



«Электроматериаловедение»

Лабораторная работа №4

Доцент Дощечкина И.В.
Доцент Лалазарова Н.А.

Lab_4_elektromat_2PE_LNA_06-04-2015

Лабораторная работа №4

СТРУКТУРА, СВОЙСТВА И ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы - изучить структуру, сопоставить свойства разных проводниковых материалов и решить задачи их практического использования для конкретного изделия.

Приборы и материалы:

1. Металлографический микроскоп.
2. Набор шлифов металлических проводниковых материалов.
3. Твердомер Роквелла.
4. Двойные диаграммы состояния сплавов меди и алюминия с другими компонентами.
5. Диаграммы М.С.Курнакова «состав – свойства»



Теоретические сведения

В электротехнике чаще всего используют твердые проводниковые материалы - металлы и сплавы. По величине удельного электросопротивления (ρ) металлические проводниковые материалы разделяют на две группы:

1 — материалы высокой проводимости (ρ при нормальных условиях не более $0,05 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$);



2 — материалы повышенного электросопротивления (ρ не менее $0,3 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$). С повышением температуры ρ проводниковых материалов увеличивается.

Проводниковые материалы 1-й группы (высокой проводимости) применяют в электротехнике, приборостроении для изготовления обмоточных и монтажных проводов, разного рода токоведущих деталей.

Теоретические сведения

Эти материалы должны иметь **свойства**: малое удельное электрическое сопротивление, достаточную прочность, высокую пластичность, которая обуславливает их технологичность, коррозионную стойкость и в некоторых случаях - высокую износостойкость.

Кроме того, металл должен **хорошо свариваться** и **поддаваться пайке** для получения соединений высокой надежности и высокой электрической проводимости.



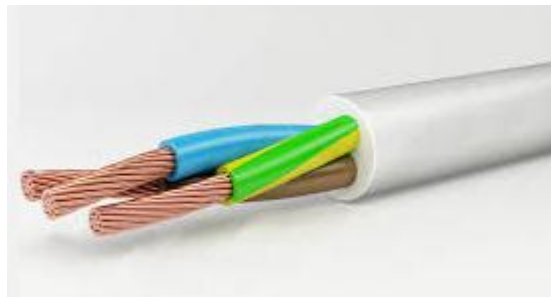
Из материалов высокой проводимости наибольшее практическое значение имеют **медь** и **алюминий**.

Если необходимо иметь очень малое удельное электросопротивление, то используют металлы с минимальным содержанием примесей и в отожжённом состоянии, чтобы обеспечить наименьшее количество дефектов кристаллического строения.

Медь. Маркировка

Медь имеет плотность $8,93 \text{ г/см}^3$, температуру плавления 1083°C . Для электротехнических целей используют медь марок М00б (бескислородная), М00к (катодная), М0к, М1к, М1б, М1у (катодная переплавленная) и М1.

Цифры 00,0 и 1 указывают процент меди - соответственно 99,99 - 99,9 % масс.



Наибольшую электропроводность, которая уступает только серебру, имеет бескислородная электролитическая очищенная медь после вакуумной переплавки марки М00б, у которой $\rho=0,0172 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$.

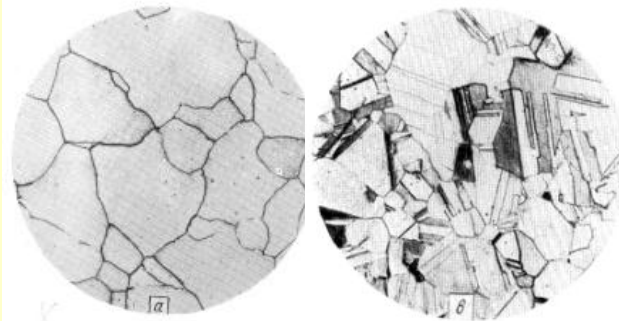
Такая медь содержит примесей не более 0,01 %. Все приведенные марки меди используют в виде проката: проводов разного диаметра (0,02...9,5 мм), шин, прутков, полос, лент.

Медь мягкая и твёрдая



Прокат из меди поставляют либо в отожжённом (мягкая медь ММ), либо в нагартованном (твердая медь МТ) состоянии. Отожжённая мягкая медь имеет более высокую электрическую проводимость и пластичность, нагартованная твердая медь - большую твердость и прочность, меньшую проводимость и пластичность.

