

БПОУ ВО «ГРЯЗОВЕЦКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ТЕХНИКУМ»

**РАСМОТРЕНО**

Цикловой комиссии  
Протокол № 1  
От «31» августа 2018г.  
Председатель ЦК

*Abanina* — Н. Н. Абанина

**СОГЛАСОВАНО**

Зам. директора по ОМР  
*E.A. Tkachenko* Е.А. Ткаченко  
«31» августа 2018г.

**Методические рекомендации по организации к выполнению  
практических (лабораторных) работ студентов**

**ОП.04 Материаловедение**

Профессия 13.01.10 Электромонтёр по ремонту и обслуживанию  
электрооборудования (по отраслям)

2018 г.

## **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 свойства 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. Как отмечено ранее, обычные 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.

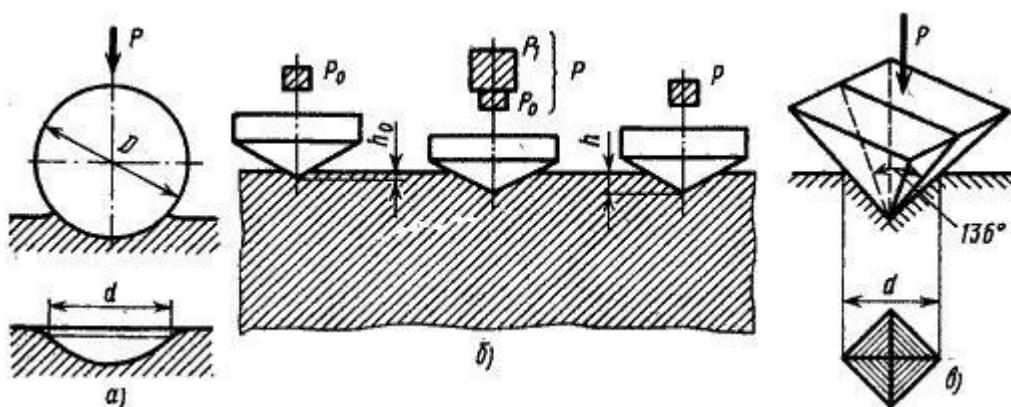


Рисунок 1 — Схемы определения твердости:

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). По Роквеллу чаще всего определяют твердость очень твердых материалов: закаленных сталей, твердых сплавов, керамики,

твердых покрытий, в том числе наплавленных слоев достаточной глубины на сталях 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 Р в зависимости от диаметра шарика и измеряемой твердости: для термически обработанной стали и чугуна – Р=30D2, литой бронзы и латуни – Р=10D2, алюминия и других очень мягких металлов – Р=2,5D2.

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 Р 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; = 10 с. В этом случае твердость по Бринеллю обозначается HB 250, в других случаях указываются условия: HB D / P / τ, HB 5/250/30 – 80.

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

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 С – 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/мм<sup>2</sup>;

HBW — символическое 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 НВ      |
| Мягкая сталь           | 120 НВ     |
| Нержавеющая сталь      | 250 НВ     |
| Стекло                 | 500 НВ     |
| Инструментальная сталь | 650—700 НВ |

### Метод Роквелла

Основан на вдавливании в поверхность наконечника под определенной нагрузкой (рисунок 1 б)

Индентор для мягких материалов (до НВ 230) – стальной шарик диаметром 1/16" ( $\varnothing 1,6$  мм), для более твердых материалов – конус алмазный.

Нагружение осуществляется в два этапа. Сначала прикладывается предварительная нагрузка  $P_0$  (10 ктс) для плотного соприкосновения наконечника с образцом. Затем прикладывается основная нагрузка  $P_1$ , в течение некоторого времени действует общая рабочая нагрузка  $P$ . После снятия основной нагрузки определяют значение твердости по глубине остаточного вдавливания наконечника  $h$  под нагрузкой  $P_0$ .

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      |                         |                         |
|-------|-------------|---------------------|--------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|       |             |                     |              | <b><math>P_0</math></b> | <b><math>P_1</math></b> | <b><math>P_2</math></b> |
| A     | HRA         | Алмазный конус      | 10 50 60     |                         |                         | Для особо твердых       |
|       |             |                     |              |                         |                         | материалов              |
| B     | HRB         | Стальной закаленный |              |                         |                         | Для относительно мягких |
|       |             | шарик               | 10 90 100    |                         |                         | 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  $136^\circ$ .

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

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

Нагрузка  $P$  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  $P$  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.

### **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:

| №<br>п/п | Наименование<br>материала | D, мм | Измеряются |       |       | Вычисляются        |                       |
|----------|---------------------------|-------|------------|-------|-------|--------------------|-----------------------|
|          |                           |       | P, Н       | d, мм | h, мм | F, мм <sup>2</sup> | Нв, Н/см <sup>2</sup> |

**Вопросы для отчета:**

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?

**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 вопросы для отчета.

**Литература, необходимая при ответах на вопросы:**

1. В.А. Филиков «Электротехнические и конструкционные материалы». - Москва. Издательский центр, «Академия».

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

### Тема : «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/см<sup>3</sup>. 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:

| Плотность электролита, г/см <sup>3</sup> | Кол-во серной кислоты, г/1л | Плотность электролита, г/с<br>м <sup>3</sup> | Кол-во серной кислоты, г/1л | Плотность электролита, г/с<br>м <sup>3</sup> | Кол-во серной кислоты, г/1л | Плотность электролита, г/с<br>м <sup>3</sup> | 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 1,41 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.

### **Порядок проведения работы:**

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

| №<br>п/п | Температура, °С. | Электролит   |                 |  |  |
|----------|------------------|--------------|-----------------|--|--|
|          |                  | Наименование | %<br>содержания | Расчетное<br>значение<br>плотности,<br>г/см <sup>3</sup> | Плотность<br>измерения<br>ареометром,<br>г/см <sup>3</sup> |
|          |                  |              |                 |  |  |

**Вопросы для отчета:**

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?

**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 вопросы для отчета.

**Литература, необходимая при ответах на вопросы:**

1. В.А. Филиков «Электротехнические и конструкционные материалы». - Москва. Издательский центр, «Академия», 2008.

Одним из важнейших компонентов, участвующих в работе автомобильного аккумулятора, несомненно, является электролит — раствор серной кислоты ( $H_2SO_4$ ) в дистиллированной воде ( $H_2O$ ). При приготовлении электролита необходимо использовать химически чистые компоненты, а также чистую посуду и приборы — наличие посторонних примесей значительно ускоряет саморазряд АКБ.

Основным параметром электролита является плотность. Плотность электролита проверяют при температуре плюс  $25^{\circ}C$ . Если температура отличается от указанной, вносят поправку к показаниям ареометра в соответствии с таблицей Рис.1.

| Температура электролита, °C | Поправка к показанию денсиметра, г/см <sup>3</sup> | Температура электролита, °C | Поправка к показанию денсиметра, г/см <sup>3</sup> |
|-----------------------------|--|-----------------------------|--|
| —55...—41                   | —0,05  | +5...+19                    | —0,01  |
| —40...—26                   | —0,04  | +20...+30                   | 0,00   |
| —25...—11                   | —0,03  | +31...+45                   | +0,01  |
| —10...+4                    | —0,02  | +46...+60                   | +0,02  |

Рис.1. Поправки для приведения плотности электролита к температуре +25°C.

Повышенная плотность электролита отрицательно сказывается на сроке службы аккумулятора вследствие ускорения коррозионных реакций на положительном электроде. Также от плотности электролита зависит температура его замерзания, что особенно важно в период зимней эксплуатации батареи. Так при плотности 1,28 г/см<sup>3</sup> замерзание происходит при температуре —64°C, при плотности 1,27 г/см<sup>3</sup> — при температуре —58°C, а при плотности 1,11 г/см<sup>3</sup> — уже при —7°C. Поэтому повторим, батарею лучше всегда держать полностью заряженной, особенно зимой.

Для измерения плотности используют приборы — денсиметры. Один из видов денсиметров показан на Рис.2. Он состоит из ареометра 1, стеклянной пипетки 3, резиновой груши 2 и резиновой пробки 4 с наконечником.

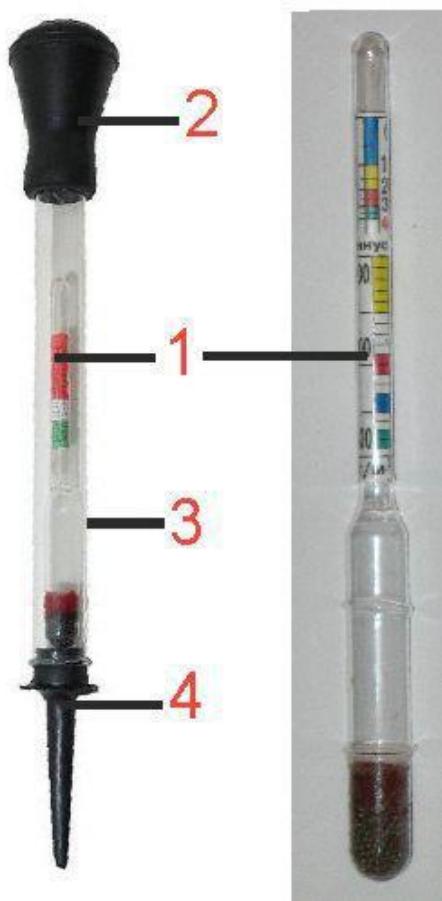


Рис.2. Денсиметр.

Перед использованием нужно проверить чистоту денсиметра, и при необходимости тщательно вытереть его. Наконечник денсиметра погружают в жидкость строго вертикально, через заливное отверстие в аккумуляторе и с

помощью резиновой груши засасывают часть электролита в стеклянную пипетку. Ареометр должен всплыть в пипетке, при этом необходимо с ледить за тем, чтобы ареометр не касался стенок и дна пипетки. После того, как ареометр установится и прекратятся его колебания, производится отсчет вдоль линии жидкости. При отсчете глаз наблюдющего должен находиться на уровне поверхности жидкости Рис.3.

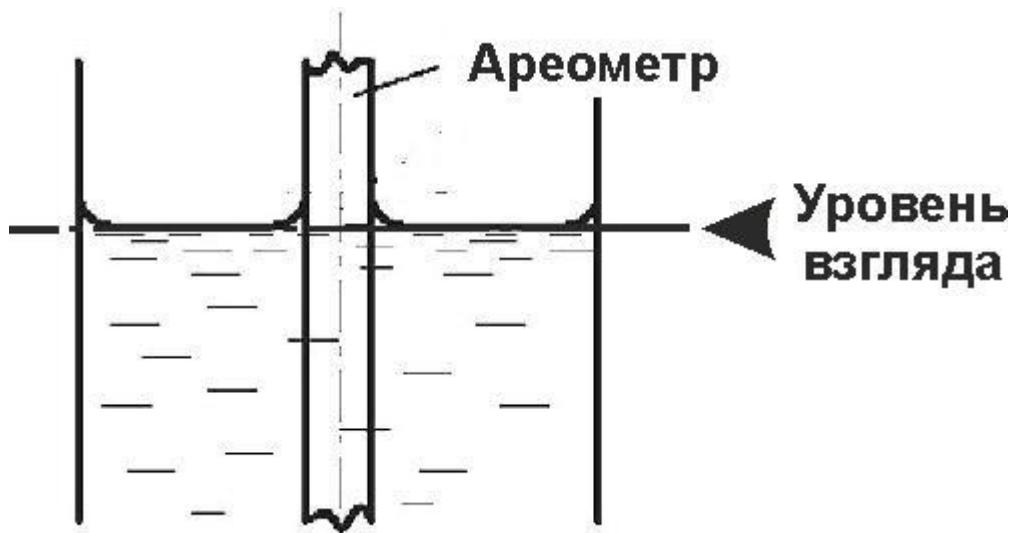


Рис.3. Отсчет показаний ареометра.

Мы научились пользоваться денсиметром и теперь можем приготовить электролит или проконтролировать его плотность. Но для начала нужно ознакомиться с некоторыми правилами безопасности.

Растворение концентрированной серной кислоты в воде сопровождается выделением большого количества тепла. По этой причине для приготовления электролита применяется посуда, стойкая не только к действию серной кислоты, но и к высокой температуре (керамическая, пластмассовая, эбонитовая, свинцовая). В сосуд для приготовления электролита сначала заливается вода, а затем при непрерывном

помешивании серная кислота. Вливать воду в концентрированную серную кислоту ЗАПРЕЩАЕТСЯ, так как при вливании воды в кислоту происходит быстрое разогревание воды, она вскипает и разбрызгивается вместе с кислотой, которая, попадая на кожу человека, вызывает ожоги.

При приготовлении электролита и заливке батарей необходимо использовать очки, резиновые перчатки и сапоги, фартук или костюм из кислотостойкого материала. При случайном попадании электролита или кислоты на кожу необходимо аккуратно снять жидкость ватой, промыть пораженные места водой и затем 5%-ным раствором кальцинированной соды.

Плотность концентрированной серной кислоты равна  $1,83 \text{ г/см}^3$  при температуре  $+25^\circ\text{C}$ , что соответствует содержанию чистой кислоты около 95%. Она поддается смешиванию с водой в любых пропорциях. Серная кислота способна в больших количествах поглощать влагу из воздуха. Бутыль с серной кислотой, оставленная открытой, постепенно переполняется, поглощая влагу из окружающего воздуха. По той же причине пролитый электролит долгое время не высыхает.

Сначала нужно определиться, какой плотности электролит нам нужен для нашей климатической зоны. Это можно сделать с помощью таблицы Рис.4.

| Макроклиматические районы (средняя<br>месячная температура воздуха в январе, °C) | Время года     | Плотность электролита, г/см <sup>3</sup> |                       |
|--|----------------|--|-----------------------|
|  |                | заливаемого                              | заряженной<br>батареи |
| <b>Холодные:</b>   |                |  |                       |
| очень холодный<br>(-50...-30)  | Зима           | 1,28                                     | 1,30                  |
| холодный<br>(-30...-15)  | Лето           | 1,24                                     | 1,26                  |
|  | Круглый<br>год | 1,27                                     | 1,29                  |
| <b>Умеренные:</b>  |                |  |                       |
| умеренный (-15...-8)   | То же          | 1,24                                     | 1,26                  |
| теплый влажный (8...+4)  | »              | 1,20                                     | 1,22                  |
| Жаркий сухой (-15...+4)  | »              | 1,22                                     | 1,24                  |

Рис.4. Плотность заливаемого электролита.

Например, для средней полосы России плотность может быть  $1,25 \div 1,26$  г/см<sup>3</sup>. Проверка плотности электролита производится в каждой банке полностью заряженной АКБ, разница между банками допускается не более 0,01 г/см<sup>3</sup>.

Электролит необходимой плотности можно приготовить непосредственно из концентрированной серной кислоты плотностью 1,83 г/см<sup>3</sup> и дистиллированной воды (1-й вариант) или использовать раствор плотностью 1,40 г/см<sup>3</sup>, который применяется как промежуточный при приготовлении электролита нужной плотности (2-й вариант) и когда необходимо повысить плотность электролита в аккумуляторе. Для справки можно использовать нормы расхода компонентов для приготовления электролита из таблицы Рис.5.

| Плотность электролита, при 25 °C, г/см <sup>3</sup> | 1-й вариант |  | 2-й вариант |  |
|---|-------------|--|-------------|--|
|   | Вода, л     | Кислота плотностью 1,83 г/см <sup>3</sup> при 25 °C, л | Вода, л     | Раствор плотностью 1,40 г/см <sup>3</sup> при 25 °C, л |
| 1,20  | 0,859       | 0,200  | 0,534       | 0,466  |
| 1,22  | 0,839       | 0,221  | 0,484       | 0,516  |
| 1,24  | 0,819       | 0,242  | 0,433       | 0,567  |
| 1,26  | 0,800       | 0,263  | 0,383       | 0,617  |
| 1,28  | 0,781       | 0,285  | 0,327       | 0,673  |
| 1,40  | 0,650       | 0,423  | 0,000       | 1,000  |

Рис.5. Расход компонентов для приготовления 1 л электролита различной плотности.

Обратите внимание, что при использовании концентрированной серной кислоты объем электролита получается меньше суммы объемов компонентов. Это явление называется «усадкой» электролита, а проявляется оно тем сильней, чем выше его плотность. При применении для приготовления электролита раствора плотностью 1,40 г/см<sup>3</sup> явление

«усадки» сказывается незначительно и им можно пренебречь.

**Заливка батарей электролитом.** Температура электролита, заливаемого в аккумуляторные батареи, должна быть не выше 30°C и не ниже 15°C.

