зерна и в итоге улучшение механических свойств.

Процесс перехода металла из жидкого состояния в кристаллическое можно изобразить кривыми в координатах "время – температура" (рисунок 8).

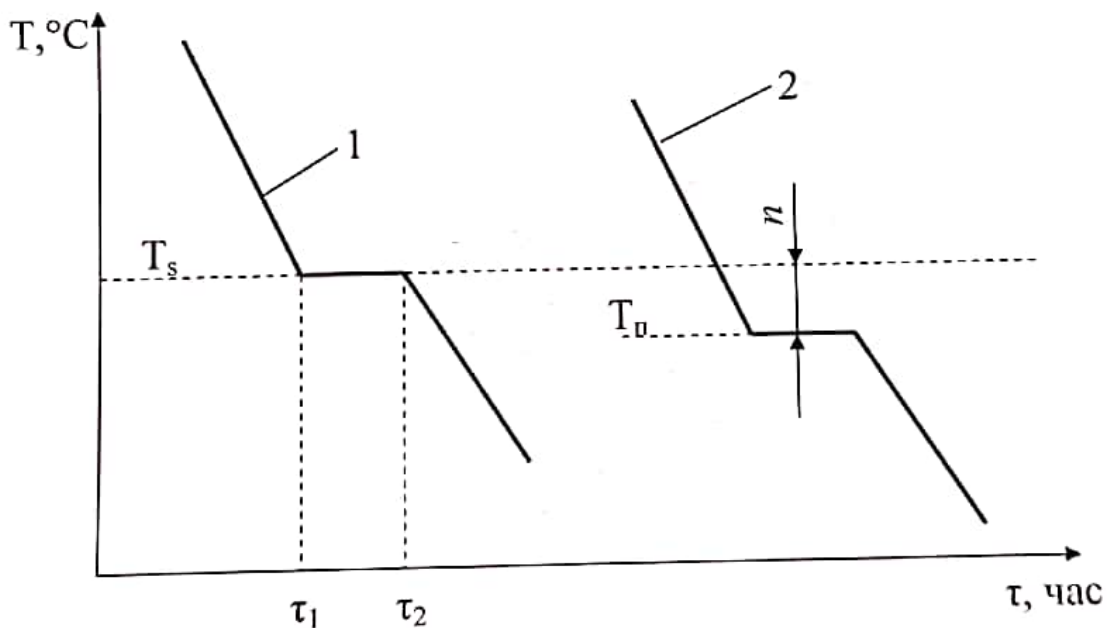


Рисунок 8. Схема кристаллизации металла (кривые охлаждения при кристаллизации)

Охлаждение металла в жидком состоянии сопровождается плавным понижением температуры и может быть названо простым охлаждением, так как при этом нет качественного изменения состояния.

При достижении теоретической температуры кристаллизации (T_s) на кривой появляется горизонтальная площадка, так как отвод тепла компенсируется выделяющейся при кристаллизации *скрытой теплотой кристаллизации*. Теоретически процесс кристаллизации изображается кривой 1. При T_s начинается процесс кристаллизации, который продолжается определенное время от τ_1 до τ_2 . Кривая 2

показывает реальный процесс кристаллизации. Жидкость непрерывно охлаждается до температуры переохлаждения T_n , лежащей ниже теоретической температуры кристаллизации. При охлаждении ниже T_s создаются энергетические условия, необходимые для протекания процесса кристаллизации.

В реальных условиях при кристаллизации слитка могут получиться кристаллы самых разнообразных форм и размеров. Это зависит от условий охлаждения слитка, а также от того, с какой температурой металл попадает в изложницу и какова была температура перегрева сплава, от скорости отвода тепла и т.д. Чаще всего при кристаллизации металлов и солей образуется дендритная структура. (Дендрит – древовидный кристалл). В реальных металлических слитках дендриты имеют правильную форму. Кристаллы неправильной формы называются зернами или кристаллитами.

Обычно слиток состоит из трех зон, каждая из которых характеризуется особым расположением зерен (рисунок 9), образовавшихся при различных условиях охлаждения.

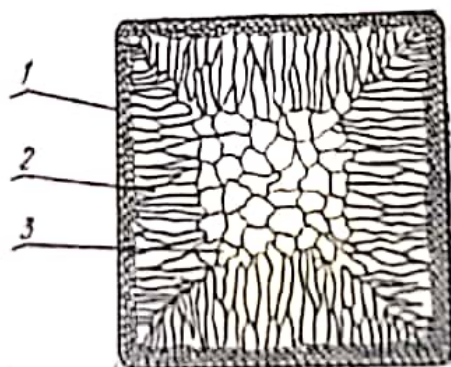


Рисунок 9. Схема строения стального слитка

Первая зона (1) – наружная мелкозернистая корка, состоящая из дезориентированных мелких кристаллов – дендритов.

Вторая зона (2) – зона столбчатых кристаллов. Их форма определяется направлением отвода тепла.

Третья зона (3) – зона равноосных кристаллов. Центрами кристаллизации являются мельчайшие включения, не растворившиеся в жидком металле.

2. Методика выполнения работы

Процесс образования кристаллов в настоящей работе изучается на примере кристаллизации солей из водных растворов (NaCl , NH_4Cl , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) с помощью биологического микроскопа.

После нанесения капли раствора на предметное стекло начинается процесс испарения воды, приводящий к выпадению кристаллов. На примере кристаллизации NaCl можно проследить процесс образования и роста кристаллов правильной формы, а также влияние примесей на форму и число центров кристаллизации.

Кристаллизация раствора NH_4Cl позволяет наблюдать процесс роста дендритных кристаллов. (Обратить внимание на динамику их роста). Раствор $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ служит моделью, позволяющей проследить рост столбчатых кристаллов.

3. Порядок выполнения работы

1. Нанести с помощью пипетки каплю раствора на предметное стекло.
2. Поместив стекло с каплей под объектив микроскопа, получить резкое изображение края капли (капли растворов $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ необходимо предварительно подогреть до выпаривания воды).
3. Наблюдать за ростом кристаллов. Зарисовать в отчете кристаллы на нескольких последовательных стадиях роста.
4. Выполнить вышеуказанные задания для каждого раствора.

Контрольные вопросы

1. При каких условиях протекает кристаллизация?
2. Что называют степенью переохлаждения?
3. Что такое флуктуации концентрации?
4. Что такое центры кристаллизации?
5. Как строят кривые охлаждения? В каких координатах?
6. Что такое модифицирование?
7. Из каких зон состоит кристаллизующийся слиток?
8. Что такое скрытая теплота кристаллизации?
9. Что называют дендритом?
10. Что происходит с энергией Гиббса при кристаллизации?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТАЛИ

Цель работы: изучить с помощью микроскопа микроструктуры углеродистых сталей, научиться определять тип сплава по наблюдаемой микроструктуре и содержание углерода в нем.

1. Теоретическая часть

Структурные превращения в сталях происходят в соответствии с диаграммой состояния $Fe-Fe_3C$ (рис. 10), которая показывает превращения, протекающие в железоуглеродистых сплавах при различных температурах в условиях медленного охлаждения. Структурные превращения в железоуглеродистых сплавах при быстром охлаждении не соответствуют диаграмме состояния $Fe-Fe_3C$. При быстром охлаждении получают закалочные структуры: мартенсит, бейнит, троостит, сорбит.

Под равновесным состоянием сплава понимается состояние, при котором все фазовые превращения в сплаве практически закончились. Равновесное состояние в сталях обычно достигается путем полного отжига, заключающегося в нагреве доэвтектоидных и эвтектоидных сталей (содержание углерода до 0,8% включительно) выше линии GS диаграммы $Fe-Fe_3C$ на 30-50°, длительной выдержки при этой температуре и последующем охлаждении. Заэвтектоидная сталь имеет содержание углерода свыше 0,8% (до 2,14%). В соответствии с диаграммой $Fe-Fe_3C$, структура стали в равновесном состоянии, а следовательно, физико-механические свойства, определяются содержанием углерода.