Температурный коэффициент электросопротивления (α_p) у твердой и мягкой меди практически одинаковый.



а

б

Литая (а) и отожжённая (б) медь ММ1

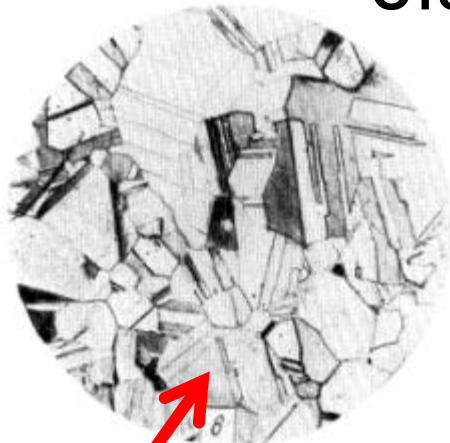
Наибольшую электропроводность, которая уступает только серебру, имеет бескислородная электролитическая очищенная медь после вакуумной переплавки марки М00б, у которой $\rho=0,0172$ мкОм·м.

Такая медь содержит примесей не более 0,01 %. Все отмеченные марки меди используют в виде проката: проводов разного диаметра (0,02....9,5 мм), шин, прутков, полос, лент.

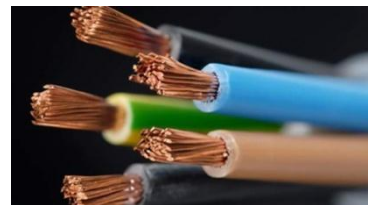
Электрические и механические свойства меди М1

Состояние меди	ρ , мкОм·м	$TK_{\rho} 10^4, ^\circ\text{C}^{-1}$	σ_B , МПа	δ , %
ММ (отожжённая медь)	0,0172	43	260...290	20...35
МТ (нагартованная медь)	0,0182	42	360...450	0,5...4

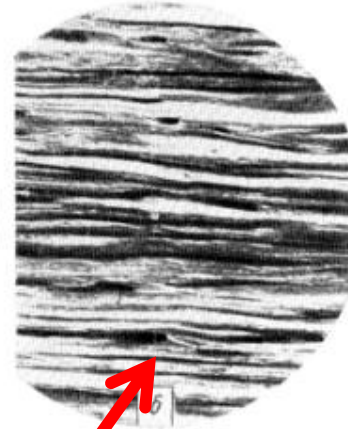
Отожжённая медь ММ1



Зёрна меди

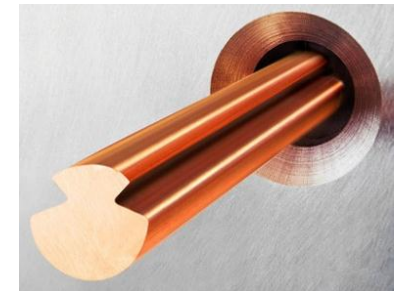


Медные жилы



Текстура

Деформированная медь МТ1



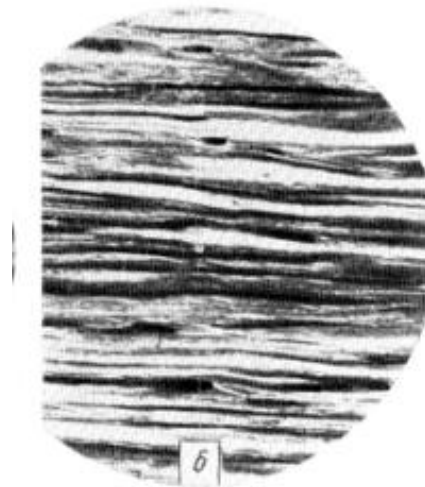
Контактный провод

Медь - применение



Свойства определяют область применения мягкой и твердой меди. **Мягкую медь** используют главным образом в виде проволоки разного сечения и формы для обмоточных и монтажных проводов, токопроводящих жил кабелей.