Непосредственно перед заливкой электролита вывертывают вентиляционные пробки и удаляют детали или элементы пробки, герметизирующие вентиляционные отверстия. Если в горловине под пробкой имеется герметизирующий диск, его необходимо удалить. Затем постепенно, небольшой струей заливают электролит до тех пор, пока поверхность электролита не коснется нижнего торца тубуса горловины крышки.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

**Тема: «Механические испытания уплотнительных материалов на растяжение и сжатие»**

**Цель работы:**

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

**Приборы и оборудование:**

Разрывная машина с ручным приводом. Электроизоляционные материалы.

**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  $\sigma_p$ , предел прочности при сжатии  $\sigma_c$ , предел прочности при статическом изгибе  $\sigma_{iz}$ .

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, м<sup>2</sup>.

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;

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

$L_p$  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, м<sup>2</sup>.

Предел прочности при статическом изгибе вычисляют по формуле:

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

где Р – 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  $15 \times 10$  мм,

т.е.  $b = 1,5$  см;  $h = 1$  см. Пролет  $L$  между опорами берут 10 см.

### Порядок проведения работы:

1. Проверить геометрические размеры подготовленных 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

| №<br>п/п | Наименование<br>образца | Вид<br>деформации<br>образца |  |  |  |
|----------|-------------------------|------------------------------|--|--|--|
|          |                         |                              |  |  |  |
|          |                         |                              |  |  |  |

| Измерения        |               |                | Вычисления     |                     |                   |
|------------------|---------------|----------------|----------------|---------------------|-------------------|
| $S, \text{cm}^2$ | $P, \text{H}$ | $L, \text{cm}$ | $L, \text{cm}$ | $\sigma, \text{Pa}$ | $L, \%, \text{p}$ |

**Вопросы для отчета:**

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 вопросы для отчета.

**Литература, необходимая при ответах на вопросы:**

1. В.А. Филиков «Электротехнические и конструкционные материалы». - Москва. Издательский центр, «Академия».

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

**Тема: «Определение дугостойкости (искростойкости) материалов»**

## **Цель работы:**

Проверить несколько диэлектриков на дугостойкость.

## **Приборы и оборудование:**

Прибор для определения дугостойкости твердых органических материалов.

## **Введение:**

Под дугостойкостью диэлектриков понимают его способность длительно противостоять электрической дуге, сохраняя в заданных

пределах электрические и физикохимические характеристики. Электрическая дуга (температура которой около  $3000^{\circ}\text{C}$ ) опасна для токоведущих частей и особенно для 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.

## **Порядок проведения работы:**

1. Установить электроды на подставке. Развести их на расстояние 8 мм (острия зачистить). Каждый из электродов должен быть расположен под углом  $45^{\circ}$  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:

| №<br>п/п | Наименование<br>образца | Ток,<br>А | Напряжение на<br>первичной обмотке<br>трансформатора, В | Время<br>горения<br>дуги, с | Дугостойкость<br>образца, с |
|----------|-------------------------|-----------|---|-----------------------------|-----------------------------|
|          |                         |           |   |                             |                             |

### **Вопросы для отчета:**

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 вопросы для отчета.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

## Тема: «Определение удельных электрических сопротивлений материалов»

### 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:

Рычажный пресс для определения твердости; образцы для измерения твердости: стеклопластик, картон, гетинакс, свинец, алюминий, сталь.

### 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. Величина этих токов зависит от удельного объемного и удельного поверхностного электрических сопротивлений диэлектрика.

Для определения удельного объемного электрического сопротивления применяют образец диэлектрика с тремя металлическими электродами 1, 2 и 5. Удельное объемное электрическое сопротивление  $\rho_v$  диэлектрика определяют по формуле:

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

где  $R_v$  – объемное электрическое сопротивление образца, Ом;

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

$h$  – толщина образца диэлектрика, см.

Для определения удельного поверхностного электрического

сопротивления также применяют образец диэлектрика с тремя металлическими электродами. Удельное поверхностное электрическое сопротивление  $\rho_s$  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.

## Порядок проведения работы:

1. Собрать схему для измерения удельного объемного электрического сопротивления и подключить образец диэлектрика.
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.
5. Замкнуть переключатель  $P2$  и тем самым подать напряжение на образец диэлектрика.
6. Осторожно вывести шунт до получения удобно отсчитываемого отклонения гальванометра. После снятия показания ручку шунта установить в первоначальное положение.
7. Отметить отклонение  $\alpha$  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  $C_D$  – 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:

| № п/п | Название материала | $C, A/mm^2$ | Измерения        |                  |                  |                  |                | Вычисления |                     |          |                  |                  |
|-------|--------------------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|------------|---------------------|----------|------------------|------------------|
|       |                    |             | $d, \text{см}^1$ | $d, \text{см}^2$ | $d, \text{см}^3$ | $d, \text{см}^4$ | $h, \text{см}$ | $U, B$     | $\alpha, \text{мм}$ | $I, A_v$ | $R, \text{Ом}^v$ | $\rho, \text{v}$ |
|       |                    |             |                  |                  |                  |                  |                |            |                     |          |                  |                  |

**Вопросы для отчета:**

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 вопросы для отчета.

**Литература, необходимая при ответах на вопросы:**

1. В.А. Филиков «Электротехнические и конструкционные материалы». - Москва. Издательский центр, «Академия».

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

**Тема: «Измерение диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь материалов»**

**Цель работы:**

Проверка опытным путем значения  $\epsilon$  некоторых электроизоляционных материалов и тангенса угла ряда электротехнических изделий.

**Приборы и оборудование:**

Мост переменного тока МД-16 (малогабаритный), мост Р-525.

**Введение:**

Диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь – важнейшие характеристики электроизоляционных материалов. *Диэлектрической проницаемостью*  $\epsilon$  называется отношение абсолютной диэлектрической проницаемости вещества  $\epsilon_a$  к электрической постоянной  $\epsilon_0$ :

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

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  $\epsilon$  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:

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

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

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

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. ГОСТ 6433.4-71 устанавливает величину 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  $I_{\text{ск}}$ , тока абсорбции

$I_{\text{абс}}$  и емкостного тока (тока смещения)  $I_{\text{см}}$ , обусловленного геометрической емкостью  $C_r$ :  $I = I_{\text{см}} + I_{\text{абс}} + I_{\text{ск}}$ .

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,  $\Phi$ ;

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

Так как величины  $U$ ,  $\omega$ ,  $C$  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 при

приложении к ней переменного напряжения, к его емкостной составляющей  $I_c$  :  $\operatorname{tg} \delta = I_a / I_c \operatorname{tg} \delta (\%) = (I_a / I_c) 100 = 100 \operatorname{tg} \delta$ .

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.

### **Порядок проведения работы:**

1. Собрать схему питания испытательного трансформатора.
2. Собрать схему выпрямительного моста.
3. Перед испытанием установить рукоятку регулирующего устройства в положение А.
4. Установить рукоятки сопротивлений R3, конденсаторов C4 моста и переключателей в нулевое положение.
5. Установить рукоятку переключателя полярности в среднее положение.
6. Установить рукоятку шунтов сопротивления R3 в положение, соответствующее наибольшему току.
7. Производить измерение на мосте.

8. Повторяя операции, добиться того, чтобы световая полоса стала узкой и заняла первоначальное положение.
9. Одновременно с уравновешиванием моста с помощью шунта увеличить чувствительность гальванометра до максимальной величины.
10. 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  $R_3$ .
11. Установить переключатель чувствительности гальванометра на нуль и перевести переключатель полярности в другое крайнее положение, снизив на время чувствительность гальванометра с помощью его шунта.
12. Повысив чувствительность гальванометра, произвести измерения при двух противоположных полярностях гальванометра.
13. Записать полученные результаты.
14. Произвести подсчет по формуле:  $C_x = C_N (R_4 / R_3 + \rho)$ .
15. Отсчитать величину  $\operatorname{tg} \delta$  непосредственно на мосте из каждого отдельного измерения и определить ее по формуле:

$$\operatorname{tg} \delta = C_4, \operatorname{tg} \delta (\%) = 100 C_4.$$

Таблица результатов измерений:

| №<br>п/п | Наименование<br>материала | Схема | Измерения         |                  |                  |                   |                             | Вычисления     |                   |               |                            |
|----------|---------------------------|-------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|-----------------------------|----------------|-------------------|---------------|----------------------------|
|          |                           |       | $C, \text{мкФ}_N$ | $R_4, \text{Ом}$ | $R_3, \text{Ом}$ | $\rho, \text{Ом}$ | Толщина диэлектрика<br>, см | $d, \text{см}$ | $C, \text{мкФ}_X$ | $\varepsilon$ | $\operatorname{tg} \delta$ |
|          |                           |       |                   |                  |                  |                   |                             |                |                   |               |                            |

**Вопросы для отчета:**

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  $\operatorname{tg} \delta$  изоляции электротехнической установки?

**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 вопросы для отчета.

**Литература, необходимая при ответах на вопросы:**

1. В.А. Филиков «Электротехнические и конструкционные материалы». - Москва. Издательский центр, «Академия».

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

**Тема : «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 я 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.

## **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  $5^{\circ}\text{C}$  в минуту. За  $10^{\circ}\text{C}$  до предполагаемой температуры вспышки скорость подъема температуры снизить до  $2^{\circ}\text{C}$  в минуту, а за  $5^{\circ}\text{C}$  до температуры вспышки – до  $1^{\circ}\text{C}$  в минуту. Масло и образующиеся над ним пары периодически перемешивать.

3. Когда масло нагреется до температуры, которая на  $10^{\circ}\text{C}$  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  $t$  на барометрическое давление.  $t = 0,345 (760 - p)$ ,  
 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.

1. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу:

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

**Вопросы для отчета:**

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 вопросы для отчета.

**Литература, необходимая при ответах на вопросы:**

1. В.А. Филиков «Электротехнические и конструкционные материалы». - Москва. Издательский центр, «Академия».

БПОУ ВО «Грязовецкий политехнический техникум»

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

**Тема: «Определение электрической прочности диэлектрических материалов»**

## Цель работы:

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

## Приборы и оборудование:

Аппарат АИМ-80.

## Введение:

Для повышения электрической прочности изоляции трансформаторов, кабелей и бумажных конденсаторов применяют жидкие 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/(см · °C). Оно, как и

другие жидкие 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 жидких диэлектриков 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.

### 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.
2. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу:

| №<br>п/п | Наименование<br>жидкого<br>диэлектрика | Измерения |                       |                       |                       |                       |                       | U<br>пр.ср., пр.ср.,<br>кВ | E<br>кВ/м |
|----------|--|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|-----------|
|          |  | l, мм     | U <sub>1</sub> , кВпр | U <sub>2</sub> , кВпр | U <sub>3</sub> , кВпр | U <sub>4</sub> , кВпр | U <sub>5</sub> , кВпр |                            |           |
|          |  |           |                       |                       |                       |                       |                       |                            |           |

### Вопросы для отчета:

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 ?

**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 вопросы для отчета.

**Литература, необходимая при ответах на вопросы:**

1. В.А. Филиков «Электротехнические и конструкционные материалы». - Москва. Издательский центр, «Академия».

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

**Тема : «Определение условной вязкости жидких диэлектриков»**

## **Цель работы:**

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

## **Приборы и оборудование:**

Универсальный вискозиметр ВУ.

## **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  $20^{\circ}\text{C}$ . Время истечения 200 мл дистиллированной воды при  $20^{\circ}\text{C}$  называется постоянной прибора, она равна 50 – 52 с.

## **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:

| №<br>п/п | Наименование<br>диэлектрика | Постоянная<br>прибора | Измерения                         |   | Вычисления |
|----------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------------|---|------------|
|          |                             |                       | Температура<br>диэлектрика,<br>°C | Время<br>истечения<br>диэлектрика,<br>с |            |
|          |                             |                       |                                   |   |            |

## **Вопросы для отчета:**

1. Почему недопустимо применять масло с вязкостью более  $4 - 4,5^{\circ}\text{Э}$  при  $20^{\circ}\text{C}$  и менее  $1,6 - 1,8^{\circ}\text{Э}$  при  $50^{\circ}\text{C}$  ?
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 вопросы для отчета.

**Литература, необходимая при ответах на вопросы:**

1. В.А. Филиков «Электротехнические и конструкционные материалы». - Москва. Издательский центр, «Академия».

# ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

## ТЕМА: ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКА ОТ РАЗЛИЧНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСЕЙ

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Изучить особенности электропроводности полупроводниковых материалов (*Ge*, *Si* и т.п.), исследовать температурную зависимость удельной проводимости. Определить термическую ширину запрещенной зоны полупроводниковых материалов или энергию активации примеси. Определить температурный коэффициент проводимости.

### 1. Электропроводность полупроводников.

Электропроводность твердых тел определяется направленным движением электронов под действием внешнего электрического поля. Движение электронов под действием внешней силы связано с изменением их энергии, что возможно при наличии свободных энергетических уровней валентной зоны.

В полупроводниках из-за малой ширины запрещенной зоны ( $\Delta E_g < 3\text{эВ}$ ) возможен переход электрона из валентной зоны в зону проводимости под действием внешнего электрического поля, теплового, светового, ионизирующего излучения и т.п. При этом в валентной зоне возникает свободный энергетический уровень, а в зоне проводимости появляется свободный электрон (*электрон проводимости*). Не занятые электроном энергетическое состояние в валентной зоне называется *дыркой проводимости*. Этот процесс называют генерацией пары носителей зарядов. Генерация носителей зарядов приводит к тому, что электроны могут перемещаться в зоне проводимости, переходя на близлежащие свободные энергетические уровни, а дырки - в валентной зоне, что эквивалентно перемещению положительных зарядов, равных по абсолютной величине зарядам электронов. Перемещение дырки можно представить как заполнение свободных энергетических уровней в валентной зоне электронами близлежащих занятых энергетических уровней.

Электропроводность, обусловленную генерацией пар носителей заряда электрон-дырка, называют собственной проводимостью. Процесс возвращения возбужденных электронов из зоны проводимости в валентную,

в результате которого пара носителей заряда электрон-дырка исчезает, называют рекомбинацией. Оба процесса - генерация и рекомбинация пар носителей заряда - происходит одновременно, благодаря чему в п/п устанавливается динамическое равновесие, определяющее равновесную концентрацию электронов и дырок.

*Чем выше температура, тем большая равновесная концентрация,*

*поэтому с повышением температуры удельная проводимость п/п должна увеличиваться.*

В запрещенной зоне п/п возможно расположение энергетических уровней, обусловленных нарушением периодичности кристаллической решетки и называемых локальными уровнями. Локальные уровни, обусловленные примесью, называются примесными. Эти уровни размещаются вблизи как зоны проводимости, так и валентной зоны. В первом случае вероятен переход электрона с занятого примесного уровня в зону проводимости. Такой тип дефекта кристаллической решетки, называют *донором*, а создающую его примесь - *донорной*. Во втором случае вероятен переход (захват) электрона из валентной зоны на незанятый примесный уровень и образование дырки проводимости. Дефект кристаллической решетки подобного типа называют акцептором, а соответствующую ему примесь - *акцепторной*.

*Электропроводность n/p, обусловленная ионизацией атомов акцепторной или донорной примесью, называют примесной электропроводностью. В зависимости от типа примеси возможна электронная или дырочная электропроводность, обусловленная соответственно перемещением электронов и дырок.*

Примесная электропроводность зависит от температуры так же, как и собственная электропроводность. В примесной п/п наряду с примесной электропроводностью существует собственная проводимость. В собственном п/п концентрации электронов и дырок равны. В примесном п/п преобладает концентрация электронов (для донорной примеси) или дырок (для акцепторной примеси). Подвижные носители зарядов с преобладающей концентрацией называются основными. Так, в п/п с донорной примесью основные носители заряда - электроны, поэтому его называют п/п *n*-типа (от англ. *negative*-отрицательный). Дырки в таком п/п являются неосновными носителями заряда. В п/п с акцепторной примесью основные носители зарядов - дырки, поэтому его называют п/п *p*-типа (от англ. *positive*-положительный). В этом случае электроны являются неосновными носителями заряда.

Концентрация основных носителей заряда определяет удельную электрическую проводимость п/п: чем выше концентрация, тем больше удельная электрическая проводимость.

## **2. Зависимость электропроводности от температуры**

Температурная зависимость электропроводности п/п определяется температурной зависимостью как концентрации носителей заряда, так и их подвижности. В общем случае удельная электропроводность п/п может быть представлена формулой:

$$\sigma = N_0 e \mu (Om^{-1}m^{-1}), \quad (1)$$

где  $N_0$  - концентрация носителей заряда;

$e$  - заряд электрона;  $\mu$  - подвижность носителей заряда.

Под подвижность понимают дрейфовую скорость частицы  $V_D$  в электрическом поле напряженностью  $E = 1B/cm$ , т.е.  $\mu = V_D / E (m^2/(B \cdot c))$ , (2)

В п/п под влиянием внешнего электрического поля дрейфовое движение совершают как электроны, так и дырки. Несмотря на то, что электроны и дырки движутся в противоположных направлениях, т.к. их заряды противоположны по знаку, направления электронной и дырочной составляющих дрейфового тока совпадают.