Углеродистые стали в отожженном состоянии, в зависимости от содержания углерода, в общем случае имеют три структурные составляющие: феррит, цементит и перлит.

Структурной составляющей называют однородную часть структуры, наблюдаемую под микроскопом (оптическим или электронным).

Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов могут быть однофазными (в этом случае фаза и структурная составляющая по названию совпадают) или представлять собой механическую смесь двух фаз (эвтектоид, эвтектика; каждая из этих структурных составляющих состоит из двух фаз).

Фазой называют однородную часть системы (сплава), отделенную от других частей сплава поверхностью раздела, при переходе через которую химический состав или кристаллическая решетка сплава изменяется скачком. Фазы в сплавах определяют (идентифицируют) рентгенографическим анализом. Согласно диаграмме $Fe-Fe_3C$, в равновесных железоуглеродистых сплавах могут содержаться следующие фазы: феррит, аустенит и цементит при

температурах выше линии GPK или феррит и цементит – при температурах ниже линии GPK, в том числе при комнатной.

Феррит (Ф) – твердый раствор углерода в α -железе (в железе с объемно-центрированной кубической решеткой). В феррите растворяется очень мало углерода: при 727°C до $0,02\%$, а при комнатной температуре – только до $0,006\%$ С (растворимость углерода в феррите показывает линия PQ на рисунке 10).

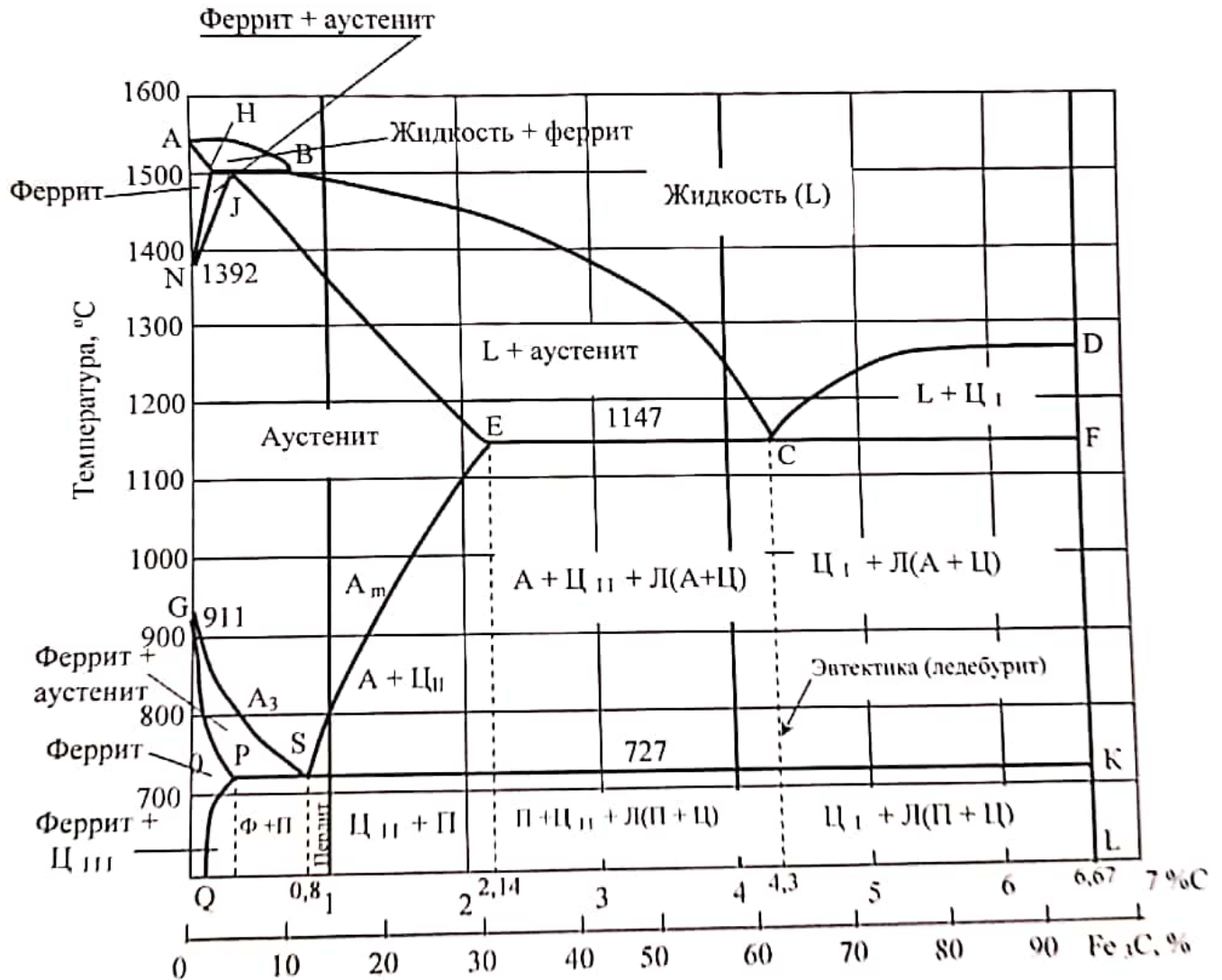


Рисунок 10. Диаграмма состояния сплавов Fe-Fe₃C

Аустенит (А) – твердый раствор углерода в γ -железе (в железе с гранецентрированной кубической решеткой). Растворимость углерода в аустените высокая: $2,14\%$ С при 1147°C и $0,8\%$ С при 727°C (линия ES на рис. 10).

Цементит (Ц) – химическое соединение железа с углеродом, карбид железа Fe_3C . Содержание углерода в цементите составляет 6,67% по массе, или 7,5% ат.

Решетка цементита состоит из октаэдров. В центре каждого октаэдра расположен атом углерода, который окружают шесть атомов железа. Каждый атом железа принадлежит двум октаэдрам, что соответствует атомному соотношению $Fe:C = 3:1$, или формуле Fe_3C .

Согласно диаграмме $Fe-Fe_3C$ (где железо представлено левой ординатой, цементит – правой), при температурах ниже линии PSK и, следовательно, при комнатной температуре в железоуглеродистых сплавах могут присутствовать следующие структурные составляющие: перлит, ледебурит, цементит первичный, цементит вторичный, цементит третичный, феррит.

Перлит (П) представляет собой эвтектоид (продукт распада аустенита на механическую смесь двух фаз – феррита и цементита). Линия PSK диаграммы ($727^\circ C$) показывает температуру эвтектоидного превращения, т.е. превращения аустенита, содержащего 0,8% углерода, в перлит.

Ледебурит (Л) – название эвтектики железоуглеродистых сплавов. Он образуется из жидкого раствора, содержащего 4,3% углерода при температуре эвтектического превращения, которая для чистых железоуглеродистых сплавов равна $1147^\circ C$ (линия EF диаграммы). При температурах между 1147 и $727^\circ C$ ледебурит состоит из цементита и аустенита. Поскольку при $727^\circ C$ аустенит превращается в перлит, то ледебурит при температурах ниже $727^\circ C$ состоит из цементита и перлита. По фазовому составу ледебурит и перлит не отличаются друг от друга – оба состоят из феррита и цементита, при этом цементит, входящий в ледебурит, называют эвтектическим, а входящий в перлит – эвтектоидным. Если цементит представляет собой самостоятельную структурную составляющую, то его называют первичным, вторичным или третичным.

Цементит первичный (Ц_I) – это кристаллы цементита, выделившиеся из жидкого раствора (при температурах в области CDF, т.е. между линиями ликвидус и солидус).

Цементит вторичный (Ц_{II}) – это цементит, выделившийся из аустенита при охлаждении между температурами 1147 и $727^\circ C$ (изменение растворимости цементита в аустените в этом же температурном интервале показано линией ES диаграммы).

