**Оглавление:**

1. Введение 2
2. Медь и её сплавы 2
3. Алюминий и его сплавы 6
4. Список литературы 9
5. **Введение.**

*Материалы с высокой проводимостью.* К материалам этого типа предъявляются следующие требования: минимальное значение удельного электрического сопротивления; достаточно высокие механические свойства (главным образом предел прочности при растяжении и относительное удлинение при разрыве); способность легко обрабатываться, что необходимо для изготовления проводов малых и средних сечений; способность образовывать контакты с малым переходным сопротивлением при пайке, сварке и других методах соединения проводов; коррозионная стойкость.

Основным является требование максимальной удельной проводимости материала. Однако электропроводность металла может снижаться из-за загрязняющих примесей, деформации металла, возникающей при штамповке или волочении, что приводит к разрушению отдельных зерен металла. Влияние деформаций металла на ею электропроводность устраняется при отжиге, во время которого уменьшается число дефектов в металле и увеличиваются средние размеры кристаллов металла. В связи с этим проводниковые материалы используют в основном в отожженном (мягком) состоянии.

Наиболее распространенными современными материалами высокой проводимости, применяемыми в радиоэлектронике, являются цветные металлы (медь, алюминий, цинк, олово, магний, свинец) и черные металлы (железо), которые применяются в чистом виде. Еще шире используют сплавы этих металлов, так как они обладают лучшими свойствами и более дешевы по сравнению с чистыми металлами. Однако цветные металлы и их сплавы экономически целесообразно использовать в тех случаях, когда необходимые свойства изделий нельзя получить, применяя черные металлы, чугун и сталь.

Для улучшения свойств цветные сплавы подвергаются термической обработке - отжигу, закалке и старению. Отжиг влияет на мягкость материала и уменьшает напряжения в отливках. Закалка и старение повышают механические свойства.

### Медь и ее сплавы

*Медь*. Медь является одним из самых распространенных материалов высокой проводимости. Она обладает следующими свойствами:

малым удельным электрическим сопротивлением (из всех металлов только серебро имеет удельное электрическое сопротивление на несколько процентов меньше, чем у меди);

высокой механической прочностью;

удовлетворительной коррозионной стойкостью (даже в условиях высокой влажности воздуха медь окисляется значительно медленнее, чем, например, железо; интенсивное окисление меди происходит только при повышенных температурах);

хорошей паяемостью и свариваемостью;

хорошей обрабатываемостью (медь прокатывается в листы и ленты и протягивается в проволоку).

Свойства медной проволоки приведены ниже.

Марка ………………………………………………………………………………………………………МТ…………………………………………………ММ

Плотность, *D,* кг/м3…………………………………………………………………8,96·103……………………………………8,90·103

Удельное электрическое

сопротивление ρ, мкОм•м, не более……………………………0,0179... 0,0182 0,0175

Предел прочности при растяжении σ ,

МПа, не менее……………………………………………………………………………………360...390 260...280

Относительное удлинение

при разрыве Δ*l/l*,%……………………………………………………………………0,5...2,5 18...35

Медь получают чаще всего в результате переработки сульфидных руд. Примеси снижают электропроводность меди. Наиболее вредными из них являются фосфор, железо, сера, мышьяк. Содержание фосфора примерно 0,1% увеличивает сопротивление меди, на 55%. Примеси серебра, цинка, кадмия дают увеличение сопротивления на 1…5%. Поэтому медь, предназначенная для электротехнических целей, обязательно подвергается электролитической очистке. Катодные пластины меди, полученные в результате электролиза\*, переплавляют в болванки массой 80…90 кг, которые прокатывают и протягивают, создавая изделия необходимого поперечного сечения.

Для изготовления проволоки болванки сначала подвергают горячей прокатке в катанку диаметром 6,5...7,2 мм, которую затем протягивают без подогрева, получая проволоку нужных поперечных сечений.