Поэтому для собственного п/п плотность дрейфового тока равна:

$$j = j_n + j_p = eE(N_n \mu_n + P_p \mu_p) (A/m^2), \quad (3)$$

где  $N_n, \mu_n, P_p, \mu_p$  - концентрации и подвижности электронов и дырок.

Собственная электропроводность равна:  $\sigma = eN_n \mu_n + eP_p \mu_p$ . (4)

Концентрация электронов и дырок в собственном п/п равны  $N_n = P_p$  и определяются по формуле:  $N_n = (N_c N_v)^{1/2} \exp(-\Delta E_g / 2kT) (m^{-3})$ , (5)

где  $N_c, N_v$  - эффективные плотности квантовых состояний в зоне проводимости и валентной зоне, соответственно.

Подвижность носителей заряда в значительно меньшей степени зависит от температуры по сравнению с температурной зависимостью их концентрации. Поэтому можно считать, что электропроводность п/п растет с температурой примерно по тому же закону, что и концентрация электронов и дырок:  $\sigma = \sigma_0 \exp(-\Delta E_0 / 2kT) (m^{-3})$ , (6)

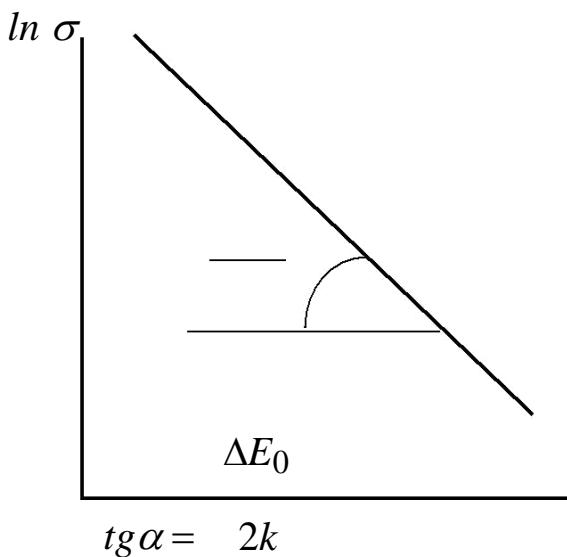
где  $\sigma_0$  - электропроводность при  $T \rightarrow \infty$ ;

$\Delta E_0$  - термическая ширина запрещенной зоны.

Понятие термической ширины запрещенной зоны подчеркивает тот факт, что при определении этого фундаментального параметра п/п не учитывается реальная температурная зависимость подвижности электронов и дырок, а также зависимость самой ширины запрещенной зоны от температуры. Если прологарифмировать выражение (6), то оно примет вид:

$$\ln \sigma = \ln \sigma_0 - (\Delta E_0 / 2k) (1/T). \quad (7)$$

В координатах  $\ln \sigma - 1/T$  эта зависимость - прямая линия с углом наклона, тангенс которого пропорционален  $\Delta E_0 / 2k$  (рис.1).



$$\tan \alpha = -2k$$

$$1/T, K^{-1}$$

Рис.1. Температурная зависимость электропроводности собственного полупроводника

обусловленной примесью  $\sigma_{np}$ , т.е.

$$\sigma = \sigma_{ocn} + \sigma_{np} = \sigma_0 \exp(-\Delta E_0 / 2kT) + \sigma_1 \exp(-\Delta E / 2kT), \quad (8)$$

где  $\Delta E$  - энергия активации примесных носителей заряда.

$\ln \sigma$



В примесном п/п зависимость  $\sigma(T)$  более сложная. При низких температурах концентрация носителей заряда определяется

интенсивностью процесса ионизации примесей, а  $\mu \sim T^{-3/2}$ . В

случае При высоких температурах большая часть носителей заряда получается за счет

генерации пар, а  $\mu \sim T$  этом

электропроводность примесного п/п можно выразить как сумму проводимости основной решетки  $\sigma_{ocn}$  и проводимости,

Зависимость  $\ln \sigma - 1/T$

для примесного п/п

представлена на рис.2.

Для низких температур на кривой хорошо выделяется

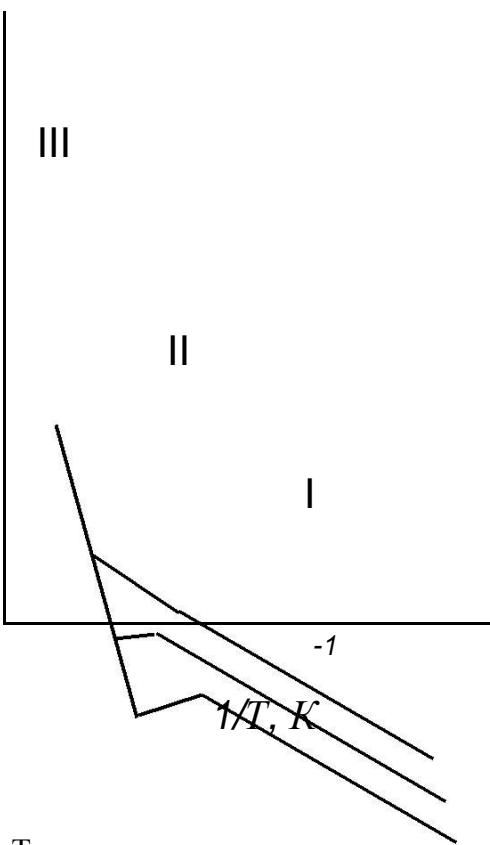


Рис.2. Температурная зависимость электропроводности примесного полупроводника  
когда примеси еще не исчерпаны.

участок I примесной электропроводности. После того как примеси исчерпаны (участок II), электропроводность может несколько уменьшаться за счет падения  $\mu$ . Участок III соответствует собственной электропроводности.

В этом случае, когда концентрация примеси достаточно велика, участок II отсутствует. Процесс генерации пар начинается,

### 3. Методика измерения электропроводности

Расчет удельной электропроводности проводится по закону Ома на основании измерений величины тока, проходящего через кристалл п/п толщиной  $h$  и площадью  $S$ . Схема установки приведена на рис.3.

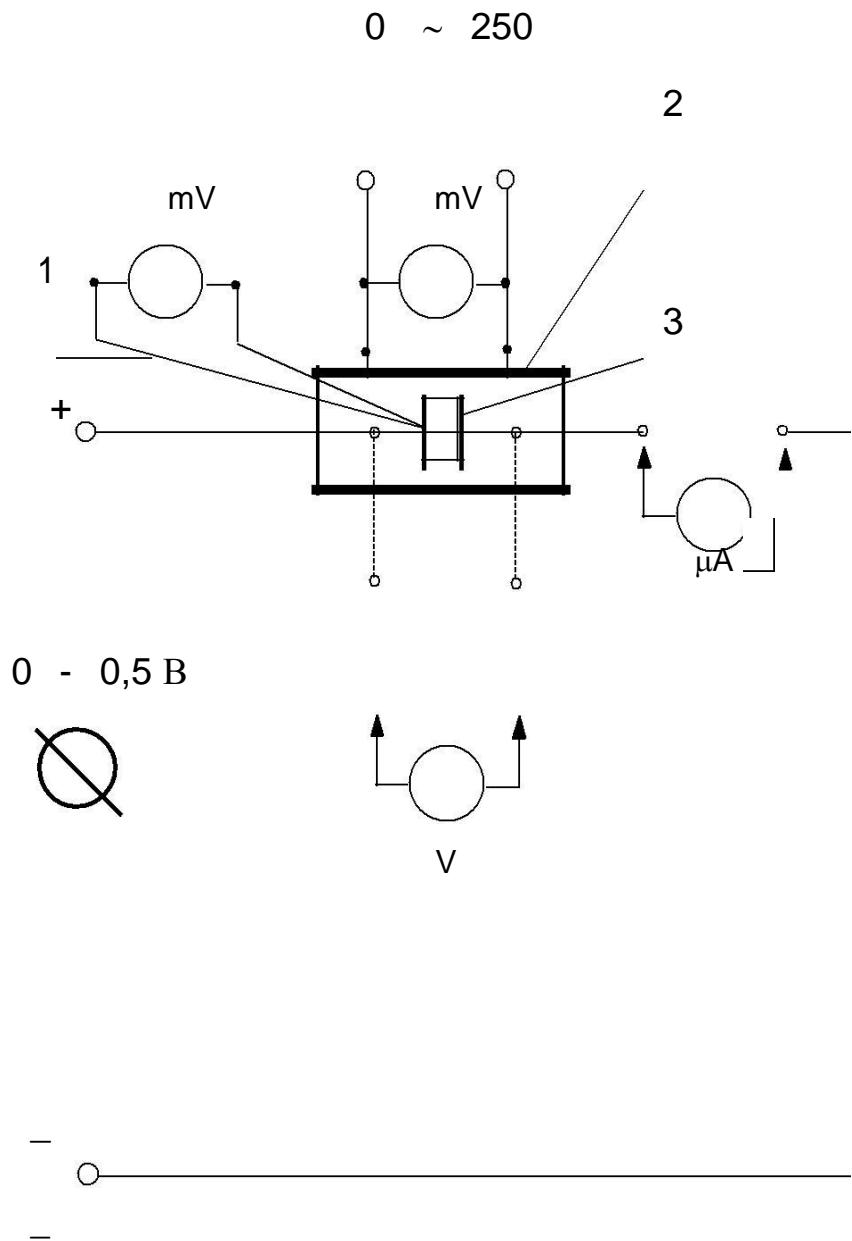


Рис.3. Схема установки для определения удельной электропроводности полупроводниковых материалов:

- 1) медь-константановая термопара;
- 2) нагреватель с регулируемым источником питания;
- 3) образец

Образец вставляется между электродами и помещается в нагревательное устройство. Напряжение, подаваемое на образец от источника постоянного тока, устанавливается в пределах  $0\div0,5$  В. Для регистрации тока, проходящего через кристалл п/п, используется микроамперметр. Измерение температуры осуществляется с помощью медь - константановой термопары.

#### **4. Порядок выполнения работы**

Собрать цепь, согласно схемы на рис.3. Автоматическим выключателем АП включить блок питания стенда, при этом на панели питания должна загореться сигнальная лампа. Подать напряжение на панель, включив тумблер 24 В. Установить напряжение постоянного тока на образце, снять показания приборов при комнатной температуре и занести их в таблицу.

Магнитным пускателем, кнопки которого расположены на панели блока питания над клеммами, отмеченными знаками 0-250, включить регулируемое напряжение. При этом на панели блока питания должна загореться сигнальная лампа.

Регулятором напряжения ЛАТР, расположенным на панели блока питания, установить максимальное напряжение (около 250 В). Следя за показаниями термопары с помощью милливольтметра, прогрейте установку до максимально возможной температуры - это соответствует показаниям термопары в интервале от 6 до 6,5 мВ (время разогрева около 30 минут).

По достижении требуемой температуры ручку регулятора напряжения ЛАТР поставить в исходное положение поворотом против часовой стрелки.

В процессе остывания образца снять показания приборов и занести их в таблицу. Число измерений не ограничено, но должно быть не менее 20. В начале измерений целесообразно снимать показания приборов как можно чаще (например, через 0,2 мВ).

Рассчитать удельную электропроводность образца при измеренных

температурах по выражению:  $\sigma = \frac{hI}{S \cdot U}$ ,

где  $h$  - толщина образца, м ( $h = 0,35$  мм);  $S$  - площадь образца,  $\text{м}^2$  ( $4,06 \cdot 10^{-5}$   $\text{м}^2$ );  $I$  - ток, протекающий через образец, А;  $U$  - напряжение на образце, В.

11. Значение измеренной температуры в милливольтах перевести в абсолютное по градиуровочному графику или по формуле:

$$T = 27,9313 \cdot mV^{0,89} + T_{ком} + 273, K$$

и построить график  $\ln \sigma = f(1/T)$ .

Таблица измеренных и рассчитанных значений

| № | $T, mV$ | $T, K$ | $I/T, K^{-1}$ | $I, A$  | $U, B$ | $\sigma, (\Omega \cdot mm)^{-1}$ | $\ln \sigma$ |
|---|---------|--------|---------------|---------|--------|----------------------------------|--------------|
| 1 | 3.85    | 390    | 0.00256       | 0.00018 | 0.027  | 0.0674                           | -2.70        |
|   |         |        |               |         |        |                                  |              |

12. Выделить участки линейной зависимости  $\ln \sigma$  от  $1/T$  и определить тангенс угла к ним:

$$\operatorname{tg} \alpha = d(\ln \sigma) = \ln(\sigma_1) - \ln(\sigma_2) = \Delta E, \text{ где } k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К.}$$

$$\begin{array}{ccc} d(1/T) & 1/T - 1/T & 2k \\ / & /^2 & /^1 \end{array}$$

Вычислить  $\Delta E_0$  и  $\Delta E$ , значения перевести в электронвольты.

13. Определить температурный коэффициент проводимости.

## 5. Содержание отчета

Цель работы.

Схема установки и таблица измерительных приборов.

Таблица измеряемых и расчетных величин.

Основные формулы и примеры расчетов.

Выводы по работе.

## 6. Контрольные вопросы

1. Носители зарядов в полупроводниках. Понятие дырки. Собственная проводимость полупроводников.

2. Примесные полупроводники. Типы примесных полупроводников. Основные и неосновные носители зарядов.
3. Типы примесей (донорная и акцепторная). Механизм ее действия. Проводимость примесного полупроводника.
4. Понятие подвижности носителей зарядов. Температурная зависимость подвижности носителей зарядов.
5. Определение концентрации носителей зарядов. Концентрация носителей зарядов в собственном и примесном полупроводниках. Температурная зависимость концентрации.
6. Определение ширины запрещенной зоны и энергии активации примеси по температурной зависимости электропроводности. Отличие температурных зависимостей собственной проводимости и примесной проводимости. Понятие термической ширины запрещенной зоны.
7. Основные параметры, от которых зависит проводимость полупроводников.
8. Электрические свойства полупроводников.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

### Тема: Изучение конструкционных материалов. Выбор и расшифровка марки конструкционных материалов.

Задание:

1. Изучить теоретический материал.
2. Расшифровать марки конструкционных материалов, предложенных образцов.
3. Ответить на контрольные вопросы.

Свойства металлов определяются их строением. Строение металлов кристаллическое, где каждый атом (ион) имеет одно и то же число ближайших атомов-соседей. Друг с другом они соединены с помощью электронов, которые могут свободно перемещаться.

Кристаллическая решетка металлов может перестраиваться при повышении температуры. Например, железо до температуры 911°C имеет объемную решетку, выше 911°C до 1392°C атомы перемещаются в вершины решетки. Способность металла менять свои свойства называется **аллотропией**.

Механические свойства металла:

- это свойства, которые выявляются испытаниями при воздействии внешних нагрузок.

#### 1. Испытания на растяжение.

Показатели прочности:

- прочность – это свойство материала сопротивляться деформации или разрушению ( $\sigma$ ).

- предел текучести – это наименьшее напряжение, при котором материал пластиически деформируется (течет) без заметного изменения нагрузки ( $\sigma_t$ ). Показатель пластичности

Виды чугунов.

Бéлый чугúн - вид чугуна, в котором углерод в связанном состоянии в виде цементита, в изломе имеет белый цвет и металлический блеск. Отливки белого чугуна обладают износостойкостью, относительной жаростойкостью

и коррозионной стойкостью. Наличие в части их сечения структуры, отличной от структуры белого чугуна, понижает эти свойства. Прочность белого чугуна снижается с увеличением содержания в нём углерода, а следовательно, и карбидов. Твёрдость белого чугуна возрастает с ростом доли карбидов в его структуре, а следовательно, и с увеличением содержания углерода.

Наивысшую твёрдость имеет белый чугун с мартенситной структурой основной металлической массы. Коагуляция карбидов резко снижает твёрдость чугуна.

Чугун серый — сплав железа с графитом, который присутствует в виде пластинчатого или волокнистого графита. Серый чугун характеризуется высокими литейными свойствами (низкая температура кристаллизации,

текучесть в жидким состоянии, малая усадка) и служит основным материалом для литья. Он широко применяется в машиностроении для отливки станин станков и механизмов, поршней, цилиндров. Ковкий чугун — условное название мягкого и вязкого чугуна, получаемого из белого чугуна отливкой и дальнейшей термической обработкой. Используется длительный отжиг, в результате которого происходит распад цементита с образованием графита, то есть процесс графитизации, и поэтому такой отжиг называют графитизирующим.