Цементит третичный (Ц_{III}) – это цементит, выделившийся из феррита при охлаждении ниже 727°C (растворимость цементита в феррите при этих температурах показана линией PQ). Основа разделения по структуре железоуглеродистых сплавов на техническое железо, стали и чугуны заключается в том, что техническое железо не имеет в структуре ни перлита, ни ледебурита; в структуре сталей имеется перлит; чугуны имеют в своей структуре и перлит и ледебурит.

Железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода менее 2,14%, т.е. стали, в зависимости от содержания углерода и наблюдаемых структур разделяются на следующие типы:

а) *технически чистое железо* ($\text{C} \leq 0,025\%$). Структура состоит из феррита и цементита третичного (рис. 11). Этот сплав характеризуется низкой твердостью и высокой пластичностью.

б) *дозвтектоидные стали* ($\text{C} = 0,025 \dots 0,8\%$). Структурными составляющими являются феррит и перлит (рис. 12). С увеличением содержания углерода количество зерен перлита увеличивается, твердость и предел прочности возрастают, а пластичность уменьшается.

в) *эвтектоидные стали* ($\text{C} = 0,8\%$), имеющие чисто перлитную структуру (рис. 13). Их твердость и предел прочности выше, чем у доэвтектоидной стали, а пластичность ниже.

г) *заэвтектоидные стали* ($\text{C} = 0,8 \dots 2,14\%$), имеющие структуры перлита и вторичного цементита (рис. 14).

Зная количество углерода, находящегося в различных структурных составляющих, и соотношение площадей, занимаемых в исследуемой структуре структурными составляющими, можно с достаточной для практики точностью определить содержание углерода в стали.

Дозвтектоидная сталь

Дозвтектоидная сталь, как известно, включает две структурные составляющие: феррит и перлит, отличающиеся большой разницей по содержанию углерода. Если в феррите углерода находится ничтожное количество (0,006% при комнатной температуре), то в перлите содержится его больше (0,8%), т.е. в 133 раза выше, чем в феррите. Поэтому при расчетах содержанием углерода в феррите можно пренебречь, а вычисления вести только по одной структурной составляющей – по перлиту.

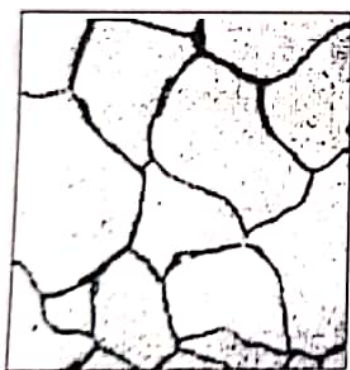
Допустим, что при наблюдении микрошлифа под микроскопом оказалось 20% площади, занимаемой перлитом, при этом феррита будет 80%, т.е. соотношение площадей перлита и феррита равно 20:80.

Для определения количества углерода составляем уравнение: 100% перлита содержит 0,8% углерода, а 20% перлита содержит X% углерода. Откуда находим:

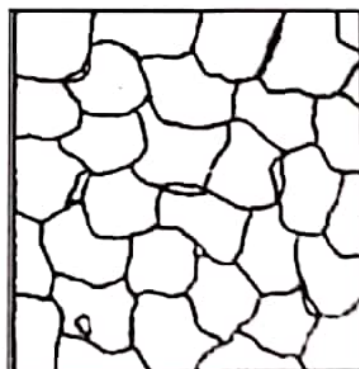
$$X = \frac{20 \cdot 0,8\% \text{C}}{100\%} = 0,16\% \text{C}$$

Следовательно, исследуемая сталь содержит примерно 0,16%С. Зная содержание углерода, по табл. 5 можно определить марку углеродистой качественной конструкционной стали. В данном случае будет сталь 15.

Пример обозначения этой стали: Сталь 15 ГОСТ 1050-80. «15» означает среднее количество углерода в сотых долях процента, т.е. 0,15%.

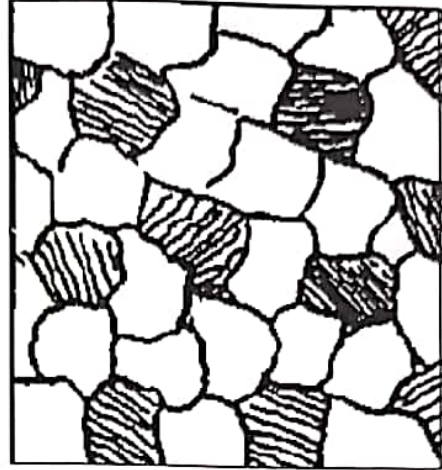


а)



б)

Рисунок 11. Структура технического железа:
 а) микроструктура (феррит и третичный цементит);
 б) схема зарисовки микроструктуры



а)

б)

Рисунок 12. Структура доэвтектоидной стали:
 а) микроструктура (феррит и перлит);
 б) схема зарисовки микроструктуры

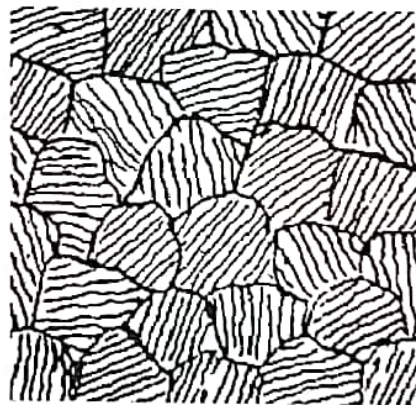


Рисунок 13. Структура эвтектоидной стали:
 а) микроструктура (перлит);
 б) схема зарисовки микроструктуры



а)

б)

Рисунок 14. Структура заэвтектоидной стали:
 а) микроструктура (перлит и вторичный цементит);
 б) схема зарисовки микроструктуры

Эвтектоидная сталь

Эвтектоидная сталь содержит только одну структурную составляющую - перлит. Содержание углерода в этой стали постоянно 0,8%. Эвтектоидная сталь относится к углеродистым – инструментальным сталям, предназначенным в основном для изготовления слесарных инструментов.

Пример обозначения этой стали: Сталь У8 ГОСТ 1435-80. Буква «У» означает углеродистую инструментальную сталь, а «8» – среднее содержание углерода в десятых долях процента, т.е. 0,8%.

Заэвтектоидная сталь

Заэвтектоидная сталь включает две основные структурные составляющие: перлит и цементит вторичный, каждая из которых содержит большое количество углерода (в перлите 0,8%, а в цементите еще больше – 6,67%). Поэтому расчет содержания углерода в заэвтектоидных сталях ведут по двум структурным составляющим.

Допустим, что структура заэвтектоидной стали содержит 95% перлита и 5% цементита вторичного, тогда содержание углерода в перлите находится из соотношения: 100% перлита содержит 0,8%С, 95% перлита содержит X% С, откуда:

$$X = \frac{95\% \cdot 0,8\%C}{100\%} = 0,76\%C$$

Содержание углерода в цементите находится из соотношения: 100% цементита содержит 6,67% С, 5% цементита содержит X% С, тогда:

$$X = \frac{5\% \cdot 6,67\%C}{100\%} = 0,33\%C$$

В данном случае содержание углерода в стали будет равно сумме: $C = 0,76\%C + 0,33\%C = 1,09\%C$.

По табл. 5 определяем марку стали. В данном случае будет углеродистая инструментальная сталь У11 ГОСТ 1435-80.

Обычно площадь, занимаемая цементитом в структуре заэвтектоидных статей невелика, поэтому определить ее на глаз затруднительно, ввиду чего приведенный расчет определения содержания углерода дает большие погрешности и на практике используется редко.

2. Необходимое оборудование и материалы

1. Металлографический микроскоп.
2. Оснастка и материалы для изготовления микрошлифов.
3. Набор микрошлифов углеродистых сталей после травления (доэвтектоидной, эвтектоидной и заэвтектоидной).
4. Атлас микроструктур металлов и сплавов.