В качестве проводникового материала используют медь марок М1 и МО. Медь марки М1 содержит 99,9% меди, не более 0,1% примесей, в общем количестве которых кислорода должно бы не более 0,08%. Медь марки МО содержит примесей не более 0,05 *в* том числе кислорода не более 0,02%. Благодаря меньшему держанию кислорода медь марки МО обладает лучшими механическими свойствами, чем медь марки М1. Еще более чистым проводниковым металлом (не более 0,01% при

\*Совокупность процессов электрохимического окисления - восстановления, происходящих на погруженных в электролит электродах при прохождении электрического тока.

месей) является вакуумная медь марки МВ, выплавляемая в вакуумных индукционных печах.

При холодной протяжке получают твердую (твердотянутую) медь (МТ), которая обладает высоким пределом прочности при растяжении, твердостью и упругостью (при изгибе проволока из твердой меди несколько пружинит).

Твердую медь применяют в тех случаях, когда необходимо обеспечить высокую механическую прочность, твердость и сопротивляемость истиранию: для контактных проводов, шин распределительных устройств, для коллекторных пластин электрических машин, изготовления волноводов, экранов, токопроводящих жил кабелей и проводов диаметром до 0,2 мм.

После отжига до нескольких сотен градусов (медь рекристаллизуется при температуре примерно 270°С) с последующим охлаждением получают мягкую (отожженную) медь (ММ). Мягкая медь имеет проводимость на 3…5% выше, чем у твердой меди.

Мягкая отожженная медь служит электротехническим стандартом, по отношению к которому удельную электрическую проводимость металлов и сплавов выражают при температуре окружающей среды 20 °С. Удельная электрическая проводимость такой меди равна 58 мкСм/м, соответственно ρ = 0,017241 мкОм-м при значении ТКρ = 4,3·10-3К-1.

Мягкая медь широко применяется для изготовления фольги и токопроводящих жил круглого и прямоугольного сечения в кабелях и обмоточных проводах, где важна гибкость и пластичность (отсутствие «пружинения» при изгибе), а прочность не имеет большого значения.

Из специальных электровакуумных сортов меди изготавливают аноды мощных генераторных ламп, детали СВЧ устройств: магнетронов, клистронов, некоторых типов волноводов и др.

Медь сравнительно дорогой и дефицитный материал, поэтому она должна расходоваться экономно. Отходы меди на электротехнических предприятиях необходимо собирать, не смешивая с другими металлами и менее чистой медью, чтобы их можно было переплавить и снова использовать. В ряде случаев медь как проводниковый материал заменяют другими металлами, чаще всего алюминием.

В ряде случаев, когда от проводникового материала требуется не только высокая проводимость, но и повышенные механическая прочность, коррозионная стойкость и сопротивляемость истиранию, применяют сплавы меди с небольшим содержанием легирующих примесей.

*Бронзы***.** Сплавы меди с примесями олова, алюминия, кремния, бериллия и других элементов, среди которых цинк не является основным легирующим элементом, называют *бронзами* (табл. 3.3).

Таблица 3.3. Основные свойства некоторых проводниковых бронз

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Кадмиевая | Бериллиевая | Фосфористая |
| Удельная электропроводность по отношению к электротехническому стандарту, % | 95/90 | 37/30 | (10…15)/  (10…15) |
| Предел прочности при растяжении σр, МПа | До 310/730 | (700…790)/ (1620…1750) | 400/970 |
| Относительное удлинение при разрыве Δl/l, % | 50/4 | 20/9 | 50/3 |

*Примечание.*

1. Состав кадмиевой бронзы 0,9% Cd, остальное Cu; бериллиевой - 2,25%  
остальное Cu; фосфористой 0,1% Р, 7% Sn, остальное Cu.

2. В числителе данные для отожженной латуни, в знаменателе - для твердотянутой.

При правильно подобранном составе бронзы имеют значительно более высокие механические свойства, чем чистая медь (значения предела прочности бронз могут доходить до 800…1200 МПа 1 более). Бронзы обладают малой объемной усадкой (0,6…0,8 %) по сравнению с чугуном и сталью, у которых усадка достигает 1,5…2,5%. Поэтому наиболее сложные детали отливают из бронзы.