Ковкий чугун, как и серый, состоит из стальной основы и содержит углерод в виде графита, однако графитовые включения в ковком чугуне иные, чем в обычном сером чугуне. Разница в том, что включения графита в ковком чугуне расположены в форме хлопьев, которые получаются при отжиге, и изолированы друг от друга, в результате чего металлическая основа менее разобщена, и чугун обладает некоторой вязкостью и пластичностью. Высокопрочный чугун — чугун, имеющий графитные включения сфероидальной формы.

Графит сфероидальной формы имеет меньшее отношение его поверхности к объему, что определяет наибольшую сплошность металлической основы, а, следовательно, и прочность чугуна. Наиболее часто применяется для изготовления предметов торговли ответственного назначения в машиностроении, а также для производства высокопрочных труб (водоснабжение, водоотведение, газо-, нефте-проводы). Предметы торговли и трубы из Высокопрочного чугуна отличаются высокой прочностью, долговечностью, высокими эксплуатационными свойствами.

### Классификация и свойства чугуна.

**Передельный чугун.** Передельный чугун - первичный сплав железа, выплавленный в доменной печи и идущий (в жидком или твердом виде) в переработку (передел) на сталь главным образом в мартеновских печах или кислородных конвертерах.

**Литейный чугун** - выплавляемый в доменной печи чугун, содержащий подавляющую часть углерода в виде свободного графита и имеющий в своем составе кремний до 3,75%; применяется для получения отливок в литейном производстве.

**Серый чугун** — наиболее широко применяемый вид чугун (машиностроение, сантехника, строительные конструкции) — имеет включения графита пластинчатой формы. Для деталей из серого чугуна характерны малая чувствительность к влиянию внешних концентраторов напряжений при циклических нагрузлениях и более высокий коэффициент поглощения

колебаний при вибрациях деталей (в 2—4 раза выше, чем у стали). Важная конструкционная особенность серого чугун — более высокое, чем у стали, отношение предела текучести к пределу прочности на растяжение. Наличие графита улучшает условия смазки при трении, что повышает антифрикционные свойства чугун. Свойства серого чугун зависят от структуры металлической основы, формы, величины, количества и характера распределения включений графита. Перлитный серый чугун имеет высокие

прочностные свойства и применяется для цилиндров, втулок и др. нагруженных деталей двигателей, станин и т.д. Для менее ответственных деталей используют серый чугун с ферритно-перлитной металлической основой.

Белый чугун представляет собой сплав, в котором избыточный углерод, не находящийся в твёрдом растворе железа, присутствует в связанном состоянии в виде карбидов железа  $Fe_3C$  (цементит) или т. н. специальных карбидов (в легированном чугуне). Кристаллизация белых чугун происходит по метастабильной системе с образованием цементита и перлита. Белый чугун вследствие низких механических свойств и хрупкости имеет ограниченное применение для деталей простой конфигурации, работающих в условиях повышенного абразивного амортизации. Легирование белого чугуна карбиообразующими элементами (Cr, W, Mo и др.) повышает его износостойкость.

Половинчатый чугун содержит часть углерода в свободном состоянии в виде графита, а часть — в связанном в виде карбидов. Применяется в качестве трения фрикционного материала, работающего в условиях сухого трения (тормозные колодки), а также для изготовления деталей повышенной износостойкости (прокатные, бумагоделательные, мукомольные валки).

Ковким называется чугун в отливках, изготовленных из белого чугуна и подвергнутых последующему графитизирующему отжигу, в результате чего цементит распадается, а образующийся графит приобретает форму хлопьев. Ковкий чугун обладает лучшей демпфирующей способностью, чем сталь, и меньшей чувствительностью к надрезам, удовлетворительно работает при низких температурах. Механические свойства ковкого чугуна определяются структурой металлической основы, количеством и степенью компактности включений графита. Металлическая основа ковкого чугуна в зависимости от типа термообработки может быть ферритной, ферритно-перлитной и перлитной. Наиболее высокими свойствами обладает ковкий чугун, имеющий матрицу со структурой зернистого перлита; им можно заменять литую или кованую сталь. В тех случаях, когда требуется повышенная пластичность, применяют ферритный ковкий чугун. Для интенсификации процесса графитизации при термообработке ковкий чугун модифицируют Te, B, Mg и др. элементами. Ковкий чугун используют в основном в автомобиле, тракторо- и сельхозмашиностроении. Наблюдается тенденция (особенно в автомобилестроении) к замене ковкого чугуна высокопрочным с шаровидным графитом с целью повышения прочности отливок, уменьшения длительности технологического цикла и упрощения технологии изготовления.

Высокопрочный чугун, характеризующийся шаровидной или близкой к ней формой включений графита, получают модифицированием жидкого чугуна присадками Mg, Ce, Y, Ca и некоторых др. элементов (в чистом виде или в составе сплавов). Шаровидный графит в наименьшей степени ослабляет металлическую матрицу, что приводит к резкому повышению механических свойств чугун с чисто перлитной или бейнитной структурой, приближая их свойства к свойствам углеродистых сталей. При чисто ферритной матрице (в

литом или термообработанном состоянии) обеспечивается повышенный уровень пластичности. Высокопрочный чугун обладает хорошими литейными и технологическими свойствами (жидкотекучесть, линейная усадка, обрабатываемость резанием), но по значению сосредоточенной объёмной усадки приближается к стали. Такой чугун применяется для замены стальных литых и кованых деталей (коленчатые валы двигателей, компрессоров и т.д.), а также деталей из ковкого или обычного серого чугуна. Высокопрочные чугуны, имеющие включения т. н. вермикулярного графита (при рассмотрении в оптическом микроскопе — утолщённые изогнутые пластины со скруглёнными краями), по свойствам занимают промежуточное положение между чугуном с шаровидным и чугуном с пластинчатым графитом. Этот чугун обладает хорошими технологическими свойствами при небольшой объёмной усадке и высокой теплопроводностью (почти такой же, как у серого чугуна). Чугун с вермикулярным графитом применяется в дизелестроении и других областях машиностроения.

По принятой маркировке обозначения марок доменных чугун содержат буквы и цифры. Буквы указывают основное назначение чугун: П — передельный для кислородно-конверторного и мартеновского производства и

Л — литейный для чугунолитейного производства. Литейный коксовый чугун обозначают ЛК, в отличие от чугуна, выплавленного на древесном угле (ЛД). С увеличением числа в обозначении марки уменьшается содержание кремния (например, в чугун ЛК5 содержится меньше кремния, чем в чугун ЛК4). Каждая марка чугун в зависимости от содержания Mn, P, S подразделяется соответственно на группы, классы и категории. Марки чугун

литейного производства, как правило, обозначаются буквами, показывающими основной характер или назначение чугуна: СЧ — серый чугун, ВЧ — высокопрочный, КЧ — ковкий; для антифрикционного чугун в начале марки указывается буква А (АСЧ, АВЧ, АКЧ). Цифры в обозначении марок нелегированного чугун указывают его механические свойства. Для серых чугун приводят регламентированные показатели пределов прочности при растяжении и изгибе (в кгс/мм<sup>2</sup>), например СЧ21-40. Для высокопрочного и ковкого чугун цифры определяют предел прочности при растяжении (в кгс/мм<sup>2</sup>) и относительное удлинение (в %), например ВЧ60-2. Обозначение марок легированных чугун состоит из букв, указывающих, какие легирующие элементы входят в состав чугун, и стоящих непосредственно за каждой буквой цифр, характеризующих среднее содержание данного легирующего элемента; при содержании легирующего элемента менее 1,0% цифры за соответствующей буквой не ставятся. Условное обозначение химических элементов такое же, как и при обозначении сталей. Пример обозначения легированных чугун: ЧН19Х3 — чугун, содержащий ~19% никель и ~3% Cr. Если в легированном чугун

регламентируется шаровидная форма графита, в конце марки добавляется буква Ш (ЧН19Х3Ш).

В наше время практически ничего не изменилось и в промышленности разновидности чугуна маркируются следующим образом:

1. передельный чугун — П1, П2;
2. передельный чугун для отливок — ПЛ1, ПЛ2,
3. передельный фосфористый чугун — ПФ1, ПФ2, ПФ3,
4. передельный высококачественный чугун — ПВК1, ПВК2, ПВК3;
5. Чугун с пластинчатым графитом — СЧ (цифры после букв «СЧ», обозначают величину временного сопротивления разрыву в кгс/мм);
6. антифрикционный чугун
7. антифрикционный серый — АЧС,
8. антифрикционный высокопрочный — АЧВ,
9. антифрикционный ковкий — АЧК;
10. Чугун с шаровидным графитом для отливок — ВЧ (цифры после букв «ВЧ» означают временное сопротивление разрыву в кгс/мм);
11. Чугун легированный со специальными свойствами — Ч.

### **Расшифровка марок сталей**

Общими для всех обозначениями являются буквенные обозначения легирующих элементов:

Х — хром, Н — никель, К — кобальт, М — молибден, В — вольфрам, Т — титан, Д — медь, Г — марганец, С — кремний, Ф — ванадий, Р — бор, А — азот, Б — ниобий, Е — селен, Ц — цирконий, Ю — алюминий, Ч — показывает о наличии редкоземельных металлов.

### **Обозначения для разных типов сталей в зависимости от их состава и предназначения.**

Буквенные обозначения применяются также для указания способа раскисления стали:

КП — кипящая сталь

ПС — полуспокойная сталь

СП — спокойная сталь

**Конструкционные стали** обычного качества нелегированные обозначают буквами Ст. (например, Ст.3; Ст.3кп)

Цифра, стоящая после букв, условно обозначает процентное содержание углерода в стали (в десятых долях), индекс кп указывает на то, что сталь относится к кипящей, т.е. не полностью раскисленная в печи и содержащая незначительное количество закиси железа. Отсутствие индекса означает, что сталь спокойная.

**Конструкционные нелегированные качественные стали** (например, Ст.10; Сталь 20; Ст.30; Ст.45), обозначают двузначным числом, указывающим на среднее содержание углерода в стали 0,10%; 0,20%.

Конструкционная низколегированная 09Г2С расшифровывается как сталь, углерода в которой около 0,09% и содержание легирующих

компонентов марганца, кремния и других, составляет в сумме менее 2,5%. Стали 10ХСНД и 15ХСНД отличаются разницей углерода, в таких сталях среднее содержание каждого элемента содержится менее 1% процента, поэтому цифры за буквой не ставятся. Конструкционные легированные стали, такие как 20Х; 30Х; 40Х обозначают буквами и цифрами (марка показывает содержание углерода и основного легирующего элемента хрома). Цифры после каждой буквы обозначают примерное содержание соответствующего элемента, однако при содержании легирующего элемента менее 1,5% цифра после соответствующей буквы не ставится.

Содержание серы и фосфора не должно превышать 0,03% для каждого из этих элементов, поэтому в конце таких марок ставится буква А, что свидетельствует о дополнительных показателей качества марок, (например, 20ХН4ФА; 38ХН3МА). Также обозначаются и конструкционные рессорно - пружинные стали, такие как 60С2А, 65Г, где первые цифры показывают углерод в сотых долях процента. (0,60 и 0,65 соответственно).

Расшифровка **стали конструкционных подшипниковых**, производится так, они обозначаются также как и легированные, маркировка начинается с буквы

Ш (например, ШХ4; ШХ15; ШХ15СГ). Цифра 15 говорит о содержании легирующего хрома, примерная доля которого равна 1,5%, в стали ШХ4 0,4% соответственно.

**Качественные стали** - для производства паровых котлов и сосудов высокого давления, обозначают как конструкционные нелегированные стали, с добавлением буквы К (например, 20К; 22К).

**Литейные конструкционные стали** обозначаются как качественные и легированные, но в конце наименования ставят букву Л, (35ХМЛ; 40ХЛ и т.п.).

**Стали строительные** обозначают буквой С и цифрами, соответствующими минимальному пределу текучести стали. Дополнительно применяют обозначения: Т — термоупрочненный прокат, К — повышенная коррозионная стойкость, (например, С345Т; С390К и т. п.). Аналогично

буквой Д обозначают повышенное содержание меди, (С345Д; С375Д). **Стали инструментальные нелегированные**, делят на качественные,

обозначаемые буквой У и цифрой, указывающей среднее содержание углерода (например, У7; У8; У10) и высококачественные, обозначаемые дополнительной буквой А в конце наименования (например, У8А; У10А; У12А) или дополнительной буквой Г, указывающей на дополнительное увеличение содержания марганца (например, У8ГА).

*Стали быстрорежущие* расшифровываются следующим образом - такие марки имеют букву Р (с этого начинается обозначение стали), затем следует цифра, указывающая среднее содержание вольфрама (например, Р18; Р9), затем следуют буквы и цифры, определяющие массовое содержание элементов (например, сталь Р6М5) цифра 5 показывает долю молибдена в

этой марке. Содержание хрома не указывается, т. к. оно составляет стабильно около 4% во всех быстрорежущих сталях и углерода, т. к. последнее всегда пропорционально содержанию ванадия. Если содержание ванадия превышает 2,5%, буква Ф и цифра указывается (например, стали Р6М5Ф3).

**Алюминиевые сплавы** маркируются по следующему принципу: марки литьевых сплавов имеют первую букву А, за ней Л. Сплавы для ковки и штамповки за буквой А имеют букву К. После этих двух букв ставится условный номер сплава.

Принятые обозначения **деформированных сплавов** такие: сплава авиаль - АВ, алюминиево-магниевого - АМг, алюминиево-марганцевого - АМц. Дуралюмины обозначаются буквой Д с последующим условным номером.

### Маркировка сталей

Для того, чтобы различать марки сталей имеются специальные условные обозначения, которыми маркируются все виды стального проката. Такая маркировка представляет собой сочетание букв и цифр, которое характеризует легированную сталь. Две цифры, стоящие перед маркой, обозначают среднее содержание углерода в десятых долях процента. Отсутствие цифр перед маркой свидетельствует о содержании углерода 1% или более. Каково конкретно процентное содержание определенного элемента, можно узнать по цифрам, стоящим за буквами. В случае, если за буквами цифр нет, то содержание данного элемента 1% или больше (но не более 1,5%). О высококачественной стали (с меньшим содержанием серы и фосфора) говорит буква А в конце марки. Пример расшифровки марки стали по ее маркировке.

С 0,12%  
12 X18 Н10 Т  
Cr 18%  
Ni 10%  
Ti до 1,5%

Впереди стоят две цифры (12), они указывают на среднее содержание углерода в сотых долях процента. В нашем случае в состав стали входит 0,12% углерода (химический элемент углерод обозначают буквой "С"). Следующая буква "Х" обозначает, что сталь содержит хром в количестве 18% (цифра 18 после буквы "Х"). Следующие за "Х" буква "Н" и цифра 10-сталь содержит 10% никеля. Буква "Т" обозначает наличие титана в объеме 1,5%.

## **Алюминий**

Обладает многими цennыми свойствами:

- небольшой плотностью — около  $2,7 \text{ г/см}^3$ ,
- высокой теплопроводностью и высокой электропроводностью  $13,8 \cdot 10^7 \text{ Ом/м}$ ,
- хорошей пластичностью и достаточной механической прочностью.

Алюминий образует сплавы со многими элементами. В сплавах алюминий сохраняет свои свойства. В расплавленном состоянии Al жидкотекуч и хорошо заполняет формы, в твердом виде он хорошо деформируется и легко поддается резанию, пайке и сварке. Сродство алюминия к кислороду очень большое. При его окислении выделяется большое количество тепла.

Тонкоизмельченный алюминий при нагревании воспламеняется и сгорает на воздухе. Al соединяется с кислородом воздуха и в атмосферных условиях. При этом алюминий покрывается тонкой (~

0,0002мм) плотной пленкой окиси алюминия, защищающей его от дальнейшего окисления; поэтому Al стоек против коррозии. Поверхность Al хорошо защищается от окисления этой пленкой и в расплавленном состоянии.

Из сплавов алюминия наибольшее значение имеют дюралюминий и силумины. В *состав дюралюминия*, кроме Al, входят 4% меди, 0,5% Mn и 0,5% Mg, допускается не более 0,8% Fe и 0,8% Si. Дюралюминий хорошо деформируется и по своим механическим свойствам близок к некоторым сортам стали, хотя он в 2,7 раза легче стали (плотность дюралюминия).

*Механические свойства* этого сплава повышаются после термической обработки и деформации в холодном состоянии. Сопротивление на разрыв повышается, твердость по Бринелю с 490 до 980 МПа. При этом относительное удлинение дюралюминия почти не изменяется и остается достаточно высоким (18—24 %).

*Силумины* — литейные сплавы алюминия с кремнием. Они обладают хорошими литейными качествами и механическими свойствами.

