

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Колледж электроники и бизнеса

Кафедра электронной техники и физики

Л. А. БУШУЙ

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2009

УДК 621. 382 (075. 32)
ББК 32. 843 я 73
Б90

Рецензент
преподаватель Проходцев В. В.

Б90 **Бушуй, Л. А.**
Изучение свойств проводниковых материалов: методические указания к практической работе /Л.А. Бушуй - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2009. - 22 с.

Методические указания предназначены для проведения практической работы «Изучение свойств проводниковых материалов» раздела «Проводниковые материалы» по дисциплине «Материаловедение, электрорадиоматериалы и радиокомпоненты» для студентов 2 курса специальности «Техническое обслуживание и ремонт радиоэлектронной техники».

Методические указания составлены с учетом Государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по направлению подготовки дипломированных специалистов утвержденного 18.03.2002 Министерством образования Российской Федерации.

ББК 32. 843 я 73

© Бушуй Л. А., 2009
© ГОУ ОГУ, 2009

Содержание

Введение	
1 Теоретическая часть работы.....	4
1.1 Электрические свойства	4
1.2 Механические свойства	7
1.3 Физико-химические свойства.....	13
1.4 Технологические свойства.....	15
1.5 Контрольные вопросы	21
2 Практическая часть работы.....	21
2.1 Содержание отчёта	21
2.2 Порядок выполнения отчёта.....	21
Список использованных источников.....	22

Введение

Учебное пособие может быть использовано преподавателями и студентами при проведении практической работы «Изучение свойств проводниковых материалов» раздела «Проводниковые материалы» дисциплины «Материаловедение, электрорадиоматериалы и радиокомпоненты», при подготовке студентов к тестированию и к экзаменам.

1 Теоретическая часть работы

Проводниками называются вещества, в которых в случае электростатического равновесия электрическое поле равно нулю, т. е. некомпенсированные заряды проводников локализируются в бесконечно тонком поверхностном слое, а если электрическое поле отлично от нуля, то в проводнике возникает электрический ток.

Твердые металлические проводники характеризуются высокой электро- и теплопроводностью, что обусловлено особенностями металлической связи между атомами. Они обладают электрическими, механическими, физико-химическими и технологическими свойствами.

1.1 Электрические свойства

К электрическим характеристикам проводниковых материалов можно отнести: удельную проводимость γ или обратную ей величину - удельное сопротивление ρ ; контактную разность потенциалов и термоэлектродвижущую силу (термоЭДС); работу выхода электронов из металла.

Если к проводнику приложить внешнее напряжение, то свободные электроны, совершающие тепловые колебания со средней скоростью порядка 10^5 м/с» приобретают некоторую добавочную скорость направленного движения (несколько миллиметров в секунду), что вызывает протекание электрического тока.

Электропроводность характеризует способность материала проводить электрический ток под воздействием постоянного электрического поля.

Концентрация свободных электронов в металлах практически не зависит от температуры. В связи с этим значение удельной проводимости определяется, в основном, средней длиной свободного пробега электронов в конкретном металле, которая, в свою очередь, — рассеянием их на дефектах и тепловых колебаниях решетки. Например, для чистых металлов значения удельного сопротивления являются минимальными. И наоборот, наличие примесей и дефектов в решетке приводит к увеличению удельного сопротивления.

Указанные явления находят свое подтверждение и с точки зрения волновой природы электронов. Электронные волны, распространяясь в проводниковом материале, частично теряют свою энергию из-за дефектов

кристаллической решетки проводника, размеры которых соизмеримы с четвертью длины электронной волны. Так как длина волны в металлическом проводнике - 0,5 нм, то имеющиеся в нем даже микродефекты создают значительное рассеяние энергии, что приводит к уменьшению подвижности электронов и, следовательно, к снижению удельного сопротивления.

Из изложенного можно сделать вывод, что с увеличением температуры удельное сопротивление металлов возрастает (увеличивается интенсивность рассеяния). Причем скорость роста невелика (соответствующие расчеты приводят к степенной зависимости). Ход кривой температурной зависимости удельного сопротивления металлов показан на рисунке 1.

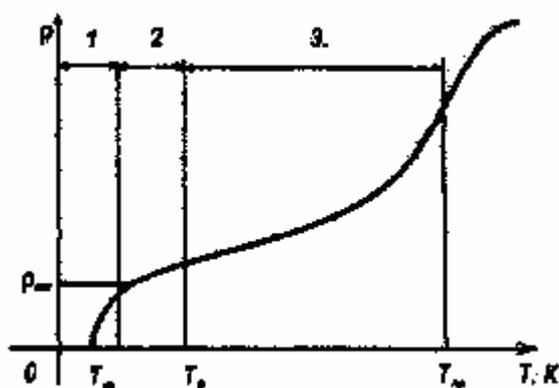


Рисунок 1 - Температурная зависимость удельного сопротивления металлов

Характерными температурами являются:

- $T_{пл}$ — температура плавления;
- $T_д$ — температура Дебая;
- $T_{кр}$ — температура перехода в сверхпроводящее состояние.