Таблица 5 - Углеродистые качественные конструкционные (ГОСТ 1050-80) и углеродистые инструментальные (ГОСТ 1435-80) стали

Марки сталей	Содержание углерода, %	Предел прочности $\sigma_{в}$, 10^5 Н/м ²	Твердость по Бринеллю, НВ	Примерное назначение
1	2	3	4	5
10	0,07...0,13	34	143	Детали, штампуемые в холодном состоянии: прокладки, шайбы и т.д.
15	0,12...0,18	38	149	Детали, изготовляемые ковкой и штамповкой в горячем состоянии, штамповкой (с вытяжкой) в холодном состоянии: болты, гайки, шайбы, гаечные ключи, рычаги, фланцы

20	0,17...0,24	42	163	Кованные и штампованные тяги, рычаги, серьги, втулки, вкладыши
25	0,22...0,29	46	170	Оси, валы, соединительные муфты, болты, шпильки, гайки, шайбы, не испытывающие высоких нагрузок
30	0,27...0,34	50	179	Детали, изготавливаемые ковкой и штамповкой в горячем состоянии с повышенной вязкостью: оси, валы, тяги, цилиндры
35	0,32...0,39	54	207	Кованые тяги, оси, валы, болты, винты, гайки, балансиры, диафрагмы
40	0,37...0,44	58	217	Оси, штоки, коленчатые валы, зубчатые колеса, фланцы, диски
45	0,42...0,49	61	220	Плунжеры, зубчатые колеса и рейки, муфты, валы, фрикционные диски
50	0,47...0,55	64	241	Втулки, болты, шпильки, гайки
55	0,52...0,60	66	255	Штоки, оси, зубчатые колеса, неответственные пружины
60	0,57...0,65	69	255	Эксцентрики, пружинные кольца, шайбы дисков сцепления, регулировочные прокладки
65	0,62...0,70	71	255	Рессоры, пружины
Сталь углеродистая инструментальная				
У7	0,65...0,74	67,5	187	Резцы по дереву и пластмассе, долота, стамески, зубила, кернеры, молотки, ключи гаечные
У8	0,75...0,84	67,5	187	Клещи, плоскогубцы, чеканы, штангенциркули и др. мерительный инструмент
У9	0,85...0,94	69	192	Метчики, плашки для нарезания резьбы
У10	0,95...1,04	70	197	Высадочные и чеканочные штампы, формы для литья под давлением
У11	1,05...1,14	72	202	Пожонки по металлу, сверла, зенкеры, развертки фрезы, напильники, чертилки, шаберы
У13	1,25...1,35	76	212	Лезвия бритв, граверный инструмент

3. Порядок выполнения работы

1. Изучить основные сведения о микроструктуре стали в равновесном состоянии.

2. Рассмотреть под микроскопом и изучить структуры микрошлифов углеродистых сталей после травления (вначале доэвтектоидной, а затем эвтектоидной и заэвтектоидной).

3. После анализа микроструктур определить расчетным путем примерное содержание углерода в сталях с учетом площадей, занимаемых отдельными структурными составляющими.

4. По таблице 5 определить марки исследуемых сталей и их основные механические характеристики (по процентному содержанию углерода).

5. Результаты исследований занести в таблицу 6.

6. В таблице 6 нарисовать структуры сталей, рассматриваемых под микроскопом и указать следующие данные: а) увеличение микроскопа; б) соотношение площадей, занимаемых отдельными структурными составляющими (по типу 20:80); в) наименование структурных составляющих.

При выполнении рисунков микроструктур сравнить изображения микрошлифов, рассмотренных под микроскопом, с фотографиями микроструктур из атласа с целью проверки правильности определения микроструктур и структурных составляющих.

7. Занести в таблицу 6 назначение исследуемых марок сталей (см. таблицу 5).

Таблица 6 - Результаты исследований микроструктур углеродистых сталей

№	Тип стали по диаграмме Fe-Fe ₃ C	Структурные составляющие			С, %	Марка	ГОСТ	Механические свойства, $\times 10^5$, Н/м ²	
		Феррит, %	Перлит, %	Цементит, %				σ_n	НВ
1	Доэвтектоидная								
2	Эвтектоидная								
3	Заэвтектоидная								

Рисунок микроструктуры и область применения доэвтектоидной стали	Рисунок микроструктуры и область применения эвтектоидной стали	Рисунок микроструктуры и область применения заэвтектоидной стали
--	--	--

4. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Понятие о равновесной структуре стали.
3. Типы сталей по диаграмме $Fe-Fe_3C$ и краткая их характеристика.
4. Расчеты по определению содержания углерода в исследуемых под микроскопом сталей, путем анализа микроструктур.
5. Результаты исследования микроструктур углеродистых сталей в соответствии с табл. 6.

Вопросы, которые необходимо знать при выполнении и защите лабораторной работы

1. Диаграмма состояния системы "железо-цементит". Строение сплавов в различных областях диаграммы состояния. Фазы и структурные составляющие железоуглеродистых сплавов. Определение состава и количества фаз при любой температуре в любой области диаграммы.
2. Превращения в железоуглеродистых сплавах, происходящие при охлаждении из расплавленного состояния при первичной и вторичной кристаллизации. Эвтектоидное и эвтектическое превращения. Построение кривых охлаждения с применением правила фаз. Критические точки A_2 , A_3 , A_4 . Влияние углерода на критические точки A_3 и A_4 .
3. Стали и чугуны. Определение содержания углерода в стали по микроструктуре. Классификация сталей по структуре в отожжённом состоянии. Влияние углерода на структуру и свойства стали. Классификация углеродистых сталей по назначению и способу производства.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ ОБЪЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Определить опытным путем величины объемного и поверхностного сопротивлений различных твердых диэлектриков и рассчитать соответствующие удельные сопротивления. Выработать практические навыки по электрическим испытаниям материалов.

1. ОБЪЕКТ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ

В диэлектрике, помещенном между двумя электродами наблюдается протекание электрического тока, если к этим электродам приложить разность потенциалов.

Наблюдаемый ток состоит из двух составляющих его токов: одного, значительного по величине в начальный момент, а затем быстро спадающего до нуля, тока $I_{\text{абс}}$ абсорбции и второго, небольшого, постоянного по величине, независимого от времени – сквозного тока $I_{\text{скв}}$, т.е.:

$$\dot{I} = \dot{I}_{\text{абс}} + \dot{I}_{\text{скв}}$$

Следовательно, при постоянной разности потенциалов, величина возникшего тока в начальный период не будет постоянной, а будет зависеть от времени: в начальный момент - $\dot{I}_{\text{абс}} \geq \dot{I}_{\text{скв}}$, а через некоторое время - $\dot{I}_{\text{абс}} \approx 0$ и $\dot{I} \approx \dot{I}_{\text{скв}}$.

Появление тока абсорбции или смещения вызвано процессами поляризации. В полярных диэлектриках этот ток связан с ориентацией дипольных молекул или, в некоторых случаях, ориентацией частей дипольных молекул (например, в целлюлозе и ее производных).

В неполярных диэлектриках токи смещения объясняются образованием квазидиполей из нейтральных молекул и их ориентацией в электрическом поле, анизотропией свойств, неизбежной неоднородностью структуры, примесями и другими причинами, вызывающими протекание во времени процессов перераспределения зарядов в объеме диэлектрика. Если в диэлектрике преобладают медленно протекающие процессы поляризации, то и падение тока сме-

щения (абсорбции) в нем будет тоже медленное, в противоположном случае – быстрое.

Появление сквозного тока (установившегося или тока утечки) вызвано электропроводностью диэлектрика. Этот ток представляет собой активный ток, обусловленный перемещением свободных зарядов (электронов, ионов) диэлектрика под действием приложенного внешнего электрического поля.

Сопротивление изоляции $R_{из}$ при постоянном напряжении определяется по сквозному току по закону Ома:

$$R_{из} = \frac{U}{I_{скв}},$$

где: U – приложенное напряжение.