Алюминий - химический элемент III гр. периодической системы, атомный номер 13. Серебристо-белый металл, легкий, пластичный, с высокой электропроводностью,  $t_{пл}=660^{\circ}\text{C}$ . Химически активен (на воздухе покрывается защитной оксидной пленкой). По распространенности в природе занимает 3-е место среди элементов и 1-е среди металлов (8,8% от массы земной коры). По электропроводности алюминий - на 4-м месте, уступая лишь серебру (оно на первом месте), меди и золоту, что при дешевизне алюминия имеет огромное практическое значение. Алюминия вдвое больше, чем железа, и в 350 раз больше, чем меди, цинка, хрома, олова и свинца вместе взятых. Алюминий устойчив при температурах от - 269°С до точки плавления 660°С. Отражательная способность полированной поверхности составляет более 90%.

Чистый алюминий - довольно мягкий металл - почти втрое мягче меди, поэтому даже сравнительно толстые алюминиевые пластиинки и

стержни легко согнуть, но когда алюминий образует сплавы, его твердость может возрасти в десятки раз. Наиболее широко применяются:

Бериллий добавляется для уменьшения окисления при повышенных температурах. Небольшие добавки бериллия применяют в алюминиевых

литейных сплавах для улучшения текучести в производстве деталей двигателей внутреннего сгорания (поршней и головок цилиндров).

Бор вводят для повышения электропроводимости. Бор вводится в алюминиевые сплавы, используемые в атомной энергетике (кроме деталей реакторов), т.к. он поглощает нейтроны, препятствуя распространению радиации.

Висмут. Металлы с низкой температурой плавления, такие как висмут, свинец, олово, кадмий вводят в алюминиевые сплавы для улучшения обрабатываемости резанием. Эти элементы образуют мягкие легкоплавкие фазы, которые способствуют ломкости стружки и смазыванию резца.

Галлий добавляется в сплавы, из которых далее изготавливаются расходуемые аноды.

Железо. В малых количествах вводится при производстве проводов для увеличения прочности и улучшает характеристики ползучести. Так же железо уменьшает прилипание к стенкам форм при литье.

Индий. Добавка упрочняет сплавы алюминия при старении, особенно при низком содержании меди. Индивидуальные добавки используются в алюминиево-кадмийевых подшипниковых сплавах.

Примерно 0,3% кадмия вводят для повышения прочности и улучшения коррозионных свойств сплавов.

Кальций придаёт пластичность. При содержании кальция 5% сплав обладает эффектом сверхпластичности.

Кремний является наиболее используемой добавкой в литейных сплавах. В количестве 0,5-4% уменьшает склонность к трещинообразованию. Сочетание кремния с магнием делают возможным термоуплотнение сплава.

Магний. Добавка магния значительно повышает прочность без снижения пластичности, повышает свариваемость и увеличивает коррозионную стойкость сплава.

Медь упрочняет сплавы, максимальное упрочнение достигается при содержании меди 4 - 6%. Сплавы с медью используются в производстве поршней двигателей внутреннего сгорания, высококачественных литьих деталей летательных аппаратов.

Олово улучшает обработку резанием.

Титан. Основная задача титана в сплавах - измельчение зерна в отливках и слитках, что очень повышает прочность и равномерность свойств во всём объёме.

Алюминий хорошо поддается обработке: ковке, штамповке, прокату, волочению, прессованию. Чистый алюминий - довольно мягкий металл; из него делают электрические провода, детали конструкций, фольгу для пищевых продуктов, кухонную утварь и "серебряную" краску. Этот красивый

и легкий металл широко используют в строительстве и авиационной технике. Алюминий очень хорошо отражает свет. Поэтому его используют для изготовления зеркал - методом напыления металла в вакууме.

## **Применение:**

Алюминий и сплавы широко применяют во многих отраслях промышленности, в том числе в авиации, транспорте, металлургии, пищевой промышленности.

1.) Из алюминия и его сплавов изготавливают *корпуса самолетов, моторы, блоки цилиндров, коробки передач, насосы* и другие детали в авиационной, автомобильной и тракторной промышленности, сосуды для хранения химических продуктов.

2.) Алюминий широко применяют *в быту, пищевой промышленности,*

*в ядерной энергетике и электронике.* Многие части искусственных спутников нашей планеты и космических кораблей изготовлены из алюминия и его сплавов.

3.) Вследствие большого химического сродства алюминия к кислороду его применяют *в черной металлургии* как раскислитель, а также для получения при использовании так называемого алюминотермического процесса трудно восстанавливаемых металлов (кальция, лития и др.). По общему производству металла в мире алюминий занимает второе место после железа.

4.) В *авиа - и машиностроении*, при изготовлении строительных конструкций, используют значительно более твердые сплавы алюминия, т.к они обладают высокими прочностными характеристиками. Один из самых известных - сплав алюминия с медью и магнием (дуралюмин, или просто "дюраль"). Дуралюмины обладают хорошим сочетанием прочности и пластичности, но имеют при этом не высокую коррозионную стойкость. Этот сплав после закалки приобретает особую твёрдость и становится примерно в 7 раз прочнее чистого алюминия. В то же время он почти втрое легче железа. Его получают, сплавляя алюминий с небольшими добавками меди, магния, марганца, кремния и железа. На изделия из алюминиевых сплавов легко наносятся защитные и декоративные покрытия.

При изготовлении авиационной техники успешно используются упрочняемые термической обработкой высокопрочные алюминиевые сплавы Al-Zn-Mg-Cu и сплавы средней и повышенной прочности Al-Mg-Cu. Они являются конструкционным материалом для обшивки и внутреннего сплавного набора элементов планера самолета (фюзеляж, крыло, киль и др.).

5.) Алюминий и сплавы на его основе находят все более широкое применение *в судостроении.* Из алюминиевых сплавов изготавливают

корпусы судов, палубные надстройки, коммуникацию и различного рода судовое оборудование. Основное преимущество при внедрении алюминия и его сплавов по сравнению со сталью - снижение массы судов, которая может достигать 50...60%. В результате представляется возможность повысить грузоподъемность судна или улучшить его тактико-технические характеристики (маневренность, скорость и т.д.).

6.) Тяжелые условия эксплуатации подвижного состава *железной дороги* (длительный срок службы и способность выдерживать ударные нагрузки) выдвигают особые требования к конструкционным материалам.

Основные характеристики алюминия и его сплавов, раскрывающие целесообразность применения их в железнодорожном транспорте, высокая удельная прочность, небольшая сила инерции, коррозионная стойкость. Внедрение алюминиевых сплавов при изготовлении сварных емкостей повышает их долговечность при перевозке ряда продуктов химической и нефтехимической промышленности.

7.) Одним из основных требований к материалам, применяемым в *автомобильном транспорте*, является малая масса и достаточно высокие показатели прочности. Принимаются во внимание также коррозионная стойкость и хорошая декоративная поверхность материала. Высокая удельная прочность алюминиевых сплавов увеличивает грузоподъемность и уменьшает эксплуатационные расходы передвижного транспорта. Высокая коррозионная стойкость материала продляет сроки эксплуатации, расширяет ассортимент перевозимых товаров, включая жидкости и газы с высокой агрессивной концентрацией.

8.) Перспективность применения алюминиевых сплавов в *строительных конструкциях* подтверждается технико-экономическими расчетами и многолетней мировой практикой в области сооружения различных строительных объектов.

9.) Освоение новых месторождений, увеличение глубины скважин выдвигают определенные требования к материалам, применяемым для изготовления деталей и узлов *нефте- и газопромыслового оборудования* и аппаратуры для переработки продуктов нефти. Высокая удельная прочность алюминиевых сплавов позволяет уменьшить массу бурильного оборудования, облегчить их транспортабельность и обеспечить прохождение глубоких скважин. Коррозионно-стойкие алюминиевые сплавы дают возможность повысить эксплуатационную надежность бурильных, насосно - компрессорных и нефтегазопроводных труб. Повышенная сопротивляемость коррозионному растрескиванию позволяет применить алюминиевые сплавы при изготовлении емкостей для хранения нефти и ее продуктов.

Алюминий содержит также многие горючие и взрывчатые смеси. *Алюмотол*, литая смесь тринитротолуола с порошком алюминия, - одно из самых мощных промышленных *взрывчатых веществ*. *Аммонал* - *взрывчатое вещество*, состоящее из аммиачной селитры, тринитротолуола и порошка алюминия. Зажигательные составы содержат алюминий и окислитель - нитрат, перхлорат. Пиротехнические составы "Звездочки" также содержат порошкообразный алюминий.

Смесь порошка алюминия с оксидами металлов (термит) применяют для получения некоторых металлов и сплавов, для сварки рельсов, в зажигательных боеприпасах.

Алюминий нашел также практическое применение в качестве ракетного топлива. Для полного сжигания 1 кг алюминия требуется почти вчетверо меньше кислорода, чем для 1 кг керосина. Кроме того, алюминий может окисляться не только свободным кислородом, но и связанным, входящим в состав воды или углекислого газа. При "сгорании" алюминия в

воде на 1 кг продуктов выделяется 8800 кДж; это в 1,8 раза меньше, чем при сгорании металла в чистом кислороде, но в 1,3 раза больше, чем при сгорании на воздухе. Значит, в качестве окислителя такого топлива можно использовать вместо опасных и дорогостоящих соединений простую воду. По его замыслу можно использовать алюминиевые элементы космического корабля в качестве дополнительного горючего.

Широкое применение находят и соединения алюминия. Оксид алюминия - огнеупорный и абразивный (наждак) материал, *сырье для получения керамики*. Из него также делают лазерные материалы, подшипники для часов, ювелирные камни (искусственные рубины). Прокаленный оксид алюминия - адсорбент для очистки газов и жидкостей и катализатор ряда органических реакций. Сульфат алюминия применяют для очистки воды; реагируя с содержащимся в ней гидрокарбонатом кальция:

В промышленности используются также и алюминиевые порошки. Применяются в металлургической промышленности: в алюминотермии, в качестве легирующих добавок, для изготовления полуфабрикатов путём прессования и спекания. Этим методом получают очень прочные детали (шестерни, втулки и др.). Также порошки используются в химии для получения соединений алюминия и в качестве катализатора (например, при производстве этилена и ацетона). Учитывая высокую реакционную способность алюминия, особенно в виде порошка, его используют во взрывчатых веществах и твёрдом топливе для ракет, используя его свойство быстро воспламеняться.

Учитывая высокую стойкость алюминия к окислению, порошок используются в качестве пигмента в покрытиях для окраски оборудования, крыш, бумаги в полиграфии, блестящих поверхностей панелей автомобилей. Также слоем алюминия покрывают стальные и чугунные изделия во избежание их коррозии.

Алюминиевая посуда - наиболее распространенная посуда в общественном питании и на домашней кухне. Алюминий, как и чугун, является энергосберегающим материалом. Но, в отличие от чугунной, алюминиевая посуда является значительно более легкой - и это весомый аргумент в ее пользу. А использование посуды с пр отивопригарным покрытием решит для хозяйки и многие другие проблемы: пища в этой посуде не пригорает, требует минимальное количество жира, посуда легко моется, использование деревянной лопатки обеспечивает длительный срок службы.

### **Электропроводность.**

Важнейшее свойство алюминия – высокая электропроводность, по которой он уступает только серебру, меди и золоту. Сочетание высокой электропроводности с малой плотностью позволяет алюминию конкурировать с медью в сфере кабельно-проводниковой продукции. На электропроводность алюминия кроме железа и кремния сильно влияет хром, марганец, титан. Поэтому в алюминии, предназначенном для изготовления проводников тока, регламентируется содержание ещё нескольких примесей.

Электропроводность зависит от состояния материала. Длительный отжиг при 350°C улучшает проводимость, а нагартовка проводимость ухудшает.

Таким образом удельное электросопротивление проводников из алюминия примерно в 1.5 раза выше электросопротивления медных проводников. Соответственно электропроводность (величина обратная удельному сопротивлению) алюминия составляет 60-65% от электропроводности меди. Электропроводность алюминия растет с уменьшением количества примесей.

Теплопроводность алюминия возрастает с увеличением чистоты металла. По теплопроводности алюминий уступает только серебру и меди (примерно 0.90), втрое превышая теплопроводность малоуглеродистой стали. Это свойство определяет применение алюминия в радиаторах охлаждения и теплообменниках.

### *Коррозионные свойства алюминия.*

Сам по себе алюминий является очень химически активным металлом. С этим связано его применение в алюмотермии и в производстве ВВ. Однако на воздухе алюминий покрывается тонкой (около микрона), пленкой окиси алюминия. Обладая высокой прочностью и химической инертностью, она защищает алюминий от дальнейшего окисления и определяет его высокие антикоррозионные свойства во многих средах. В алюминии высокой чистоты окисная пленка сплошная и беспористая, имеет очень прочное сцепление с алюминием. Поэтому алюминий высокой и особой чистоты очень стоек к действию неорганических кислот, щелочей, морской воды и воздуха. Сцепление окисной пленки с алюминием в местах нахождения примесей значительно ухудшается и эти места становятся уязвимы для коррозии. Поэтому алюминий технической чистоты имеет меньшую стойкость. Например по отношению к слабой соляной кислоте стойкость рафинированного и технического алюминия различается в 10 раз. На алюминии (и его сплавах) обычно наблюдается точечная коррозия. Поэтому устойчивость алюминия и его сплавов во многих средах определяется не по изменению веса образцов и не по скорости проникновения коррозии, а по изменению механических свойств.

Высокая пластичность алюминия позволяет производить фольгу (толщиной до 0.004 мм), изделия глубокой вытяжкой, использовать его для заклепок.

Алюминий технической чистоты при высоких температурах проявляет хрупкость.

Обрабатываемость резанием очень низкая.

Температура рекристаллизационного отжига 350-400°C, температура отпуска – 150 С.

Трудности сварки алюминия обусловлены 1) наличием прочной инертной окисной пленки, 2) высокой теплопроводности.

Тем не менее алюминий считается хорошо свариваемым металлом. Сварной шов имеет прочность основного металла (в отожженном состоянии) и такие же коррозионные свойства. Подробно о сварке алюминия см., например, [www.weldingsite.com.ua](http://www.weldingsite.com.ua).

## СОЕДИНЕНИЯ МЕДИ

Оксид меди (I)  $\text{Cu}_2\text{O}_3$  и закись меди (I)  $\text{Cu}_2\text{O}$ , как и другие соединения меди

(I) менее устойчивы, чем соединения меди (II). Оксид меди (I), или закись меди  $\text{Cu}_2\text{O}$  в природе встречается в виде минерала куприта. Кроме того, она может быть получена в виде осадка красного оксида меди (I) в результате нагревания раствора соли меди (II) и щелочи в присутствии сильного восстановителя.

Оксид меди (II), или окись меди,  $\text{CuO}$  - черное вещество, встречающееся в природе (например в виде минерала тенерита). Его получают прокаливанием гидроксокарбоната меди (II)  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$  или нитрата меди (II)  $\text{Cu}(\text{NO}_2)_2$ .

Оксид меди (II) хороший окислитель. Гидроксид меди (II)  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  осаждается из растворов солей меди (II) при действии щелочей в виде голубой студенистой массы. Уже при слабом нагревании даже под водой он разлагается, превращаясь в черный оксид меди (II).

Гидроксид меди (II) - очень слабое основание. Поэтому растворы солей меди

(II) в большинстве случаев имеют кислую реакцию, а со слабыми кислотами медь образует основные соли.

Сульфат меди (II)  $\text{CuSO}_4$  в безводном состоянии представляет собой белый порошок, который при поглощении воды синеет. Поэтому он применяется для обнаружения следов влаги в органических жидкостях. Водный раствор сульфата меди имеет характерный сине-голубой цвет. Эта окраска свойственна гидратированным ионам  $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ , поэтому такую же окраску имеют все разбавленные растворы солей меди (II), если только они не содержат каких-либо окрашенных анионов. Из водных растворов сульфат меди кристаллизуется с пятью молекулами воды, образуя прозрачные синие кристаллы медного купороса. Медный купорос применяется для электролитического покрытия металлов медью, для приготовления минеральных красок, а также в качестве исходного вещества при получении других соединений меди. В сельском хозяйстве разбавленный раствор медного купороса применяется для опрыскивания растений и протравливания зерна перед посевом, чтобы уничтожить споры вредных грибков.

*Хлорид меди* образует темно-зеленые кристаллы, легко растворимые в воде. Очень концентрированные растворы хлорида меди имеют зеленый цвет, разбавленные - сине-голубой.

*Нитрат меди* получается при растворении меди в азотной кислоте. При нагревании синие кристаллы нитрата меди сначала теряют воду, а затем легко разлагаются с выделением кислорода и бурого диоксида азота, переходя в оксид меди (II).

*Гидроксокарбонат меди* встречается в природе в виде минерала малахита, имеющего красивый изумрудно-зеленый цвет. Применяется для получения хлорида меди, для приготовления синих и зеленых минеральных красок, а также в пиротехнике.