Ленточной мягкой медью экранируют радиочастотные кабели. **Твердую медь** применяют там, где необходима высокая прочность, твердость и износостойкость:



Деформированная медь МТ1

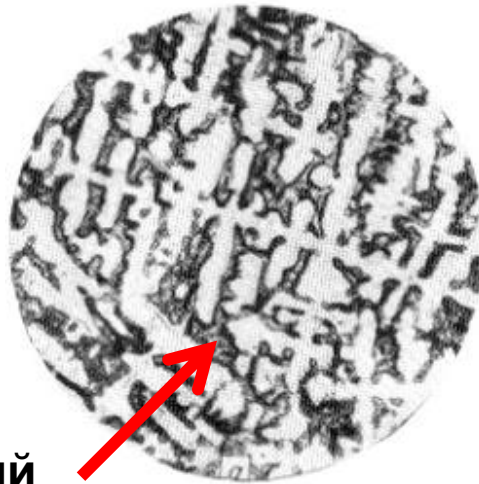
для контактных проводов, шин распределительных устройств, пластин коллекторов электрических машин, проводов подвесных воздушных линий электропередач и связи.

Изделия, от которых требуют более высоких механических свойств изготавливают из сплавов на основе меди - бронз и латуней, как в отожжённом (мягком), так и в нагартованном (твердом) состоянии.

Бронзы

Из бериллиевой **БрБ2** (1,8...2 % Be) и оловянно-цинковой БрОЦ 4-3 (3,5...4% Sn % и 2,5...3 % Zn) бронз изготавливают токоведущие пружины, мембраны, контакты, щеткодержатели, зажимы, штепсельные разъемы.

Для скользящих контактов, коллекторных пластин ответственного назначения, а также для токопроводящих деталей,



которые работают в условиях изнаса, используют кадмиевую бронзу БрКд1 (0,9... 1,0 % Cd).

Дендриты - пересыщенный твёрдый раствор Be в Cu

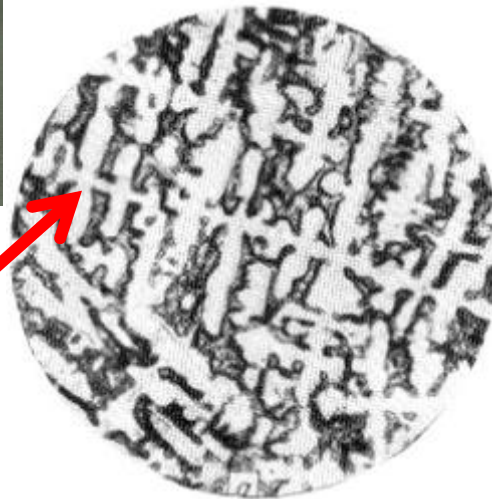
Бериллиевая бронза БрБ2

У **латуни** электрическая проводимость ниже, чем у бронзы, но она имеет более высокую коррозионную стойкость, упругость и более технологичны, в электротехнике чаще применяют простые (которые содержат лишь Cu и Zn до 39 %) однофазные латуни со структурой α -твердого раствора.

Электрические и механические свойства бронзы

Материал	ρ , мкОм·м	$TK\rho \cdot 10^4$, $^{\circ}\text{C}^{-1}$	σ_B , МПа	δ , %
БрБ2	0,0476	370	1300	1

Бериллиевая бронза хорошо сваривается, поддаётся обработке резанием и давлением. Из неё изготавливают пружинящие контакты и токоведущие пружины.



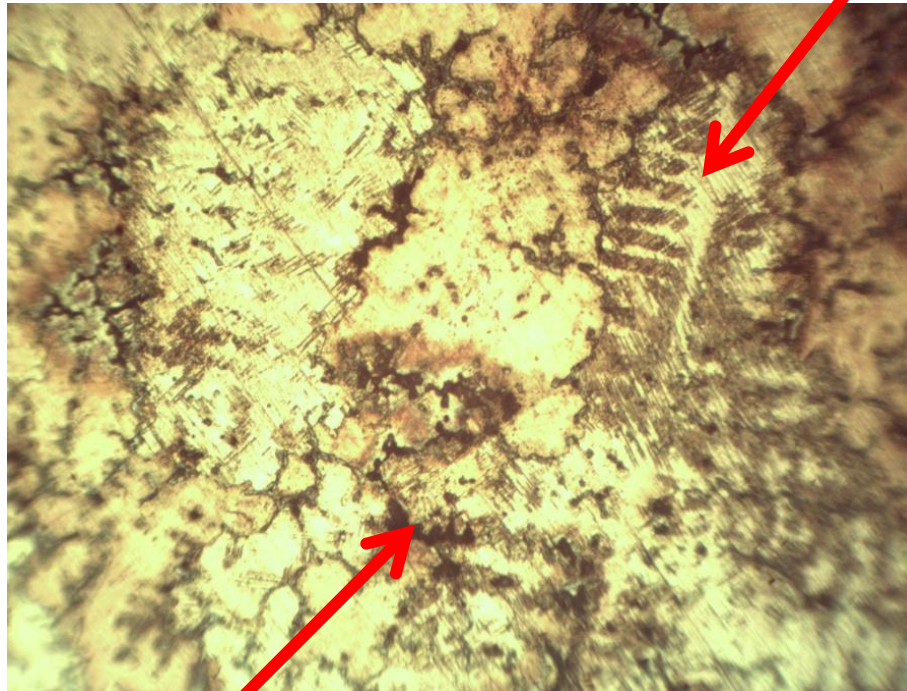
Дендриты – пересыщенный твёрдый раствор Be в Cu