В твердых диэлектриках, таких как слюда, полистирол, оргстекло, лакоткань и др., сквозной ток фактически устанавливается полностью в течение одной минуты после включения напряжения (за это время ток смещения практически спадает до нуля). Поэтому для таких диэлектриков измерение электрического сопротивления можно проводить через минуту после включения напряжения. Если бы сопротивление диэлектриков определялось при переменном напряжении, то величина его не была бы однозначной, поскольку помимо самого материала, оно зависело бы еще от частоты напряжения, его формы и других внешних факторов, не имеющих отношения к свойствам материала.

Ток, протекающий в цепи через диэлектрик, делится на объемный, проходящий через его толщину и поверхностный, в соответствии с чем различают объемное R_V и поверхностное R_S сопротивления. Полное сопротивление определяется как результирующее параллельно соединенных сопротивлений:

$$R = \frac{R_V \cdot R_S}{R_V + R_S}.$$

Для сравнения различных диэлектриков пользуются величинами удельных сопротивлений.

Удельным объемным сопротивлением ρ_V называется сопротивление куба с ребром в 1 м материала, когда к его противоположным граням приложено постоянное напряжение. Удельным по-

верхностным сопротивлением ρ_s называется сопротивление квадрата со стороной 1 м поверхности диэлектрика, когда к его противоположным сторонам приложено напряжение. Исходя из этих определений, объемное сопротивление диэлектрика толщиной h и сечением S равно:

$$R_V = \rho_V \frac{h}{S} \text{ (Ом)},$$

откуда его удельное объемное сопротивление равно:

$$\rho_V = R_V \frac{S}{h} \text{ (Ом} \cdot \text{м)} \quad (1)$$

Сопротивление участка поверхности диэлектрика определяется аналогично по формуле:

$$R_S = \rho_s \frac{a}{b} \text{ (Ом)},$$

откуда его удельное поверхностное сопротивление равно:

$$\rho_s = R_S \frac{b}{a} \text{ (Ом)} \quad (2)$$

где a – расстояние между электродами, м;

b – длина электрода, м.

Установка для измерения объемных и поверхностных сопротивлений твердых диэлектриков представлена на рисунке 15.

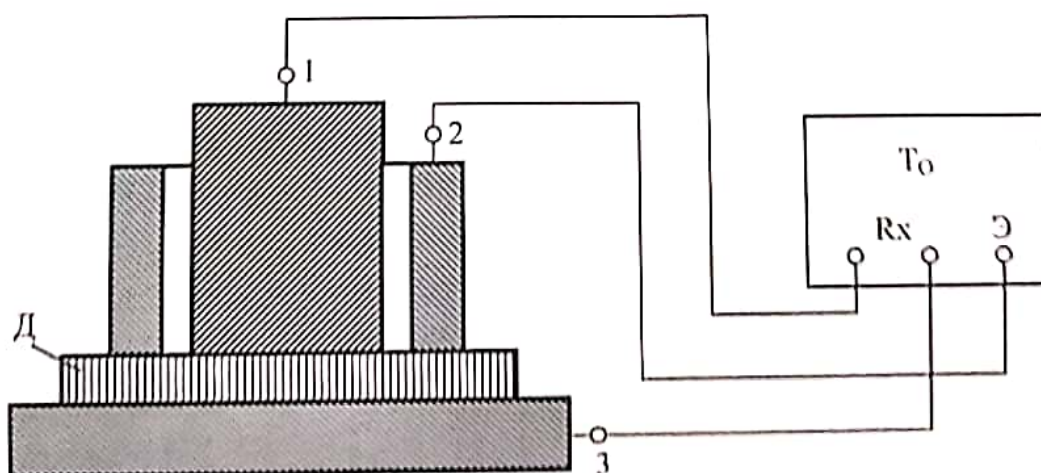


Рисунок 15. Схема лабораторной установки

То – тераомметр Е6-13А и оснастка; 1 – измерительный цилиндрический электрод; 2 – охранный кольцевой электрод; 3 – пластина-нижний электрод; Д – исследуемый образец диэлектрика

При измерении объемного сопротивления схема должна быть собрана в соответствии с рисунком 1. Электрод 2 соединен с клеммой «Э» и заземлен.

Для измерения поверхностного сопротивления диэлектрика в схеме рисунок 1 электрод 3 необходимо пересоединить к клемме «Э».

Таким образом, в зависимости от собранной схемы измерения через вход тераомметра (клеммы Rx) пропускается либо только объемный ток утечки, а поверхностный ток – отводится (в первой схеме по рисунку 1), либо только поверхностный ток, а объемный при этом отводится (во второй схеме – после переключения). Следовательно, оснастка дает возможность измерять отдельно только объемный ток при измерении объемного сопротивления, или только поверхностный, - при измерении поверхностного сопротивления.

Измерительный прибор установки – тераомметр, по принципу действия подобен обычному омметру, однако ввиду того, что измеряемые сопротивления очень велики ($>10^{14}$ Ом), токи, протекающие через него, меньше пределов чувствительности обычных гальванометров. Поэтому для возможности измерения их предварительно усиливают с помощью усилителя постоянного тока, находящегося в самом приборе, кроме того, в прибор включен стабилизированный источник питания напряжением 105 В.

Поскольку электроды оснастки, используемой в установке круглые, вышеприведенная формула (2) не применима в данном случае. Поэтому необходимо пользоваться формулой, выведенной на основании анализа элементарного проводящего поверхностного слоя диэлектрика в кольцевом зазоре между электродами 1 и 2 (рисунок 1), шириной и длиной $2\pi r$ (где r - значение радиуса).

Полученное выражение, учитывающее параметры электродов 1 и 2 для ρ_s имеет вид:

$$\rho_s = R_s \frac{\pi(r_2 + r_1)}{r_2 - r_1} = \pi R_s \frac{(d_2 + d_1)}{(d_2 - d_1)}, \quad (3)$$

где: d_2 – внутренний диаметр кольцевого электрода, $d_2=54$ мм ;
 d_1 – внешний диаметр измерительного электрода, $d_1=50$ мм.
 Удельное объемное сопротивление ρ_v для круглых электродов с учетом формулы (1) равно:

$$\rho_v = R_v \frac{S}{h} = R_v \frac{\pi \cdot d_1^2}{4h} \quad (4)$$

где: h – толщина образцов диэлектриков измеряемая штангенциркулем с точностью до 0,1 мм (или указывается преподавателем).

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

2.1. Подготовка тераомметра Е6-13А к работе.

2.1.1. Проверить положение кнопки замыкателя входа, имеющей два положения:

нажатое – режим установки нуля;

отжатое – режим измерения.

Перед началом работы кнопка должна быть в нажатом положении.

2.1.2. Установить переключатель измерительного напряжения, расположенный на задней панели прибора, в положение 100 В.

2.1.3. Установить с помощью механического корректора указатель прибора на нулевую отметку шкалы при закороченных клеммах «ВЫХОД СИММЕТРИЧНЫЙ НА САМОПИСЕЦ» на задней панели прибора.

2.1.4. Включить шнур питания в сеть 50 Гц, 220 В, перевести выключатель питания в положение «СЕТЬ ВКЛ». При этом должна светиться индикаторная лампочка. Указатель прибора должен установиться на нулевую отметку шкалы в течение 1 мин.

2.1.5. Выдержать прибор под номинальным напряжением в течение 20 мин.

2.2. Подготовка к проведению измерений

2.2.1. При проведении измерений необходимо использовать провода и зажимы из комплекта принадлежностей к прибору.

2.2.2. Установить ручками «УСТ. 0 ГРУБО» и «УСТ. 0 ТОЧНО» указатель прибора на нулевую отметку шкалы, а переключач-

тель поддиапазонов перевести в положение, соответствующее измеряемому сопротивлению.