*Ацетат меди* получается обработкой металлической меди или оксида меди уксусной кислотой. Обычно представляет собой смесь основных солей различного состава и цвета (зеленого и сине-зеленого). Под названием ярь-мединка применяется для приготовления масляной краски.

Комплексные соединения меди образуются в результате соединения двухзарядных ионов меди с молекулами аммиака. Из солей меди получают разнообразные минеральные краски. Все соли меди ядовиты. Поэтому, чтобы избежать образования медных солей, медную посуду покрывают изнутри слоем олова (лудят).

## ***СПЛАВЫ МЕДИ***

Сплавы, повышающие прочность и другие свойства меди, получают введением в нее добавок, таких, как цинк, олово, кремний, свинец, алюминий, марганец, никель. На сплавы идет более 30% меди.

*Латуни - сплавы меди с цинком* (меди от 60 до 90% и цинка от 40 до 10%) - прочнее меди и менее подвержены окислению. При присадке к латуни кремния и свинца повышаются ее антифрикционные качества, при присадке олова, алюминия, марганца и никеля возрастает антикоррозийная стойкость. Листы, литые изделия используются в машиностроении, особенно в химическом, в оптике и приборостроении, в производстве сеток для целлюлознобумажной промышленности.

*Бронзы.* Раньше бронзами называли сплавы меди (80-94%) и олова (20-6%). В настоящее время производят безоловянные бронзы, именуемые по главному вслед за медью компоненту.

- Алюминиевые бронзы содержат 5-11% алюминия, обладают высокими механическими свойствами в сочетании с антикоррозийной стойкостью.

- Свинцовые бронзы, содержащие 25-33% свинца, используют главным образом для изготовления подшипников, работающих при высоких давлениях и больших скоростях скольжения.

- Кремниевые бронзы, содержащие 4-5% кремния, применяют как дешевые заменители оловянных бронз.

- Бериллиевые бронзы, содержащие 1,8-2,3% бериллия, отличаются твердостью после закалки и высокой упругостью. Их применяют для изготовления пружин и пружинящих изделий.

- Кадмиеевые бронзы - сплавы меди с небольшим количества кадмия (до 1%) - используют для изготовления арматуры водопроводных и газовых линий и в машиностроении.

**Припои** - сплавы цветных металлов, применяемые при пайке для получения монолитного паяного шва. Среди твердых припоев известен медносеребряный сплав (44,5-45,5% Ag; 29-31% Cu; остальное - цинк).

## ***ПРИМЕНЕНИЕ МЕДИ***

Медь, ее соединения и сплавы находят широкое применение в различных отраслях промышленности. В электротехнике медь используется

в чистом виде: в производстве кабельных изделий, шин голого и контактного проводов, электрогенераторов, телефонного и телеграфного оборудования и радиоаппаратуры. Из меди изготавливают теплообменники, вакуум-аппараты, трубопроводы. Более 30% меди идет на сплавы. Сплавы меди с другими металлами используют в машиностроении, в автомобильной и тракторной промышленности (радиаторы, подшипники), для изготовления химической аппаратуры.

Высокая вязкость и пластичность металла позволяют применять медь для изготовления разнообразных изделий с очень сложным узором. Проволока из красной меди в отожженном состоянии становится настолько мягкой и пластичной, что из нее без труда можно вить всевозможные шнуры и выгибать самые сложные элементы орнамента. Кроме того, проволока из меди легко спаивается серебряным припоем, хорошо серебрится и золотится. Эти свойства меди делают ее незаменимым материалом при производстве филиграных изделий.

Коэффициент линейного и объемного расширения меди при нагревании приблизительно такой же, как у горячих эмалей, в связи с чем при остывании эмаль хорошо держится на медном изделии, не трескается, не отскакивает. Благодаря этому мастера для производства эмалевых изделий предпочитают медь всем другим металлам.

Как и некоторые другие металлы, медь входит в число жизненно важных микроэлементов. Она участвует в процессе фотосинтеза и усвоении растениями азота, способствует синтезу сахара, белков, крахмала, витаминов. Чаще всего медь вносят в почву в виде пятиводного сульфата - медного купороса. В большом количестве он ядовит, как и многие другие соединения меди, особенно для низших организмов. В малых же дозах медь необходима всему живому.

#### ***Физические и химические свойства:***

Кристаллическая решетка металлической меди кубическая гранецентрированная. Плотность 8,92 г/см<sup>3</sup>, температура плавления 1083,4°C, температура кипения 2567°C. Медь среди всех других металлов обладает одной из самых высоких теплопроводностей и одним из самых низких электрических сопротивлений.

В сухой атмосфере медь практически не изменяется. Во влажном воздухе на поверхности меди в присутствии углекислого газа образуется зеленоватая пленка. Так как в воздухе всегда имеются следы сернистого газа и сероводорода, то в составе поверхностной пленки на металлической меди обычно имеются и сернистые соединения меди. Такая пленка, возникающая с

текением времени на изделиях из меди и ее сплавов, называется *патиной*. Патина предохраняет металл от дальнейшего разрушения. Для создания на художественных предметах «налета старины» на них наносят слой меди, который затем специально патинируется.

При нагревании на воздухе медь тускнеет и в конце концов чернеет из-за образования на поверхности оксидного слоя. Красновато-коричневый оксид меди  $\text{Cu}_2\text{O}$  при растворении в бромо- и иодоводородной кислотах

образует, соответственно, бромид меди  $\text{CuBr}$  и йодид меди  $\text{CuI}$ . При взаимодействии  $\text{Cu}_2\text{O}$  с разбавленной серной кислотой возникают медь и сульфат меди. При нагревании на воздухе или в кислороде  $\text{Cu}_2\text{O}$  окисляется до  $\text{CuO}$ , при нагревании в токе водорода - восстанавливается до свободного металла.

С водородом, азотом, графитом, кремнием медь не реагирует. При контакте с водородом медь становится хрупкой (так называемая «водородная болезнь» меди) из-за растворения водорода в этом металле. В присутствии окислителей, прежде всего кислорода, медь может реагировать с соляной кислотой и разбавленной серной кислотой, но водород при этом не выделяется.

Медь действительно цветной металл: в зависимости от чистоты и состояния поверхности цвет изменяется от розового до красного. Медь плавится при температуре  $1083^\circ\text{C}$ , не имеет полиморфных превращений, её

удельный вес составляет  $8,94\text{г}/\text{см}^3$ . Медь обладает высокой электропроводностью и теплопроводностью, имеет высокие технологические свойства: хорошо паяется, сваривается, легко обрабатывается давлением.

### ***Применение***

Главное применение меди обусловлено ее высокой электропроводимостью. Более половины добываемой меди используется в электротехнике для изготовления различных проводов, кабелей, токопроводящих частей электротехнической аппаратуры. Из-за высокой теплопроводности медь незаменимый материал различных теплообменников

и холодильной аппаратуры. Широко применяется медь в гальванотехнике для нанесения медных покрытий, для получения тонкостенных изделий сложной формы, для изготовления клише в полиграфии и др.

Медные сплавы по технологическим свойствам подразделяются на деформируемые при получении листов, полос, профилей, проволоки и литейные при получении отливок в песчаные или металлические формы. По способности упрочняться в результате нагрева медные сплавы делятся на упрочняемые и не упрочняемые термической обработкой. По химическому составу более широко известно деление медных сплавов на латуни и бронзы. В латунях главным легирующим элементом является цинк ( $\text{Zn}$ ). Латуни получили широкое распространение благодаря сочетанию высоких механических и технологических свойств. Содержание цинка в кристаллической решетке может достигать 39%. Латуни состоящие из меди и цинка называют простыми. Они могут быть однородными (до 39% цинка) и двухфазными (более 39% цинка). Однофазные латуни имеют высокую пластичность, т.к. состоят из

однофазного  $\alpha$ -твёрдого раствора. Двухфазные латуны при наличии  $\beta$ -фазы имеют более высокую прочность, но пластичность при этом снижается. Простые и специальные латуны относятся к деформируемым сплавам и используются как конструкционный материал там, где требуются высокая прочность и коррозионная стойкость: в трубопроводной арматуре, в

химическом машиностроении и особенно в судостроении. Изготавливают из латуней листы, ленту, проволоку, а затем из этого проката – радиаторные трубы, снарядные гильзы, трубопроводы, шайбы, гайки, втулки, уплотнительные кольца, токопроводящие детали электрооборудования. Кроме деформируемых латуней применяются и литейные латуни, которые содержат большое количество добавок для улучшения литейных свойств. Их обозначение отличается от деформируемых латуней. В них содержание компонента указывается после буквы обозначения: ЛЦ40Мц3Ж – содержит 40% цинка, 3% марганца, 1% железа, остальное – медь. Механические свойства литейных латуней существенно зависят от способа получения отливок – песчано-глинистые формы, керамические или кокиль. Из литейных латуней изготавливают паровые и воздушные клапаны, корпуса кранов, пробки топливной и воздушной аппаратуры. Бронзы – это сплавы меди со всеми другими элементами: оловом, алюминием, кремнием, бериллием и др. Бронзы различают по химическому составу и состоянию обработки. В некоторых случаях прочность таким способом может быть повышена до 750 МПа, по сравнению с обычной прочностью двухкомпонентных бронз - 400-500 МПа.

Бронзы называют по наличию легирующего элемента в её ставе: алюминиевые, оловянные, кремнистые, бериллиевые и т.д. Бронзы маркируют «Бр» (бронза) за которыми следуют буквы и цифры, указывающие на название и содержание в % легирующих элементов. Например: Бр ОЦС 4-4-2,5 - 4% олова + 4% цинка + 2,5% свинца, остальное медь. Бр КМц 3-1 - 3% кремния + 1% марганца, остальное медь и т.д. Оловянные бронзы известны ещё в бронзовом веке. Они как и другие сплавы делятся на деформируемые <10% Sn и литейные >10% Sn. В прошлом бронзы получили название в зависимости от их назначения: колокольная (20-30% олова), зеркальная (30-35% олова), монетная (4-10% олова), пушечная (8-18% олова). Оловянные бронзы отличаются хорошими литейными свойствами – малой усадкой. С целью экономии олова в бронзы добавляют цинк в таком количестве, чтобы он полностью растворялся в меди, образуя твёрдый раствор, тем самым повышая механические свойства. Для улучшения обрабатываемости резанием в оловянные бронзы добавляют свинец (БрОБЦ4С17 – олово-6%, цинк – 4%, свинец – 17%, остальное, медь). Литейные оловянные бронзы применяются для пароводяной арматуры, обладая высокой коррозионной стойкостью в воде и на воздухе. Деформируемые оловянные бронзы характеризуются более низким содержанием олова Бр ОЦ4 -3 – олово-4%, цинк-3%, остальное медь и имеют однофазную структуру твёрдого раствора. После холодной обработки давлением бронзы подвергаются отжигу при 600-7000С. Они пластичны и более прочны, чем литейные. Кроме того, деформируемые оловянные бронзы обладают высокими упругими свойствами, поэтому их используют для получения пружин, мембран и др. Алюминиевые бронзы обычно содержат от 5 до 10% алюминия. Механические и коррозионные свойства этих бронз выше, чем у оловянных. Алюминиевые бронзы можно подвергать закалке и старению. Однофазные алюминиевые бронзы (БрА7)

более пластичны, чем двухфазные и относятся к деформируемым. Они обладают высокой прочностью и пластичностью ( $\sigma_b = 400-450 \text{ МПа}$ ,  $\delta = 60\%$ ). Легируют алюминиевые бронзы железом, никелем, марганцем и др. для устранения литейных недостатков и увеличения механических свойств после упрочняющей термической обработки (закалка + старение). Например, у бронзы БрАЖН 10-4-4 твёрдость увеличивается от 1500НВ до 4000НВ, и из неё изготавливают седла клапанов, направляющие втулки, шестерни и др. Кремнистые бронзы содержат до 3% кремния и являются заменителями оловянистых бронз, их дополнительно легируют никелем и марганцем. Обладая высокой упругостью и антикоррозионными свойствами эти бронзы применяются для изготовления упругих элементов различных механизмов. Из бронзы БрКМц 3-1 изготавливаются стопорные и упорные кольца насосов, мембранные датчики давления. Свинцовые бронзы обладают высокими антифрикционными свойствами, хорошей теплопроводностью (Бр С30). Поэтому из этих бронз изготавливают вкладыши подшипников, работающих при больших давлениях и скоростях. Бериллиевые бронзы содержат не более 2,5% бериллия (БрБ2). Бериллий образует с медью твёрдый раствор переменной растворимости и, следовательно, такие бронзы можно подвергать упрочняющей термической обработке (закалка 7800С + старение 3200С). После термической обработки повышаются как прочностные, так и упругие свойства:  $\sigma_b = 1500 \text{ МПа}$ ,  $\tau_{упр.} = 600-740 \text{ МПа}$ . Бериллиевую бронзу применяют в виде пружин в часовых механизмах, электроаппаратуре, в качестве упругих контактов.

Медь относится к самым распространенным цветным металлам. Она обладает высокими антикоррозийными свойствами как при нормальных атмосферных условиях, так в пресной и морской воде и других агрессивных средах. Однако медь не устойчива в аммиаке и сернистых газах.

Медь легко поддаётся обработке давлением и пайкой. Обладая невысокими литейными свойствами, медь тяжело режется и плохо сваривается. На практике медь используется в виде прутков, листов, проволоки, шин и труб. Бескислородная М0 (0,001% O<sub>2</sub>) и раскисленная М1 (0,01% O<sub>2</sub>) медь широко

применяется в электронике, электровакуумной технике, в электротехнической промышленности.

Сплавы, содержащие в своём составе медь, обладают высокими антикоррозийными свойствами, хорошо сопротивляются износу и имеют высокие технические и механические характеристики.

Медь бывает разных марок: М00, М0, М1, М2 и М3. Марки меди определяются чистотой её содержания.

## *Как примеси влияют на свойства меди*

В зависимости от того, как примеси взаимодействуют с медью, они подразделяются на три группы:

- Примеси, которые образуют с медью твёрдые растворы – никель, сурьма, алюминий, цинк, железо, олово и др. Эти примеси оказывают существенное влияние на электропроводность и теплопроводность меди, снижая их. Ввиду

этого в качестве проводников тока используют медь М0 и М1, в состав которых входит не более 0,002 As и 0,002 Sb. Горячая обработка давлением затрудняется, если в ней содержится сурьма.

- Примеси, которые практически не растворяются в меди – висмут, свинец и др. Практически не влияют на электропроводность меди, но затрудняют её обработку давлением.
- Хрупкие химические соединения, образующиеся в примеси меди с серой и кислородом. Кислород, входящий в состав меди, в значительной мере снижает её прочность и уменьшает электропроводимость. Сера способствует улучшению обрабатываемости меди резанием.

## БРОНЗА

Бронзой называется сплав меди с алюминием, кремнием, оловом, бериллием и другими элементами, кроме цинка. Бронзы бывают алюминиевыми, кремниевыми, оловянными, бериллиевыми и т.д. – в зависимости от легирующего элемента.

Маркировка бронзы представляет собой определенную последовательность, начинающуюся с буквосочетания «Бр», после которого указываются легирующие элементы. Легирующие элементы перечисляются, начиная с элемента, который находится в максимальном процентном содержании относительно остальных.

Все бронзы подразделяются на оловянные и безоловянные

## Оловянные бронзы

Оловянные бронзы применяются в химической промышленности и в качестве антифрикционных материалов благодаря высоким антакоррозийным и антифрикционным свойствам.

Легирующие элементы оловянных бронз – фосфор, цинк, никель. Цинк, входящий в состав оловянных бронз в количестве до 10%, служит для того, чтобы стоимость бронз стала меньше. Фосфор и свинец способствуют повышению антифрикционных свойств бронзы и улучшают их обрабатываемость резанием.

Литейные оловянные бронзы применяются:

- Деформированные бронзы - БрОФ6,5-0,4; БрОЦ4-3; БрОЦС4-4-2,5 – используются в качестве пружин, антифрикционных деталей, мембран
  - Литейные бронзы - БрОЗЦ12С5, БрОЗЦ12С5, БрО4Ц4С17 – используются в антифрикционных деталях, арматуре общего назначения
- Безоловянные бронзы – это двойные или многокомпонентные бронзы без олова, в состав которых входя такие элементы как марганец, алюминий, свинец, железо, никель, кремний, бериллий.

Алюминиевые бронзы обладают высокими технологическими и механическими свойствами, коррозийной стойкостью в условиях тропического климата и в морской воде. Для глубокой штамповки на

практике используют однофазные бронзы, двухфазные бронзы применяются в виде фасонного литья и подвергают горячей деформации.

Алюминиевые бронзы, обладая более низкими литейными свойствами в сравнении с оловянными бронзами, способствуют более высокой плотности отливок.