Бериллиевая
бронза БрБ2



Оловянная бронза Бр06 (6% Sn, ост. - Cu)

α – тв. р-р, обеднённый Sn



α – тв. р-р, обогащённый Sn

**Изготавливают пластины коллекторов,
контакты.**

Латуни

Латуни сочетают достаточную прочность ($\sigma_v = 260-300$ МПа) с высокой пластичностью ($\delta = 38...55\%$). Эти сплавы **хорошо деформируются** в холодном состоянии, что и позволяет большинство деталей изготавливать штамповкой.

Латуни производят в виде провода, листов, полос, лент как в мягком (отожжённом), так и в твердом (нагартованном) состоянии (σ_v повышается до $450...600$ МПа). Хорошо поддается ОМД.

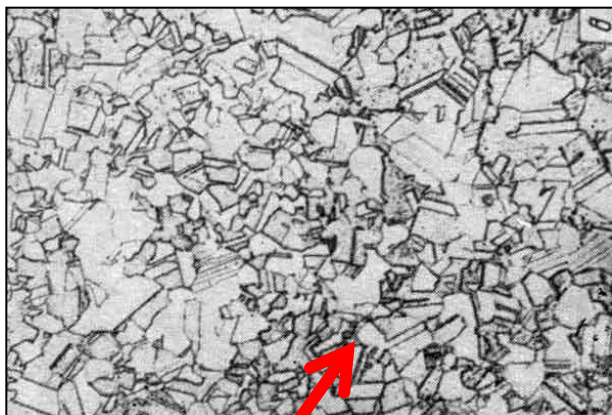


Из латуней **Л69, Л72 и Л80** (цифра указывает на процент меди) изготавливают клеммы высокого напряжения, контакты, штекеры, наконечники проводов.

Следует помнить, что медь является сравнительно дорогим материалом, поэтому расходовать ее нужно экономно и по возможности заменять другими материалами.

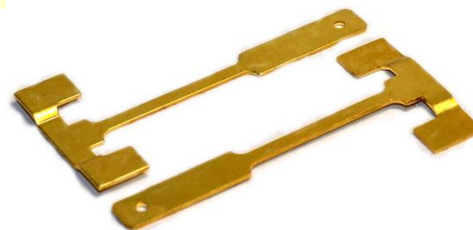
Электрические и механические свойства латуни

Материал	ρ , мкОм·м	TK ρ 10 ⁴ , °C ⁻¹	σ_B , МПа	δ , %
Латунь Л59	0,06896	-	320	55



α -фаза - твёрдый раствор цинка в меди

Латунь Л68



Штеккер латунный для стёкол



Хромированная клемма-штеккер



Штеккер под кабель латунный



Кабельные наконечники

Алюминий

Среди твердых проводниковых материалов второе место (после меди) занимает **алюминий**. Плотность его - $2,78 \text{ г/см}^3$, температура плавления - 660°C .

Алюминий склонен к электролитической коррозии, и его механическая прочность на 30 % меньше, чем у меди.