На поддиапазонах от 10^2 до 10^6 Ом, обозначенных на передней панели «ЛИНЕЙНЫЕ», отсчет производить по линейным шкалам, а на поддиапазонах от 10^6 до 10^{13} Ом – по обратно пропорциональным шкалам.

2.2.3. При необходимости заземления измеряемого объекта соединить его с клеммой $\left(\frac{\perp}{\equiv}\right)$, расположенной на задней панели прибора.

2.2.4. При измерениях на поддиапазонах выше 10^9 Ом поместить измеряемый объект в измерительную камеру, соединив между собой клеммы $\left(\frac{\perp}{\equiv}\right)$, камеры и прибора.

2.3. Проведение измерений по линейным шкалам.

2.3.1. Установить переключатель поддиапазонов в положение соответствующее измеряемому сопротивлению.

2.3.2. Подключить измеряемый объект к гнездам r_x прибора.

2.3.3. Установить ручкой «УСТ. 0 ТОЧНО» указатель прибора на нулевую отметку шкалы.

2.3.4. Перевести кнопку замыкателя входа в отжатое положение.

2.3.5. Произвести отсчет по линейной шкале, соответствующей установленному поддиапазону, после чего нажать кнопку замыкателя входа. Отключить измеряемый объект.

2.4. Проведение измерений по обратно пропорциональным шкалам.

2.4.1. Установить переключатель поддиапазонов в положение соответствующее измеряемому сопротивлению, предварительно включив измерительное напряжение 100 В.

2.4.2. Подключить измеряемый объект к гнездам r_x прибора.

2.4.3. Установить ручкой «УСТ. 0 ТОЧНО» указатель прибора на отметку ∞ обратно пропорциональных шкал.

2.4.4. Перевести кнопку замыкателя входа в отжатое положение и произвести отсчет по шкале, соответствующей установленному поддиапазону, после чего нажать кнопку замыкателя входа. Отключить измеряемый объект.

2.5. Собрать схему для измерения объемного сопротивления в соответствии с рисунком 15. При этом клемму «С» заземлить, соединив ее с корпусом прибора.

2.6. Порядок измерения значений R_V и R_S :

2.6.1. Вложить образец исследуемого диэлектрика между электродами оснастки, как показано на рисунке 15. При этом электроды не должны контактировать между собой и расстояние между ними должно быть постоянным. Образцы диэлектриков не должны иметь трещин, сколов, вмятин, заусенцев, загрязнений и короблений, препятствующих плотному прилеганию электродов;

2.6.2. Замерив объемное сопротивление диэлектрика, сделать необходимые переключения цепей для измерения поверхностного сопротивления этого же диэлектрика.

2.6.3. Между электродами оснастки вложить следующий образец диэлектрика и цикл замеров повторить.

2.6.4. Полученные результаты измерения сопротивлений R_V и R_S и рассчитанные значения удельных объемных и поверхностных сопротивлений по формулам (3) и (4) занести в таблицу 7.

Таблица 7

№ шп	Материал	Измерено			Вычислено	
		h, м	R_V , Ом	R_S , Ом	ρ_V , Ом·м	ρ_S , Ом
1						
2						
3						

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Оформленный по общим требованиям отчет по лабораторной работе должен содержать:

- а) наименование и цель работы;
- б) порядок выполнения работы и основные расчетные соотношения;
- в) полученные результаты измерений и вычислений, схему установки, таблицу результатов, а также самостоятельные выводы и обобщения по полученным результатам.

4. При подготовке к защите лабораторной работы самостоятельно ознакомиться с использованным методом измерения и с параметрами исследованных диэлектриков и областями их применения, сделать сравнение со справочными данными; необходимо ответить на все приведенные ниже контрольные вопросы. Для подготовки необходимо использовать рекомендуемую литературу.

Самостоятельно проанализировать величину ошибки в полученных данных, по сравнению с известными, из литературы.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5.1. Как произвести калибровку тераомметра?

5.2. Почему у твердых диэлектриков различают объемное и поверхностное сопротивление, а у проводников и полупроводников нет?

5.3. Как и почему изменяются величины R_V и R_S при изменении влажности и температуры образца диэлектрика?

5.4. Каковы меры безопасности при проведении эксперимента при работе с тераомметром?

5.5. От чего зависит ток абсорбции? Проявляется ли он при измерениях объемного и поверхностного сопротивлений диэлектрика?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИЗУЧЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ ДИ-
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ КОНДЕНСАТОРНОЙ
КЕРАМИКИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Экспериментально изучить зависимость диэлектрической проницаемости конденсатора от постоянного поляризующего напряжения в области малых значений потенциала. Приобрести навыки проведения электрических испытаний электроизоляционных материалов.

1. ОБЪЕКТ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ

Конденсаторную керамику используют для производства низкочастотных и высокочастотных конденсаторов низкого и высокого напряжений. К достоинствам керамических конденсаторов относят, в первую очередь, значительно более простую технологию изготовления по сравнению с бумажными, пленочными и слюдяными конденсаторами и отсутствие необходимости в герметизации, так как керамические материалы в готовом виде не поглощают влагу. На поверхность конденсаторов методом напыления (вжигания) наносят сплошные серебряные электроды толщиной 15-20 мкм, к которым припаивают медные проводники. Для защиты электродов от коррозии и исключения возможности соединения их с влагой всю поверхность конденсатора покрывают слоем влагостойкой эмалитой или иной окраски, указывающей на температурную стабильность его емкости.

Обычно конденсаторная керамика обладает повышенной ($\epsilon=10\div 250$) и высокой ($\epsilon>900$) величиной диэлектрической проницаемости, что обусловлено интенсивно развивающимися в ней процессами поляризации.

Конденсаторная керамика представляет собой соединения диоксида титана TiO_2 (рутил) или диоксида циркония ZrO_2 или титаната стронция $SrTiO_3$, перовскита $CaTiO_3$, диоксида олова SnO_2 с оксидами щелочных или щелочно-земельных металлов, например, SrO , CaO , MgO . Но чаще всего материалы, используемые для изготовления конденсаторов относятся к титаносодержащей керамике, так как в качестве исходного сырья при их изготовлении используется TiO_2 .

Титаносодержащая керамика характеризуется различными механизмами поляризации и высокими значениями диэлектрической проницаемости, а температурный коэффициент диэлектрической проницаемости этих материалов при комнатной температуре имеет отрицательный знак. Они обладают преимущественно электронной проводимостью вплоть до температур 600-800°C. Среди них имеются высокочастотные ($\text{tg}\delta=4\cdot 10^{-3}$) на частоте 1 МГц – Т-20, Т-80, Т-150, низкочастотные ($\text{tg}\delta=3\cdot 10^{-2}$) на частоте 1 кГц – СВТ, Т-1700, Т-7500, а также материалы для варикондов. Использование титаносодержащей керамики в производстве конденсаторов позволило значительно уменьшить размеры и улучшить удельные характеристики конденсаторов. Однако материалы с повышенным значением ϵ обладают пониженной электрической прочностью.

Если основу кристаллической фазы титаносодержащего материала составляет рутил (TiO_2), то керамические материалы относят к рутиловой керамике, если основа перовскитовая (CaTiO_3), то керамику называют перовскитовой, если титанат бария (BaTiO_3), то материал называют сегнетокерамикой.

Одной из особенностей сегнетокерамических материалов является резкая зависимость ϵ от внешнего электрического поля, что дает возможность использования конденсаторов с управляемой емкостью. Такие нелинейные конденсаторы получили название варикондов (сокращение от «вариационные конденсаторы»). Одной из характеристик варикондов является коэффициент нелинейности, определяемый как отношение максимального значения ϵ_M при некоторой (различной для разных материалов) напряженности электрического поля к начальному значению диэлектрической проницаемости ϵ_H (в слабых полях 2-5 кВ/мм). Коэффициент нелинейности для различных материалов лежит в пределах от 4 до 30.