Бронзы маркируют буквами Бр (бронза), после которых ставя буквы, обозначающие вид и количество легирующих добавок. На пример, бериллиевая бронза Бр.В2 (2% бериллия Ве, остальное медь Cu); фосфористая бронза Бр.ОФ 6,5-0,15 (6,5% олова 8п,, 0,15 фосфора Р, остальное медь Cu).

Введение в медь кадмия дает существенное повышение механической прочности и твердости при сравнительно малом снижении удельной электрической проводимости γ.

*Кадмиевую бронзу* МК (0,9% кадмия Сd, остальное Cu) применяют для контактных проводов и коллекторных пластин особо ответственного назначения, а также сварочных электродов при контактных методах сварки.

Обладая еще большей, чем кадмиевая бронза, механической прочностью, твердостью и стойкостью к механическому износу (предел прочности при растяжении σр до 1350 МПа) бериллиевая бронза не изменяет своих свойств до температуры примерно 250˚С.Она находит применение при изготовлении ответственных токоведущих пружин для электрических приборов, щеткодержателей токоштепсельных и скользящих контактов.

*Фосфористая бронза* Бр.ОФ 6,5-0,15 (6,5% олова Sn, 0,1 фосфора Р, остальное медь Cu) отличается низкой электропроводностью. Из нее изготавливают различные малоответственные токоподводящие пружины в электроприборах.

*Латуни***.** Латуни представляют собой медные сплавы, в которых основным легирующим элементом является цинк (до 43%).

Основные свойства некоторых латуней приведены ниже.

Сплав и его состав……………………………………………………………………………………Л68(68%Cu, Л59-1 (59%Cu,

32 % Zn) 1%Pb,40%Zn)

Удельная проводимость по отношению

к электротехническому стандарту меди, %………………………………………46/30 30/20

Предел прочности при растяжении σр, Мпа…………………………………380/880 350/450

Относительное удлинение при разрыве Δ*l/l*,%……………………………65/5 25/5

*Примечание.* В числителе данные для отожженной латуни, в знаменателе – для твердотянутой.

Латуни прочнее, пластичнее меди, обладают достаточно высоким относительным удлинением при повышенном пределе прочности на растяжение по сравнению с чистой медью, они имеют пониженную стоимость, так как входящий в них цинк значительно дешевле меди. Иногда для повышения коррозионной стойкости в состав сплава в небольшом количестве вводят алюминий, никель, марганец.

Латуни хорошо штампуются и легко подвергаются глубокой вытяжке (контакты термобиметаллического реле, экраны контуров, пластины воздушных конденсаторов переменной емкости, колпачки радиотехнических ламп).

В обозначениях марок сложных латуней после буквы Л (обозначение латуни) ставятся буквы, которые указывают на наличие легирующих элементов (кроме меди), например ЛС59-1 (59% меди Cu, 1 % свинца Pb, остальное цинк Zn).

**2. Алюминий и его сплавы**

*Алюминий***.** Алюминий относится к так называемым *легким* металлам (плотность литого алюминия около 2600, прокатанного -2700 кг/м3).

Алюминий обладает следующими особенностями:

удельное электрическое сопротивление ρ алюминия (при содержании примесей не более 0,05%) в 1,63 раза больше, чем у меди, поэтому замена меди алюминием не всегда возможна, особенно в радиоэлектронике;

алюминий приблизительно в 3,5 раза легче меди;

из-за высоких значений удельной теплоемкости и теплоты плавления алюминия нагревание алюминиевого провода до расплавления требует больших затрат энергии, чем нагревание и расплавление такого же количества меди;

Даже при одинаковой стоимости алюминия и меди в слитках стоимость алюминиевой проволоки почти вдвое ниже, однако использование алюминия для изолированных проводов в большинстве случаев менее выгодно из-за затрат на изоляцию;

алюминий на воздухе активно окисляется и покрывается тонкой оксидной пленкой с большим электрическим сопротивлением, которая предохраняет алюминий от дальнейшей коррозии, но создает большое переходное сопротивление в местах контакта алюминиевых проводов;

алюминий менее дефицитен, чем медь;

существенным недостатком алюминия как проводникового материала является низкая механическая прочность, для ее повышения алюминий подвергается механической обработке;

прокатка, протяжка и отжиг алюминия аналогичны соответствующим операциям для меди;

примеси значительно снижают проводимость алюминия.