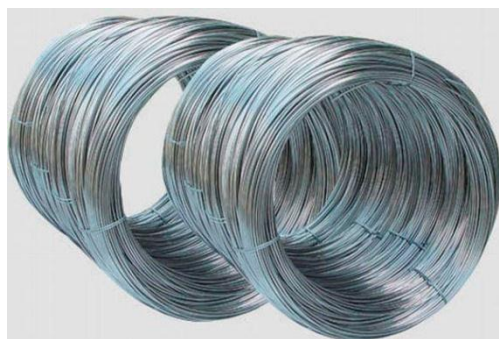
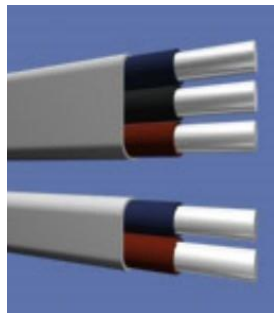
По сравнению с медью он плохо поддается пайке из-за окисной пленки на поверхности, имеющей высокое электросопротивление.

По содержанию примесей, которые контролируются, алюминий подразделяют на алюминий особой чистоты марки А999 (не более 0,001 % примесей), высокой чистоты марок А995, А99, А97, А95 (не более 0,005 % примесей) и технической чистоты А8, А7, А6, А5, А0 (не более 0,1 % примесей).

Алюминий - классификация

В электротехнике главным образом используют алюминий особой и высокой чистоты,

который имеет наибольшую электропроводность и достаточную коррозионную стойкость.



Прокат алюминия (провод, листы, прутки, шины) поставляют либо в отожжённом (алюминий мягкий АМ),

либо в нагартованном (алюминий твердый АТ) состоянии, которое резко отличается по механическим свойствам при одинаковой электропроводности.

Электрические и механические свойства алюминия

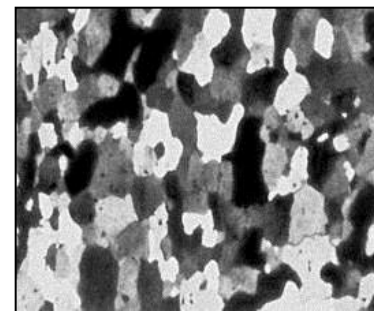
Состояние алюминия	ρ , мкОм·м	σ_B , МПа	δ , %
АМ (отожжённый, мягкий)	0,0295	40...90	15...40
АТ (нагартованный, твёрдый)	0,295	150...170	1,5...10

Из высокопластичного, мягкого, особенно чистого алюминия изготавливают конденсаторную фольгу толщиной 6...7 мкм, а также пластины конденсаторов.

Алюминий высокой чистоты предназначен для производства кабелей,



Алюминий литой



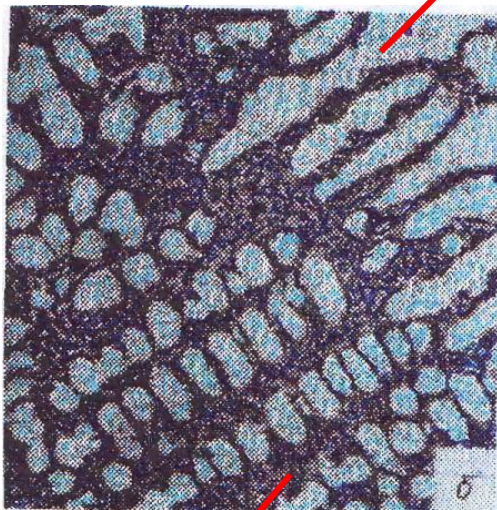
Алюминий отожжённый

токопроводящих жил обмоточного и монтажного проводов.

Электрические и механические свойства силумина

В тех случаях, когда нужна повышенная прочность ($\sigma_B > 300$ МПа), используют главным образом сплавы алюминия типа Al-Mg-Si (силумины), Al-Mg-Si-Fe-Zn, Al-Cu-Mn-Mg (дуралюмины). Для фасонных изделий используют сплавы алюминия и кремния – силумины.

Эвтектика ($\alpha+Si$)



α - твердый раствор кремния в алюминии

Марка	ρ , мкОм· м	TK ρ 10 ⁴ , °C· 1	σ_B , МПа	δ , %	НВ
Силумин	0,0468	-	180	7	50

Микроструктура литых доэвтектических силуминов состоит из светлых дендритов α - твердого раствора кремния в алюминии и двойной эвтектики $\alpha+Si$ игольчатого типа.

Изготавливают: силовые детали приборов и радиоаппаратуры.