Вариконды предназначены для управления параметрами электрических схем в колебательных цепях, в умножителях частоты и других схемах, путем изменения их емкости одновременным воздействием нескольких напряжений, различающихся по величине и частоте. В простейшем случае им приходится работать при одновременном воздействии постоянного (поляризующего) и переменного напряжений (обычно при напряжении до 500 В).

Для экспериментального изучения поляризационной зависимости диэлектрической проницаемости конденсаторной керамики

необходимо собрать схему лабораторной установки, состоящей из специального прибора, включающего блок питания, вольтметр постоянного тока и миллиамперметр переменного тока, а также из звукового генератора и исследуемого керамического конденсатора (рис. 16).

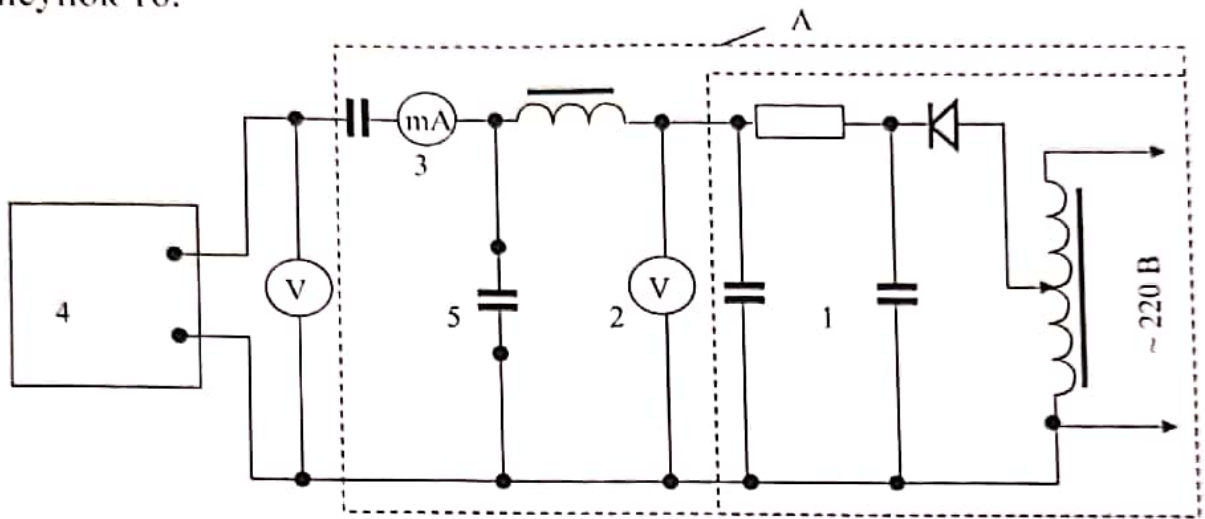


Рисунок 16. Схема лабораторной установки

А – специальный прибор;

1 – блок питания с регулируемым выходным постоянным напряжением;

2 – вольтметр постоянного тока до 400 В;

3 – миллиамперметр переменного тока;

4 – звуковой генератор;

5 – исследуемый керамический конденсатор.

Вместо специального прибора с блоком питания 1 и приборами 2 и 3 в схеме можно использовать соответствующие отдельные: блок питания, вольтметр и миллиамперметр.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Установить на выходе звукового генератора такое напряжение частотой 5-8 кГц, чтобы отклонение стрелки миллиамперметра составляло $\frac{1}{4}$ значения шкалы. Записать полученное значение напряжения на генераторе и в дальнейшем поддерживать его неизменным.

2.2. Включить блок питания и оставить его на 15 мин прогреться (для установления температурного баланса внутри его). Затем плавно увеличивая постоянное поляризующее напряжение на конденсаторе, записывать значения проходящего через него переменного тока (по миллиамперметру).

2.3. Фиксируя одновременно соответствующие показания вольтметра (U_{Π}) и миллиамперметра ($I \equiv \varepsilon$), снять самостоятельно 6-10 точек зависимости $I = f(U_{\Pi})$.

2.4. После выполнения измерений рассчитать величины ε для различных значений постоянного напряжения, исходя из значений тока через конденсатор, действующих значений выходного напряжения звукового генератора и геометрических размеров конденсатора. Затем построить график зависимости $\varepsilon = f(U_{\Pi})$ и самостоятельно сделать обоснованный вывод по результатам эксперимента.

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

3.1. График $\varepsilon = f(U_{\Pi})$.

3.2. Остальное см. раздел 5 методических указаний.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

4.1. Какие виды конденсаторной керамики знаете? Каковы их основные свойства?

4.2. Дайте характеристику изменений диэлектрической проницаемости при регулировании поляризующего напряжения.

4.3. Каковы преимущества и недостатки конденсаторов с диэлектриком на основе титаносодержащей керамики?

4.4. Что собой представляют вариконды и для чего они предназначены?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ
ПОЛУПРОВОДНИКОВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Опытным-расчетным путем определить ширину запрещенной зоны полупроводника, аналитическим и графоаналитическим способами и сравнить полученные результаты.

1. ОБЪЕКТ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ

Согласно квантовой теории энергия электронов в атоме может принимать лишь дискретные значения. Эти значения образуют так называемые уровни энергии. На каждом энергетическом уровне в соответствии с принципом Паули может находиться не более двух электронов с противоположными направлениями собственных моментов (спинов). Атомы кристаллической решетки образуют единую квантовую систему, в пределах которой тоже действует принцип запрета Паули.

Уровни энергии объединяются в зоны: 1) валентную; 2) запрещенную и 3) свободную зону или зону проводимости. У проводников запрещенная зона, расположенная между валентной и свободной зонами, отсутствует. У диэлектриков она значительно больше чем у полупроводников.

Полупроводники по величине проводимости занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками. Важным их свойством является возрастание проводимости с повышением температуры, в то время как у металлов – проводников проводимость снижается.

При абсолютном нуле температуры все электроны атомов кристалла должны иметь минимальную энергию. Электроны металлов попарно располагаются на уровнях валентной зоны, причем часть этих уровней остается незаполненной. Расстояние между соседними энергетическими уровнями порядка 10^{-23} ЭВ, т.е. чтобы перевести электрон с соседнего уровня на следующий, более высокий, надо затратить энергию 10^{-23} ЭВ.

Уже при 1° энергия теплового движения электрона составляет 10^{-4} ЭВ, что значительно больше указанной энергии. Это значит, что при температурах, отличных от 0°K , электроны металла вследствие теплового движения переходят на более высокие уровни. Ес-

ли металл поместить в электрическое поле, то электроны приобретают дополнительную энергию, т.к. будут ускоряться полем, обеспечивая хорошую проводимость.

У полупроводников при 0°K все уровни валентной зоны парно заполнены электронами и незаполненных уровней нет. Чтобы электроны могли переместиться из валентной зоны в свободную зону, надо сообщить энергию $\Delta W_{\text{пр}}$ порядка нескольких десятых долей электрон-вольта. Энергия теплового движения при комнатной температуре и выше оказывается достаточной для преодоления этой запрещенной зоны и перевода электронов в свободную зону, которая является зоной проводимости для них. Одновременно электроны с более низких уровней валентной зоны будут подниматься на более высокие освободившиеся уровни.

У диэлектриков валентная зона полностью заполнена. Энергия необходимая для ее преодоления (ширина запрещенной зоны) $\Delta W_{\text{д}}$ порядка нескольких электрон-вольт. Поэтому диэлектрики имеют проводящие свойства при высоких температурах.

Рассмотрим, как можно определить ширину запрещенной зоны полупроводников опытным путем.

Из квантовой теории известно, что удельная проводимость полупроводников:

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{\Delta W_{\text{пр}}}{2KT}}$$

где σ_0 – проводимость при абсолютном нуле температуры;

T – абсолютная температура в данный момент;

K – постоянная Больцмана, $K = 8,6167 \cdot 10^{-5}$ ЭВ·град⁻¹

$\Delta W_{\text{пр}}$ – ширина запрещенной зоны полупроводника.