Алюминий высокой степени чистоты (примесей не более 0,001... 0,01%) марок А999 и А995 используют для изготовления анодной и катодной фольги электролитических конденсаторов и в микроэлектронике для получения тонких пленок.

Менее чистый алюминий марок А97 и А95 (примесей не более 0,03%) используют для корпусов электролитических конденсаторов, статорных и роторных пластин воздушных конденсаторов. Из алюминиевой фольги и ленты изготавливают экраны радиочастотных коаксиальных кабелей.

Промышленность выпускает алюминиевую проволоку следующих марок: АТП - твердая повышенной прочности, АТ - твердая, АПТ - полутвердая, АМ - мягкая.

Основные свойства алюминиевой проволоки приведены ниже.

Марка алюминия …………………………………………………………………………………АТ АМ

Плотность D, кг/ м3…………………………………………………………………2600…2700 2600…2700

Удельное электрическое  
сопротивление ρ, мкОм-м, не более…………………………………0,0295 0,0290

Предел прочности при растяжении  
σр, МПа, не менее …………………………………………………………………………160…170 80

Относительное удлинение  
при разрыве Δ*l/l*, % ……………………………………………………………………1,5…2,0 10…18

По мере снижения твердости проволоки в 1,9…2,7 раза уменьшается предел ее прочности при растяжении. Максимальное значение предела прочности σp алюминиевого провода более чем в 2 раза ниже, чем соответствующие значения медного. Из-за низкой механической прочности правильная эксплуатация алюминиевых поводов сопряжена с выполнением следующих условий: их нельзя протаскивать по твердому грунту, скручивать медной проволокой, загрязнять поверхность.

*Алюминиевые сплавы***.** Сплав *алъдрей* (0,3. ..0, 5% меди Си, 0,4... 0,7% кремния 51, 0,2... 0,3% железа Ре, остальное алюминий А1) обладает следующими свойствами:

повышенной механической прочностью (в 2 раза прочнее алюминия, приближаясь к твердотянутой меди σр = 350 МПа);

сплав сохраняет легкость чистого алюминия и близок к нему по удельному электрическому сопротивлению (ρ = 0,0317 мкОм-м);

более высоким пределом вибрационной прочности по сравнению с чистым алюминием.

Применяется для изготовления проводов малонагруженных линий электропередачи.

*Магналий* (сплав алюминия с магнием) отличается низкой плотностью. Применяется для изготовления стрелок различных электрорадиотехнических приборов.

*Силумин* относится к группе литейных сплавов с повышенным содержанием кремния, меди и марганца. Он обладает хорошей жидкотекучестью, малой усадкой, большой плотностью и повышенной прочностью по сравнению с алюминием и широко применяется для корпусов воздушных конденсаторов.

*Дюраль* принадлежит к деформируемым сплавам алюминия с медью, магнием и марганцем. Медь и магний улучшают механические свойства сплава, а марганец увеличивает твердость и коррозионную стойкость, которая является недостаточной по сравнению с другими коррозионными сплавами. Для защиты от коррозии его покрывают лаками, красками или слоем алюминия.

В обозначениях дюралей после буквы Д стоят цифры, указывающие на наличие легирующих добавок, например Д1 (3,8% меди Cu, 0,4...0,8% магния Mg, марганца Mn).

**Список литературы:**

1. Журовлева Л.В., Электроматериаловедение: Учебник для начального профессионального образования. М.: Изд. Центр «Академия»; ИРПО, 2000. –312 с.