Изделия из силумина



**Пакетный выключатель ПВ3-40
трехполюсный (40А)
герметичный IP56 (силумин)**



**Корпус к к
автоматическому
выключателю АП-50
(силумин)**

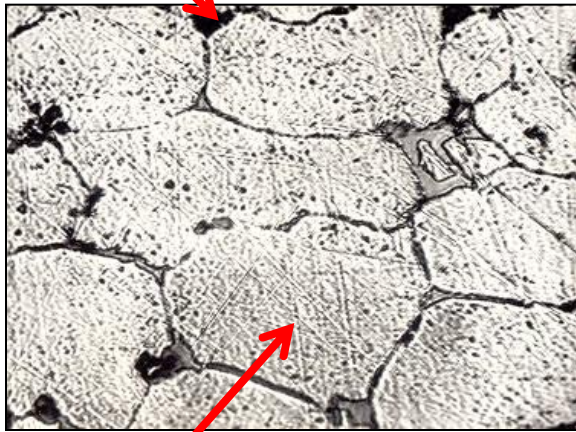


**Пост кнопочный ПКУ15-
21-111 силумин**

Электрические и механические свойства дуралюмина

CuAl_2

Дуралюмин Д1



Марка	ρ , мкОм·м	$\text{TK}_\rho \cdot 10^4$, $^\circ\text{C}^{-1}$	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %
Д1	0,035	-	210	18

α -твёрдый
раствор Cu в Al

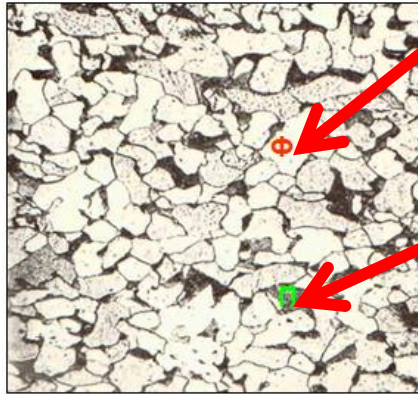
Изготавливают
силовые детали
приборов и
радиоаппаратуры

Микроструктура деформированного и
отожженного дуралюмина Д1, x150.
Зерна твердого раствора и кристаллы
 CuAl_2 по их границам
Система сплавов Al - Cu - Mn - Mg



Шкафы
телекоммуникационного и
электротехнического
назначения.

Электрические и механические свойства низкоуглеродистой стали



Феррит

Перлит

Сталь 10

Марка	ρ , мкОм·м	TK ρ 10 ⁴ , °C ⁻¹	σ_B , МПа	δ , %	НВ
Сталь 10	0,1	-	400	-	-

Провод (АС) для воздушных линий передач

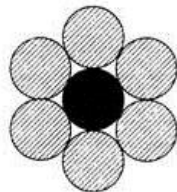
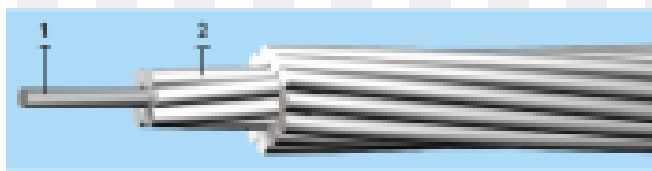