При известном значении σ и линейных размерах можно определить величину сопротивления полупроводникового образца:

$$R = \frac{l}{\sigma \cdot S},$$

где l – длина образца;

S – площадь его поперечного сечения.

Взяв отношение сопротивлений образца при разных температурах получим:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = e^{\frac{\Delta W_m}{2K} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)}$$

Прологарифмируем полученное выражение:

$$\ln \frac{R_1}{R_2} = \frac{\Delta W_m}{2K} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right).$$

Из последнего выражения, после преобразований, получим:

$$\Delta W_m = 2K \frac{T_1 \cdot T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{R_1}{R_2}, \quad (1)$$

где T_1 – меньшее, а T_2 – большее значение абсолютной температуры образца полупроводника при нагреве.

Подставив в формулу (1) экспериментально полученные параметры при нагреве образца и постоянную Больцмана определим аналитически ширину запрещенной зоны полупроводника ΔW_m . В этом заключается сущность аналитического способа нахождения величины ΔW_m .

Рассмотрим графоаналитический способ определения ширины запрещенной зоны. По этому способу вначале для исследуемого полупроводника строится график зависимости $\ln R = \varphi(T^{-1})$. Сопротивление полупроводника R , как известно, зависит от температуры:

$$R = R_0 e^{\frac{\Delta W_m}{2KT}},$$

Прологарифмировав это выражение, получим:

$$\ln R = \ln R_0 + \frac{\Delta W_m}{2KT}.$$

При этом тангенс угла наклона кривой: $\ln R = \varphi(T^{-1})$ к оси абсцисс (на которой откладываются значения T^{-1}) равен:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\Delta W_m}{2K}.$$

Из этого выражения ширина запрещенной зоны $\Delta W_{\text{ин}}$ определяется:

$$\Delta W_{\text{ин}} = 2K \cdot \text{tg} \varphi, \quad (2)$$

Не сложно видеть, что точность оценки $\Delta W_{\text{ин}}$ по этому способу, в соответствии с формулой (2), будет зависеть от правильности выбора масштаба при построении графика $\ln R = \varphi (T^{-1})$.

Схема установки для определения ширины запрещенной зоны полупроводника представлена на рисунке 5.

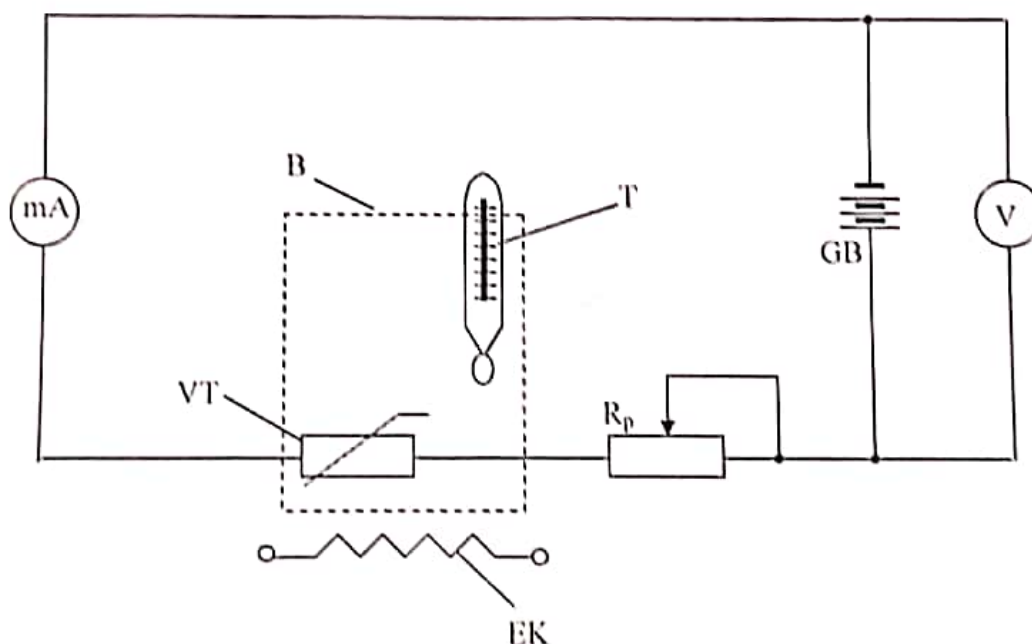


Рисунок 17. Электрическая схема установки

VT – образец полупроводника, помещенный в стеклянную трубку с трансформаторным маслом, подогреваемый в колбе с водой (B – колба с водой); T – термометр; R_p – реостат; GB – регулируемый источник постоянного тока на 2 В; EK – электронагреватель (электрическая плита); mA, V – миллиамперметр и вольтметр.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Собрать электрическую схему по рис.17. В качестве образца полупроводника целесообразно использовать термистор.

2.2. Установить напряжение на полупроводнике. Для германевого образца напряжение выбрать порядка $0,3 \div 0,5$ В; для кремневого образца – $0,7 \div 0,9$ В. В дальнейшем напряжение поддерживать постоянным.

2.3. Включить электронагреватель. Фиксировать показания миллиамперметра через каждые 10°C температуры, одновременно записывать показания термометра. Замеры производить начиная от комнатной температуры до $90 \div 100^\circ\text{C}$.

Полученные значения токов и температуры, выраженной в градусах Кельвина ($T, ^\circ\text{K} = t^\circ\text{C} + 273^\circ$) занести в таблицу 8.

Таблица 8

Измерить			Вычислить				
U, В	I, А	T, $^\circ\text{K}$	R, Ом	T^{-1}	$\ln R$	ΔW_{np} , ЭВ аналит. способом	ΔW_{np} , ЭВ, графоана- лит. спосо- бом

2.4. Построить график зависимости $\ln R = \varphi(T^{-1})$. Для этого, отложив по оси абсцисс рассчитанные значения T^{-1} , выбрать масштаб и отложить по оси ординат $\ln R$. От выбора масштаба для значений $\ln R$, будет зависеть точность оценки ΔW_{np} .

2.5. Определить величины ΔW_{np} аналитическим способом. Для этого, выбрав по таблице 8 значения сопротивления R (рассчитываются по закону Ома при известных U и I, измеренных по приборам: $R = U/I$) и соответствующие температуры, рассчитывают ΔW_{np} по формуле (1). Результат занести в таблицу 8.

2.6. По графику $\ln R = \varphi(T^{-1})$ определить ΔW_{np} , используя формулу (2). При этом для каждого значения температуры образца, в соответствующей точке T^{-1} на кривой провести касательную к оси абсцисс. По углу пересечения касательной с этой осью φ , определить значение $\text{tg } \varphi$, а затем рассчитать ΔW_{np} , используя формулу (2), т.е. по графоаналитическому способу.

2.7. Сравнить результаты, полученные при оценке ΔW_{np} по аналитическому и графоаналитическому способам, сделать выводы.

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 3.1. График зависимости $\ln R = \varphi (T^{-1})$.
- 3.2. Остальное см. раздел 5 методических указаний.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 4.1. Перечислите характерные свойства полупроводников.
- 4.2. Дайте характеристику электропроводности полупроводников.
- 4.3. Дайте определение уровней энергии.
- 4.4. Каков физический смысл ΔW_{np} ?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колесов С.Н., Колесов И.С. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебник для вузов/. Издание второе, переработанное и дополненное. – М.: Высшая школа, 2004. - 519 с.
2. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы. Л.: Энергоатомиздат, Ленингр.отд., 1985. - 304 с.
3. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники. М.: Высшая школа, 1985. -367 с.
4. Преображенский А.А. Магнитные материалы и элементы. М.: Высшая школа, 1976. – 336 с.
5. Алиев И.И., Калганова С.Г. Электротехнические материалы и изделия. Справочник. М.: ИП РадиоСофт, 2005. – 352 с.