Кремнистые бронзы. Кремний, входящий в состав бронзы (до 3,5%), повышает её пластичность и прочность. В сочетании с марганцем и никелем коррозийные и механические свойства кремнистых бронз повышаются. Они широко применяются при работе в агрессивной среде, для изготовления пружинящих деталей, которые должны работать при температуре до 2500°C. Бериллиевые бронзы обладают высокой прочностью благодаря термической обработке. Для них характерны высокие характеристики упругости, предела текучести и временного сопротивления, устойчивы к коррозии. Применяются

в электронной технике, для пружинящих контактов, мембран, деталей, которые работают на износ.

Свинцовые бронзы представляют собой сплавы, состоящие из включения свинца, который практически не растворяется в меди, и кристаллов меди. Высокие антифрикционные свойства свинцовых бронз позволяют применять их для изготовления деталей, которые работают в условиях больших скоростей и повышенного давления (вкладыши подшипников скольжения). За счёт высокой теплопроводности, свинцовые бронзы БрС30 способствуют отведению теплоты, возникающей при трении.

Бронзы, легированные оловом и никелем, отличаются повышенными коррозийными и механическими свойствами.

Безоловянные бронзы применяются:

- Алюминиевые бронзы - БрАЖ9-4, БрАЖН10-4-4, БрА9Ж3Л, БрА10Ж3Мц2 – применяются для обработки давлением, в качестве деталей химической аппаратуры, арматуры и антифрикционных деталей
- Кремниевые бронзы - БрКМц3-1- применяются в качестве проволоки для пружин, лент, арматуры
- Бериллиевая бронза - БрБ2 – используется как прутки, проволоки для пружин, ленты, полосы
- Свинцовая бронза- БрС30- применяется в антифрикционных деталях

## ЛАТУНЬ

Сплав меди с цинком, процентное содержание цинка в котором составляет от 5 до 45%, называется латунью. Латунь, в состав которой входит 2-20% цинка, называется томпак или красная латунь. Если содержание цинка равно 20-36%, то такая латунь называется жёлтой. Латуни, с более чем 45% цинка в своём составе, применяются крайне редко.

Классификация латуней:

- Простые (двухкомпонентные) – сплавы которые состоят из цинка и меди с незначительными примесями других элементов;

- Специальные (многокомпонентные) латуны в своём составе помимо меди и цинка включают ряд других легирующих элементов.

## Простые латуны

Двухкомпонентные латуны обозначаются заглавной буквой «Л», за которой следует двузначная цифра, определяющая среднее значение процентного содержания меди в сплаве (Л80-латунь, в состав которой входит 80% меди и 20% цинка). Простые латуны легко поддаются обработке давлением. Обычно, они поставляются в виде труб и трубок, отличающихся по форме сечения, в виде лент, полос, проволоки, листов. Для изделий из латуни, обладающих высоким внутренним напряжением, характерно растрескивание, которого можно избежать, если перед длительным хранением провести отжиг при низких температурах (200-300°C).

## Специальные латуны

Многокомпонентные латуны представлены в большей разновидности, чем простые.

Маркировка специальных латуней начинается с заглавной буквы «Л», после которой обозначается последовательность легирующих элементов сплава (за исключением цинка) и их процентное содержание, начиная с преобладающего в сплаве элемента. Количество цинка определяется в соответствии с разницей от 100%.

Легирующие элементы латуни, среди которых основными являются кремний, марганец, свинец алюминий, железо и никель, оказывают существенное влияние на свойства латуней:

- Олово способствует повышению прочности и коррозийной стойкости латуней в морской воде;
- Марганец (особенно сочетаясь с оловом, железом и алюминием), а также никель повышают устойчивость сплава к коррозии и его прочность;
- Свинец, входящий в состав сплава, ухудшает его механические свойства, обеспечивая при этом лёгкость в обработке резанием, поэтому латуны, которые предполагают дальнейшую обработку см помощью станков-автоматов, имеют именно свинец в качестве основного легирующего элемента;

- Содержание кремния в сплавах из латуни негативно сказывается на их прочности и твёрдости. Однако если латуни легированы одновременно свинцом и кремнием, их антифрикционные свойства повышаются, и такие латуни могут заменить более дорогостоящие сплавы (например, оловянные бронзы).

Специальные латуни применяются:

- Деформируемые латуни ЛАЖ60-1-1 применяются в качестве прутков, труб, ЛЖМц59-1-1 и ЛС59-1 в качестве труб, прутков, полос, проволоки

- Литейные латуни ЛЦ40Мц3Ж применяются в деталях, сложных по своей конфигурации, гребных винтах и лопастях и др.; ЛЦ30А3- детали, устойчивые к коррозии; ЛЦ40С нашли применение в арматуре, сепараторах шариковых втулках и др.

### Механические свойства меди

При отрицательных температурах медь имеет более высокие прочностные свойства и более высокую пластичность, чем при температуре 20°C. Признаков холдинголомкости техническая медь не имеет. С понижением температуры увеличивается предел текучести меди и резко возрастает сопротивление пластической деформации. Применение меди

Такие свойства меди, как электропроводность и теплопроводность, обусловили основную область применения меди - электротехническая промышленность, в частности, для изготовления проводов, электродов и т. д. Для этой цели применяется чистый металл (99,98-99,999%), прошедший электролитическое рафинирование. Медь обладает многочисленными уникальными свойствами: устойчивостью к коррозии, хорошей технологичностью, достаточно долгим сроком службы, прекрасно сочетается

с деревом, природным камнем, кирпичом и стеклом. Благодаря своим уникальным свойствам, с древнейших времен этот металл используется в строительстве: для кровли, украшения фасадов зданий. Срок службы медных строительных конструкций исчисляется сотнями лет. Кроме этого, из меди изготовлены детали химической аппаратуры и инструмент для работы с взрывоопасными или легковоспламеняющимися веществами. Очень важная область применения меди - производство сплавов. Один из самых полезных и наиболее употребляемых сплавов - латунь (или желтая медь). Ее главные составные части: медь и цинк. Добавки других элементов позволяют получать латуни с самыми разнообразными свойствами. Латунь тверже меди, она ковкая и вязкая, потому легко прокатывается в тонкие листы или выштампывается в самые разнообразные формы. Одна беда: она со временем чернеет. С древнейших времен известна бронза. Интересно, что бронза более легкоплавка по сравнению с медью, но по своей твердости превосходит отдельно взятые чистые медь и олово. Если еще 30-40 лет назад бронзой называли только сплавы меди с оловом, то сегодня уже известны алюминиевые, свинцовые, кремниевые, марганцевые, бериллиевые, кадмевые, хромовые, циркониевые бронзы. Медные сплавы, так же как и чистая медь, с давних пор используются для производства различных орудий, посуды, применяются в архитектуре и искусстве. Медные чеканки и бронзовые статуи украшали жилище людей с древних времен. До наших дней

сохранились изделия из бронзы мастеров Древнего Египта, Греции, Китая. Большиими мастерами в области бронзового литья были японцы. Гигантская фигура Будды в храме Тодайдзи, созданная в VIII веке, весит более 400 тонн. Чтобы отлить такую статую, требовалось поистине выдающееся мастерство.

Медь — основной материал для проводов; свыше 50 % добываемой Меди применяют в электротехнической промышленности. Все примеси понижают электропроводность Меди, а потому в электротехнике используют металл высших сортов, содержащий не менее 99,9 % Cu . Высокие теплопроводность и сопротивление коррозии позволяют изготавливать из Меди ответственные детали теплообменников, холодильников, вакуумных аппаратов и т. п. Около 30—40 % Меди используют в виде различных сплавов, среди которых наибольшее значение имеют латуни (от 0 до 50 % Zn ) и различные виды бронз; оловянистые, алюминиевые, свинцовистые, бериллиевые. Кроме нужд тяжёлой промышленности, связи, транспорта, некоторое количество Меди (главным образом в виде солей) потребляется для приготовления минеральных пигментов, борьбы с вредителями и болезнями растений, в качестве микроудобрений, катализаторов окислительных процессов, а также в кожевенной и меховой промышленности и при производстве искусственного шёлка.

Технически чистую медь поставляют или в виде катодных листов, или в виде полуфабрикатов-слитков, предназначенных для дальнейшего передела прокаткой. Поставляют также и готовые медные изделия, полученные литьем (отливки разной формы и назначения) и обработкой давлением - проволоку, листы, ленты, полосы и др.

Наибольшее распространение получили медные сплавы двух типов латунь и бронза.

Более половины добываемой меди используется в электротехнике для изготовления различных проводов, кабелей, токопроводящих частей электротехнической аппаратуры. Из-за высокой теплопроводности медь — незаменимый материал различных теплообменников и холодильной аппаратуры. Широко применяется медь в гальванотехнике — для нанесения медных покрытий, для получения тонкостенных изделий сложной формы, для изготовления клише в полиграфии и др.

Широко распространено использование меди в качестве кровельного и облицовочного материала. Благодаря своей пластичности медь идеально подходит в качестве кровельного покрытия для крыш любой архитектурной сложности. Защитная оксидная пленка (патина) надежно предохраняет медную кровлю от коррозии. Металл обладает замечательными декоративными свойствами. С течением времени медная кровля (как и любое другое изделие из меди) меняет свой цвет и из золотисто-красной становится малахитово-зеленой.

Из меди делают ювелирные украшения, посуду и различную домашнюю утварь, декоративные элементы интерьера. Медь – достаточно мягкий материал, поэтому его легко обрабатывать. Это позволяет мастерам добиваться разнообразия фактур и тщательности проработки деталей. Медь нередко золотят, патинируют, тонируют, украшают эмалью.

Контрольные вопросы:

1. Показатели механических свойств металлов (перечислить, дать понятия).
2. Свойства чугуна.
3. Свойства железа.
4. Дать понятие химико-термическая обработка металлов.
5. Дать понятие *легированные стали*.
6. Охарактеризовать сплавы алюминия.
7. Охарактеризовать сплавы меди.
8. Охарактеризовать серебро.
9. Охарактеризовать медь.
10. Охарактеризовать алюминий.
11. Перечислить материалы с большим удельным сопротивлением.
12. Показать их применение и охарактеризовать.
13. Показать структурные схемы всех групп конструкционных материалов.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

**Тема: Исследование схемы возникновения термо-ЭДС** **Задание:**

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

### Термопары

Термопары - это термоэлектрические контактные датчики, которые состоят из двух разных по физическим свойствам проводников и соединений этих проводников (пар). Термопары не требуют внешнего источника питания и сами вырабатывают напряжение в зависимости от изменения температуры. Это надежные и недорогие датчики температуры, широко используемые в различных измерительных системах. Термопары являются единственными температурными датчиками, позволяющими измерять сверхвысокие температуры (до  $+2300^{\circ}\text{C}$ ). Кроме того, термопары имеют высокую линейность и точность измерений. Принцип действия термопары основан на явлении возникновения контактной разности потенциалов при соприкосновении двух различных металлов. Причиной этого являются неодинаковые значения работ выхода электронов и различные значения концентрации свободных электронов в соприкасающихся металлах. 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. 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  $2300^{\circ}\text{C}$ , и в области низких температур до  $-200^{\circ}\text{C}$ .



Рис.1. Термопара

Схемы подключения термопар к измерительному прибору показаны на рис.2. В реальной практике в большинстве случаев используют вторую схему, где измерительный прибор включается в разрыв одного из термоэлектродов. Подобное подключение позволяет компенсировать ненужную 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 возникнуть дополнительная нескомпенсированная термоЭДС, влияющая на результаты измерения. Термопара на основе такой схемы подключения называется дифференциальной. 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 (рис.3) для поддержания их температуры, равной  $0^{\circ}\text{C}$  (отсюда появилось название «холодные спаи»), но это очень неудобно, а для многих практических схем и вовсе невозможно. Сейчас обычно температура холодного спая контролируется дополнительным детектором (например, терморезистором).

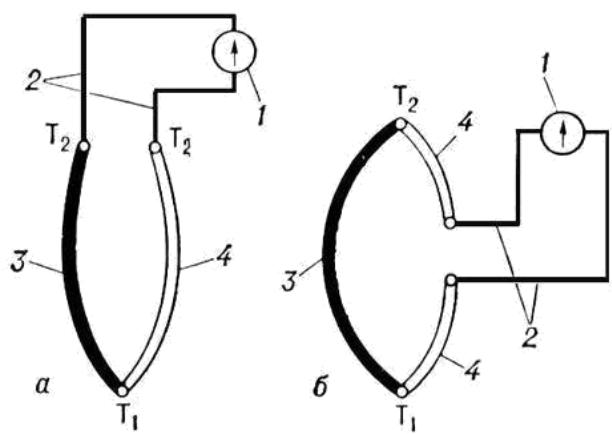


Рис.2 Способы подключения термопары

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

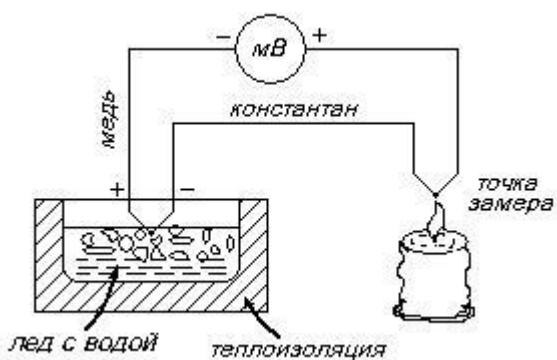
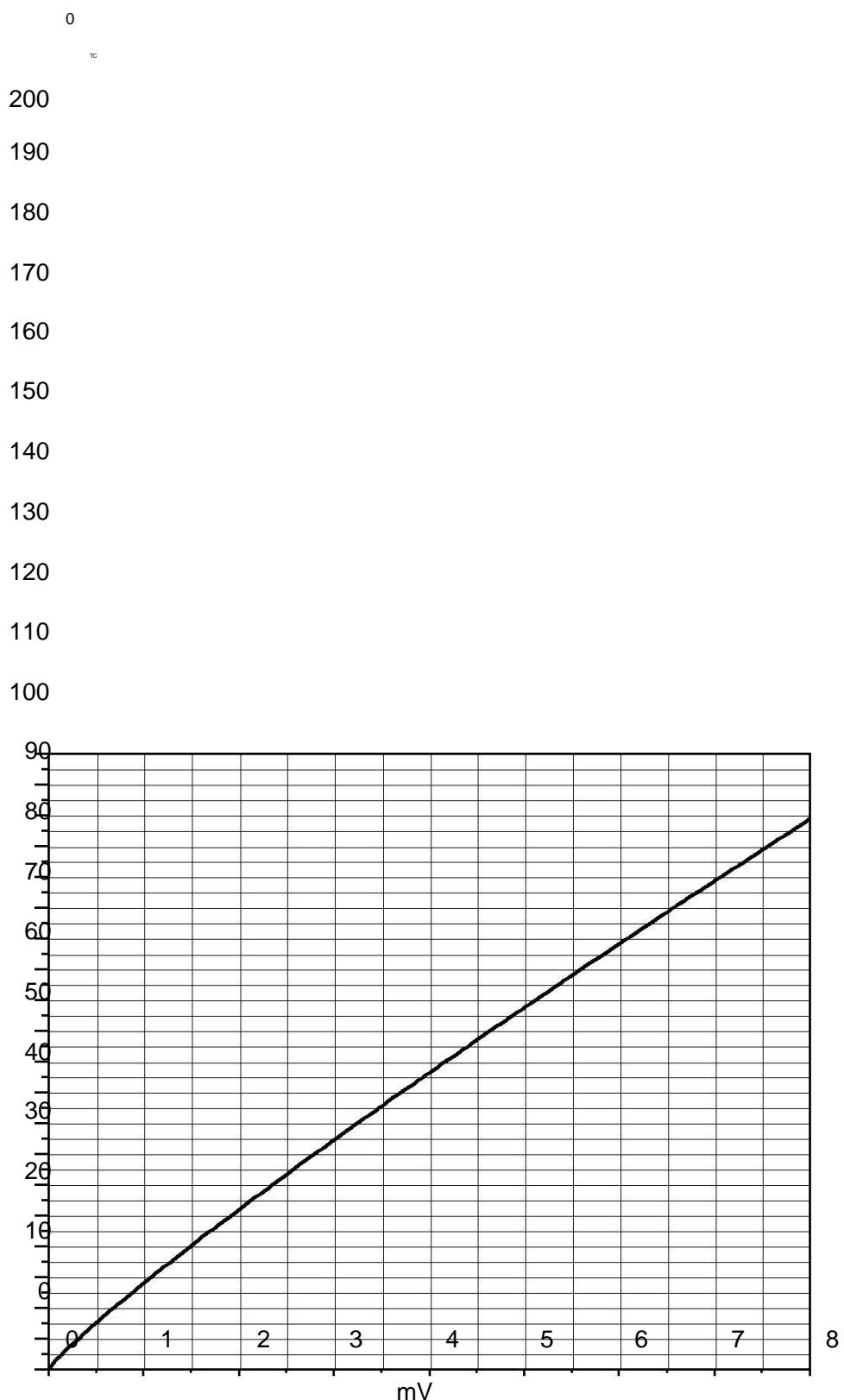


Рис.3 Схема дифференциальной термопары

Рис. 4. Градуировочный график медь-константановой термопары



## Материалы для термопар

**Термопара** – два различных проводника, один конец которых спаян и помещен в место измерения температуры (горячий контакт), а свободные концы помещены в термостат (холодный контакт). Термопары служат

датчиками для измерения температуры. **Компенсационные провода** – термопарная проволока, которая служит для

передачи термо-ЭДС от свободных концов термопары к измерительным устройствам. В качестве компенсационных проводов используется более дешевая термопарная проволока с не столь строго контролируемыми параметрами.