Схема провода марки АС

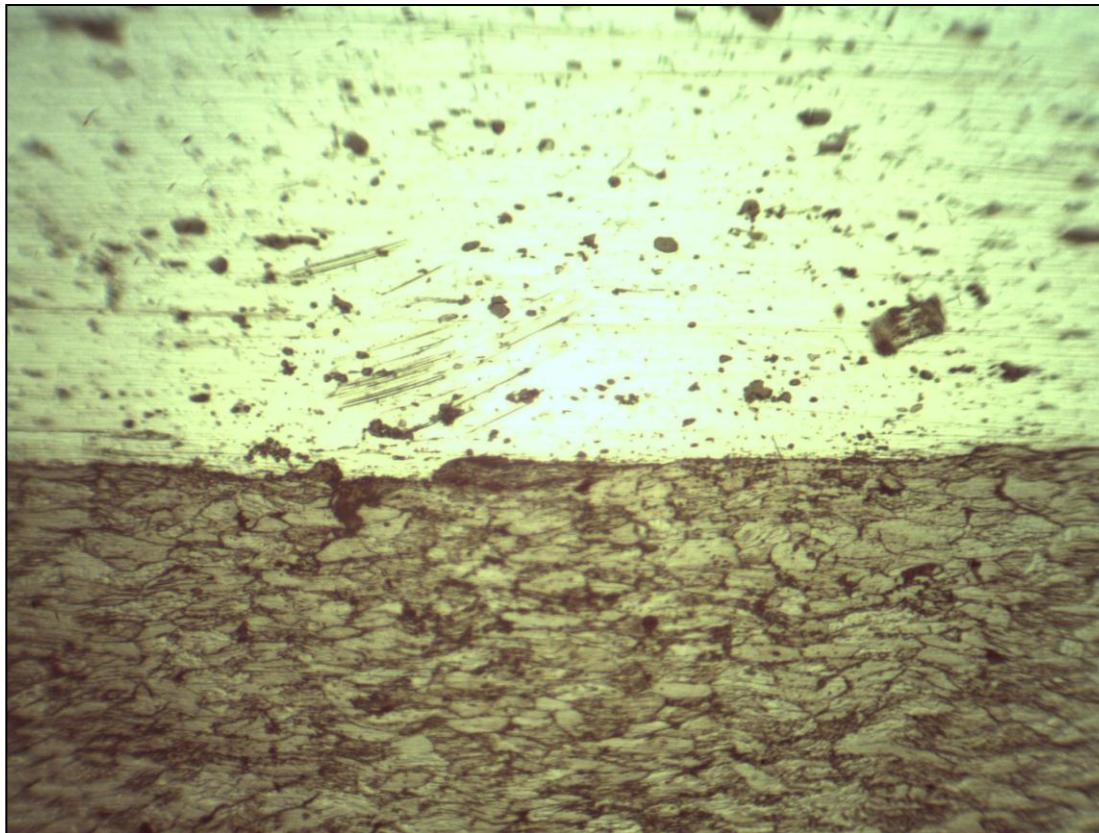
1 – сердечник из стали, 2 – провода из алюминия

Из низкоуглеродистой стали изготавливают провода воздушных линий электропередач при передаче небольших мощностей, когда основную роль играет прочность, а не проводимость, биметаллические провода.



Биметаллические провода

Биметаллический сплав



алюминий

Сталь

Биметаллический сплав
Сталь + алюминий

Резистивные сплавы

При использовании резистивных сплавов в паре с медью в электроизмерительных приборах необходимо обеспечить малую термоэлектродвижущую силу (ТЭДС). В большинстве случаев сплавы применяют в виде лент толщиной 0,01...2,0 мм или провод диаметром 0,02...5,0 мм и поэтому такие сплавы должны иметь высокую пластичность.

Наиболее широкое применение находят резистивные материалы на основе меди со структурой твердых растворов.



Электросопротивление этих сплавов выше, чем сопротивление металлов, которые являются составляющими сплава.

К таким сплавам относятся манганин, константан, нейзильбер. Химический состав и свойства этих материалов приведены в таблице.

Химический состав и свойства резистивных материалов

Материал, его марка	Химический состав в %				ρ , мкОм·м	σ_B , МПа	δ , %	Рабочая температура в °С
	Ni+Co	Mn	Zn	Cu				
Манганин МНМц 3-12	2,5... 3,5	11,5 ... 13,5	-	Остальное	<u>0,43</u> 0,46	<u>400...500</u> 700...850	<u>10...30</u> Не более 7	До 200
Константан МНМц 40-1,5	39...41	1...2	-	Остальное		<u>390...500</u> 700...840	<u>10...25</u> 2...4	До 500

В числителе приведены данные для мягкого отожжённого состояния, в знаменателе - для твердого нагартованного состояния.

Теоретические сведения

Следует подчеркнуть, что **манганин** является основным сплавом для изготовления прецизионных резисторов (образцового сопротивления, элементов электроизмерительных приборов, шунтов, обмоток потенциометров).

Этот сплав имеет достаточно высокое удельное электро-сопротивление, очень малый и стабильный



Резисторы

на протяжении времени температурный коэффициент электро-сопротивления, малую величину ТЭДС в паре с медью.

Константан имеет высокое значение ТЭДС в паре с медью, что исключает его использование в электро-измерительных приборах высокой точности.

Теоретические сведения

Константан с успехом применяют для технических резисторов (регулирующие и пусковые реостаты), а также для термопар. Константан имеет преимущество в сравнении с манганином по нагревостойкости.

Нужно отметить, что наличие в его составе большого количества ценного



Резисторы

и дефицитного никеля ограничивает использование константана для деталей массового производства.

Элементы сопротивления и нагревательные элементы, которые имеют рабочую температуру $< 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, изготавливают из сплавов на основе железа и никеля.

Теоретические сведения

Это жаростойкие сплавы фехраль и нихром, химический состав и свойства которых приведены в таблице.

Нихром имеет высокую жаростойкость и технологичность, легко протягивается в тонкий провод и полосу.



Значительное количество никеля ограничивает использование этого сплава.

Фехраль - это более дешевый сплав в сравнении с нихромом, имеет хорошие механические свойства, но он очень хрупкий из-за наличия алюминия, что очень затрудняет изготовление проволоки малого сечения.

Химический состав и свойства высокоомных жаростойких сплавов

Материал, его марка	Химический состав в %				ρ , мкОм·м	σ_B , МПа	δ , %	Рабочая температура в °С
	Cr	Al	Fe	Ni				
Фехраль Х13Ю4	12...15	3,5... 5.5	основа	0,6	1,2...1,35	~700	~15	До 900
Нихром Х20Н80	20...23	-	≤1,5	основа	1,0...1,1	650... 700	25...30	До 1100

Порядок выполнения работы

1. Изучить микроструктуру разных проводниковых материалов.
2. Описать влияние химического состава и обработки (отжиг, холодная пластическая деформация - ХПД) на структуру сплавов.
3. Измерить твердость и электросопротивление образцов проводниковых материалов в разном состоянии (отжиг, ХПД).
4. Оценить влияние структуры на свойства (электросопротивление, твердость) материала.
5. Воспользовавшись диаграммами состояния и закономерностями М.С.Курнакова, выбрать материал (из изученных) для изготовления конкретного изделия с необходимыми свойствами (согласно с заданием преподавателя).
6. Оформить отчет о лабораторной работе.

Оформление отчёта

Отчет о работе должен включать в себя:

1. Цель работы.
2. Сжатое изложение теоретических основ работы.
3. Схематическое изображение и описание микроструктуры всех образцов проводниковых материалов высокой проводимости и повышенного электросопротивления, которые исследовались.
4. Указать состояние материала (отжиг, ХПД), его электросопротивление и твердость под схемой микроструктуры.
5. Обоснование выбора материала для конкретной детали, которая предложена преподавателем. Указание марки, химического состава, описание структуры и свойств этого материала.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируются проводниковые материалы?
2. Какие основные требования предъявляются к материалам высокой электропроводности?
3. Где применяют материалы высокой проводимости?
4. Как маркируется электротехническая медь? Какой химический состав и свойства имеют марки М00б, М0б, М1б?
5. Где используют мягкую и твердую медь и как они отличаются по свойствам?
6. Какие сплавы на основе меди используют в электротехнике? их свойства и области применения?
7. Приведите марки, химический состав и свойства электротехнического алюминия.
8. Какие Вы знаете области применения мягкого алюминия?

Контрольные вопросы

9. Какие сплавы на основе алюминия используют в электротехнике? Их марки и свойства?

10. Какие основные требования к материалам с повышенным электросопротивлением (резистивные материалы) по их применению?

11. Из какого материала изготавливают прецизионные резисторы? Его марка, химический состав, основные свойства?

12. Какие материалы используют для производства технических резисторов? Их марки, химический состав, основные свойства?

13. Какие материалы используют для высокотемпературных элементов сопротивления и нагревательных элементов? Их марки, химический состав, основные свойства?

Задания для самостоятельной работы

- 1. Изучить структуру и свойства латуней, которые используют для изготовления электротехнических изделий.**
- 2. Изучить структуру и свойства бронз, которые используют для изготовления электротехнических изделий.**
- 3. Сплавы алюминия, которые используют в электротехнике.**
- 4. Области применения резистивных сплавов.**



Кафедра технології металлов и матеріалознавства

Лалазарова Наталиа Алексеевна

E-mail: lalaz1991@mail.ru

**г. Харьков, ул. Петровского, 25, ХНАДУ, КАФЕДРА ТМ и М
Tel.(8-057)707-37-92**