Свойства сплавов:

**Алюмель** имеет удельное электрическое сопротивление  $3,2 \cdot 10^{-8}$  Ом·м, температурный коэффициент линейного расширения  $13,7 \cdot 10^{-6}$   $^{\circ}\text{C}^{-1}$ , плотность 8480 кг/м<sup>3</sup>, температуру плавления 1430-1450  $^{\circ}\text{C}$ .

**Копель** имеет плотность 8900 кг/м<sup>3</sup>, температуру плавления 1220-1290  $^{\circ}\text{C}$ , температурный коэффициент линейного расширения  $14 \cdot 10^{-6}$   $^{\circ}\text{C}^{-1}$ , удельное электрическое сопротивление 0,5 мкОм·м, жаростоек до 600  $^{\circ}\text{C}$ .

**Хромель** обладает плотностью 8710 кг/м<sup>3</sup>, температура плавления 1400-1500  $^{\circ}\text{C}$ , температурный коэффициент линейного расширения  $12,8 \cdot 10^{-6}$   $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ,

удельное электрическое сопротивление 0,66 мкОм·м, отличается большой жаростойкостью.

**Константан** имеет высокое удельное электрическое сопротивление (около 0,5 мкОм·м), низкое значение термического коэффициента электрического сопротивления, температурный коэффициент линейного расширения  $14,4 \cdot 10^{-6}$   $^{\circ}\text{C}^{-1}$

плотность константана  $8800-8900 \text{ кг/м}^3$ , температура плавления около  $1260 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для константана характерна высокая термо-ЭДС в паре с медью, железом, хромелем и низкая термо-ЭДС по отношению к меди.

Небольшие изменения состава сплава могут привести к значительным изменениям термо-ЭДС. Однако это не лимитирует точности измерений, если только термопара не используется без предварительной градуировки.

Термопары можно применять для измерения следующих температур: платинародий – платина до  $1600 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; медь – константан и медь – копель до  $350 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; железо – константан, железо – копель и хромель – копель до  $600 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; хромель – алюмель до  $900-1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Из применяемых в практике термопар наибольшую термо-ЭДС при данной разности температур имеет термопара хромель – копель.

Большинство термопар устойчиво работает лишь в безокислительной среде. В процессе длительной эксплуатации в окислительной среде может наблюдаться постепенное изменение удельной термо-ЭДС. Причинами нестабильности являются загрязнения примесями из окружающей атмосферы, летучесть компонентов, окисление проволок, резкие перегибы и деформации, которые вносят внутренние напряжения и создают физическую неоднородность. Наиболее высокой точностью, стабильностью и воспроизводимостью обладают платинородиевые термопары, несмотря на малую удельную термо-ЭДС. Эти качества объясняются химической инертностью материала и возможностью получать его с высокой степенью чистоты.

Контрольные вопросы:

1. Охарактеризовать проводниковые материалы.

2. Показать схематически и пояснить появление термодвижущей силы.
3. Начертите схему подключения термопар к измерительному прибору.
4. Перечислите материалы для термопар.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

### Тема: Изучение электрических материалов

#### Задание:

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

При изготовлении реостатов и нагревательных элементов используют сплавы с высоким удельным сопротивлением. Материалами высокого сопротивления (резистивными) называют проводниковые материалы, у которых значения  $\rho$  в нормальных условиях составляют не менее  $0,3 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ . По области применения резистивные материалы разделяют на три основные группы:

- 1) материалы для резисторов (медные, медно-никелевые, никелевые, никель-хромовые; пленочные, проволочные, углеродистые);
- 2) материалы для электродов термопар и удлиняющих проводов (сплавы на основе Ni, Pt систем, Cu-Ni, Pt-Rh, W-Re; неметаллические порошковые материалы);
- 3) материалы для нагревателей (сплавы на основе систем Ni-Cr, Fe-Cr-Al, порошковые керамические материалы).

В зависимости от области применения к резистивным материалам предъявляют дополнительные требования, например, по температурному коэффициенту электрического сопротивления  $\alpha_\rho$ , жаростойкости и др.

При использовании сплавов в электроизмерительной технике от них требуется не только высокое удельное сопротивление, но и возможно меньшее значение  $\alpha_\rho$  а также малая термо-Э.Д.С. относительно меди. Проводниковые материалы в электронагревательных приборах должны длительно работать на воздухе при температурах порядка  $1000^\circ\text{C}$ .

#### Материалы для резисторов (резистивные материалы общего назначения).

Основные требования к материалам для резисторов: низкий температурный коэффициент электрического сопротивления, низкая термоэлектродвижущая сила в паре с медью, высокая стабильность электрического сопротивления во времени. Различают сплавы для проволочных, ленточных резисторов и материалы для непроволочных резисторов (пленочные, углеродистые).

Резистивные материалы общего назначения широко используют в приборостроении, электротехнике для изготовления технических резисторов (регулирующие и пусковые реостаты, нагрузочные элементы), для прецизионных резисторов (образцовые сопротивления, различные элементы электроизмерительных приборов, катушки сопротивления, шунты, обмотки потенциометров).

**Манганин** – основной сплав на медной основе для электроизмерительных приборов и образцовых резисторов. Манганин отличается желтоватым оттенком, хорошо вытягивается в тонкую проволоку

до диаметра 0,02 мм. Из манганина изготавливают также ленту толщиной 0,01 – 1 мм и шириной 10 – 300 мм. Для получения малого  $\alpha_\rho$  и высокой стабильности сопротивления во времени манганин подвергают специальной термической обработке – отжигу при 350 – 550°C в вакууме с последующим медленным охлаждением и дополнительной длительной выдержкой при комнатной температуре.

**Константан** – сплав меди и никеля с небольшим содержанием марганца. Содержание никеля в сплаве примерно соответствует максимуму  $\rho$

и минимуму  $\alpha_\rho$  для сплавов Cu-Ni. Константан хорошо поддается обработке; его можно протягивать в проволоку и прокатывать в ленту тех же размеров, что и из манганина. Значение  $\alpha_\rho$  константана близко к нулю и обычно имеет отрицательный знак.

Константан применяют для изготовления реостатов и электронагревательных элементов в тех случаях, когда рабочая температура не превышает 400-450°C. При нагреве до достаточно высокой температуры на поверхности константана образуется пленка окисла, которая обладает электроизоляционными свойствами (оксидная изоляция). Покрытую такой изоляцией константановую проволоку можно наматывать плотно, виток к витку, без особой изоляции между витками, если только напряжение между соседними витками не превышает 1В. Таким образом, например, изготавливают реостаты. Для окисления константановой проволоки, дающей достаточно гибкую и прочную плёнку окисла, требуется быстрый (не более 3с) нагрев проволоки до температуры 900°C с последующим охлаждением на воздухе.

Константан в паре с медью или железом приобретает большую термо - Э.д.с. Это является недостатком при использовании константановых резисторов в измерительных схемах; за счет разности температур в местах контакта константановых проводников с медными возникают термо -Э.д.с., которые могут явиться источником ошибок, особенно при нулевых измерениях в мостовых и потенциометрических схемах. Константан с успехом применяют для изготовления термопар, которые служат для измерения температуры, если она не превышает нескольких сотен градусов.

**Непроволочные резисторы** подразделяют на пленочные металлические и пленочные на основе оксидов, силицидов, карбидов, а также неметаллические – углеродистые. Непроволочные резисторы широко применяют в автоматике, измерительной и вычислительной технике, в различных областях электротехники.

***Резистивные металлические пленки.*** Металлические пленки применяют для изготовления тонкопленочных резисторов и обкладок тонкопленочных конденсаторов, а также для создания токопроводящих дорожек и контактных площадок в интегральных микросхемах.

Тонкопленочные резисторы (ТПР) представляют собой тонкую пленку резистивного материала на поверхности диэлектрической подложки. ТПР относительно нечувствительны к шероховатости поверхности до тех пор,

пока она не превышает толщины пленки. Материалами для подложек, используемых для этой цели, являются: стекла, полированный плавленый кварц, керамика и монокристаллические пластины.

Тонкопленочные резисторы могут быть изготовлены путем напыления жидкого металла через трафарет, электрическим осаждением, испарением в вакууме и некоторыми другими способами. Для этих целей применяются различные металлы и их сплавы.

**Пленки из оксидов, силицидов и карбидов.** Для изготовления тонкопленочных резисторов широко используются металлосилицидные сплавы и дисилициды металлов: устойчивы к окислению и воздействию химически активных сред. С целью расширения диапазона сопротивлений по сравнению с получаемыми из металлов и сплавов используют керметы.

**КЕРМÉ ТЫ** (сокр. от «керамикометаллические материалы») – металлокерамические материалы, представляющие собой гетерогенную композицию одной или нескольких керамических фаз с металлами или сплавами, с относительно малой взаимной растворимостью фаз. Керметы сочетают свойства керамики (высокие твердость и сопротивление износу, тугоплавкость, жаропрочность и др.) и металлов (теплопроводность, пластичность), т.е. обладают комплексом свойств, интегрирующим характеристики нескольких компонентов.

Микроструктура керметов может представлять собой:

- керамическую матрицу, внутри которой расположены металлические включения;
- металлическую матрицу с изолированными между собой керамическими частицами;
- два равноправных каркаса из металла и керамики;
- статистическую смесь керамических и металлических частиц.

Области применения керметов очень широки и разнообразны. В электро- и радиотехнике для изготовления тонкопленочных резисторов используются керметные пленки. Существенным преимуществом керметных пленок является возможность варьирования их удельным сопротивлением в широких пределах. Тонкие пленки на основе микрокомпозиции Cr-SiO<sub>2</sub>

изготавливают методом термического испарения и конденсации в вакууме с последующей термообработкой для стабилизации свойств.

В толстопленочных микросхемах используют резисторы, полученные на основе композиции стекла с палладием и серебром. Для этой цели стекло размалывают в порошок, смешивают с порошком серебра и палладия, вспомогательной органической связкой и растворителем. Получаемую пасту наносят на керамическую подложку и спекают в обычной атмосфере. Удельное сопротивление пленок зависит от процентного содержания проводящих компонентов и режима спекания.

**Углеродные резистивные материалы.** Вторым по значению резистивным материалом является графит. **Графит** – одна из кристаллических модификаций углерода. Это непрозрачный, мягкий, электропроводный материал. Графит сочетает высокие жаропрочность и кислотостойкость, электропроводность и теплопроводность. Максимальная рабочая температура графита различных марок в инертной среде и вакууме составляет от 1000 до 2500 °С.

Помимо чистого углерода известно много модификаций технического углерода. Их физические характеристики также сильно меняются в зависимости от структуры и от количества разнообразных примесей. В основе их лежит структура графита, поэтому технические углероды можно считать и техническими графитами. Из них отметим сажу, кокс, коллоидный графит, силицированный графит. Сажа характеризуется очень малым размером частиц, до десятков ангстрем. Используется как наполнитель для резин, полимеров, электропроводных композиций. Взвесь порошка графита в воде называется «аквадаг» и используется для создания электропроводящих покрытий.

Тот факт, что графит имеет повышенное удельное сопротивление по сравнению с металлами, позволяет применять его в промышленности для создания различных сопротивлений. Начиная с пленочных сопротивлений в радиоэлектронике, графитовой бумаги и графитовой ткани и заканчивая композиционными материалами, где частицы графита выступают в роли проводящего наполнителя.

## Материалы для электронагревателей

Общие требования к сплавам для электронагревательных элементов: высокая жаростойкость, высокое электрическое сопротивление в сочетании с низким температурным коэффициентом сопротивления, пластичность для промышленного получения изделий различного сортамента (проката, проволоки, ленты) и нагревателей.

Количество выделенной теплоты прямо пропорционально квадрату силы тока, времени прохождения тока и величине сопротивления проводника. Следовательно, для изготовления электронагревателей должны использоваться материалы с высоким электрическим сопротивлением. К таким материалам, кроме того, обеспечивающим

высокотемпературный нагрев до 500-800°C, относят хромоникелевые и железохромоалюминиевые сплавы.

Среди большого количества материалов для указанных целей наиболее распространенными в практике являются сплавы на медной основе -

манганин и константан, а также хромоникелевые и железохромоалюминиевые сплавы.

**Хромоникелевые сплавы** (нихромы) обладают высоким удельным сопротивлением, теплостойкостью, пластичностью, хорошей механической прочностью и низкой окисляемостью, выдерживают большой перепад температур, а поэтому являются лучшими для этих целей материалами. Хромоникелевые сплавы используют для изготовления нагревательных элементов электрических печей, плиток, паяльников и т. д. Из этих сплавов изготавливают проволоку диаметром 0,02 мм и более и ленту сечением 0,1 х 1,0 мм и более. Высокую жаростойкость никрома можно объяснить значительной стойкостью этого сплава к прогрессирующему окислению на воздухе при высоких температурах.

Скорость окисления металлов в значительной степени зависит от свойств образующегося окисла. Если окисел летуч, то он удаляется с поверхности металла и не может защитить оставшийся металл от дальнейшего окисления. Так, окислы вольфрама и молибдена легко улетучиваются, а потому эти металлы не могут эксплуатироваться в накаленном состоянии при доступе кислорода. Если же окисел металла не летуч, то он образует слой на поверхности металла.

Стойкость хромоникелевых сплавов при высокой температуре на воздухе объясняется близкими значениями температурных коэффициентов линейного расширения сплавов и их окисных пленок. Поэтому последние не растрескиваются и не отделяются от проволоки при ее нагревании и расширении. Однако хотя температурные коэффициенты расширения сплава

и окислов хрома и никеля близки, они не одинаковы. Вследствие этого при резких изменениях температуры может происходить растрескивание слоя окислов; при последующем нагреве кислород проникает в трещины и происходит дополнительное окисление сплава. Следовательно, при многократном кратковременном включении быстро нагревательный элемент из хромоникелевого сплава может перегореть скорее чем в случае непрерывного режима нагрева (температура нагрева одна и та же в обоих сравниваемых случаях срок службы может отличаться в 20-30 раз). Срок службы нагревательных элементов можно увеличить, если заделать спирали в твёрдую инертную среду типа глины-шамота, предохраняющую от механических воздействий и затрудняющую доступ кислорода.

**Железохромоалюминиевые сплавы.** Существует еще целый класс сплавов, называемых фехралями или ферохромалями, не содержащих ни одного процента никеля, их основа - железо. Так как удельное сопротивление железа выше, чем никеля, то и удельное сопротивление сплава, где процент никеля заменяется железом, будет выше. Более высокое сопротивление позволяет экономить на количестве применяемого материала. К тому же и плотность железа меньше, чем у никеля, значит – дополнительная экономия на весе (от 5 до 7%).

Но есть и негативные последствия этой замены. Фехрали более ломки чем никром, что важно для проволок. Спирали из них можно навивать только в нагретом состоянии – не менее 300°C. Поверхностный окисел, образующийся у сплавов с применением железа, имеет гораздо более

высокое удельное сопротивление по сравнению с никромом. Это становится значительной проблемой при применении тонких проволок и лент. Рекристаллизационный порог фехралей находится в районе 600–650°C, существенно ограничивая количество возможных циклов включения-выключения нагревательных элементов до их разрушения.

Можно сказать, что эти сплавы нашли разную направленность применения в качестве нагревательных элементов. Фехраль незаменима для достижения температур до 1400°C, X20H80 применяется вплоть до 1200°C и имеет температуру плавления 1400°C. Фехраль более устойчива в серосодержащей атмосфере, чем никромовая проволока и лента. Замена никеля на железо означает сокращение возможных циклов включений-выключений при преодолении барьера в 600°C. Никель от того и дорог, что его невозможно заменить железом. Это относиться ко всем никромам и фехралям без исключения. Частое желание сэкономить на исходном материале оборачивается серьезными затратами при частой замене нагревательных элементов, работающих вне своих технологических режимов.

Контрольные вопросы:

Охарактеризовать проводниковые материалы.

Перечислить материалы с большим удельным сопротивлением, показать их применение и охарактеризовать.