У металлов, не обладающих сверхпроводимостью, при низких температурах из-за наличия примесей наблюдается область 1 — область остаточного сопротивления, почти не зависящая от температуры. Остаточное сопротивление тем меньше, чем чище металл. Быстрый рост удельного сопротивления при низких температурах до температуры $T_д$ может быть объяснен возбуждением новых частот тепловых колебаний решетки, при которых происходит рассеяние носителей заряда — область 2. При $T_{кр} > T_д$, когда спектр колебаний возбужден полностью, увеличение амплитуды колебаний с ростом температуры приводит к линейному росту сопротивления примерно до $T_{пл}$ — область 3. При переходе в жидкое состояние у большинства металлов удельное сопротивление увеличивается в 1,5...2 раза (у висмута и галлия уменьшается).

Температурный коэффициент удельного электрического сопротивления α определяется так:

$$\alpha = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}. \quad (1)$$

В технике часто используется температурный коэффициент удельного электрического сопротивления на линейном участке, который будет постоянным (не зависящим от температуры), но пользоваться им можно лишь на определенном интервале температур.

Зависимость удельного сопротивления от состава сплавов. Металлические сплавы обычно представляют механическую смесь исходных металлов» твердый раствор или химические (интерметаллические) соединения.

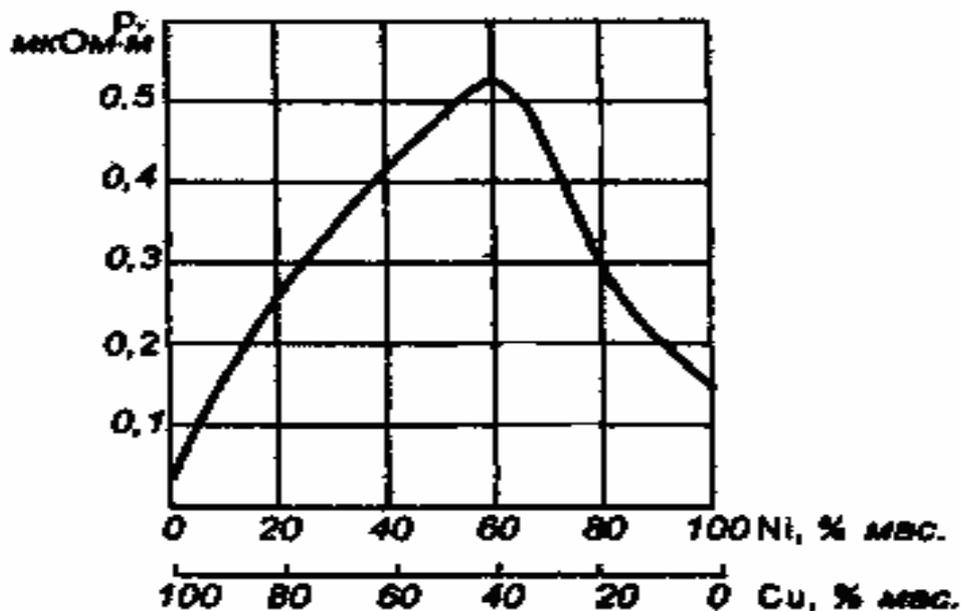


Рисунок 2 - Зависимость сопротивления сплавов Си-Мот состава

Удельное сопротивление сплавов определяется в основном наличием примесей и нарушением структуры входящих в них металлов. Особенно резко оно возрастает, когда при сплавлении двух металлов образуется твердый раствор, т. е. они совместно кристаллизуются. При этом атомы одного металла входят в кристаллическую решетку другого. Зависимость удельного сопротивления сплава двух металлов, образующих друг с другом твердый раствор, как показано на рисунке 2, иллюстрирует отмеченные выше явления.

Кривая имеет характерный максимум, соответствующий определенному соотношению между содержанием компонентов в данном сплаве, при котором наличие дефектов в кристаллической решетке максимально.

Если сплав представляет собой механическую смесь компонентов, удельное сопротивление меняется с изменением состава линейно.

При определенном соотношении между компонентами могут образовываться химические соединения *интерметаллиды*, для которых зависимость удельного сопротивления от состава имеет характерные изломы (дополнительные максимумы).

К числу факторов, влияющих на удельное сопротивление металлических проводников, относится также магнитное поле, под действием которого происходит

искривление траектории движения электронов, что приводит к изменению электропроводности.

1.2 Механические свойства

К механическим свойствам относят твердость, упругость, вязкость, пластичность, линейное расширение, хрупкость, прочность, усталость.

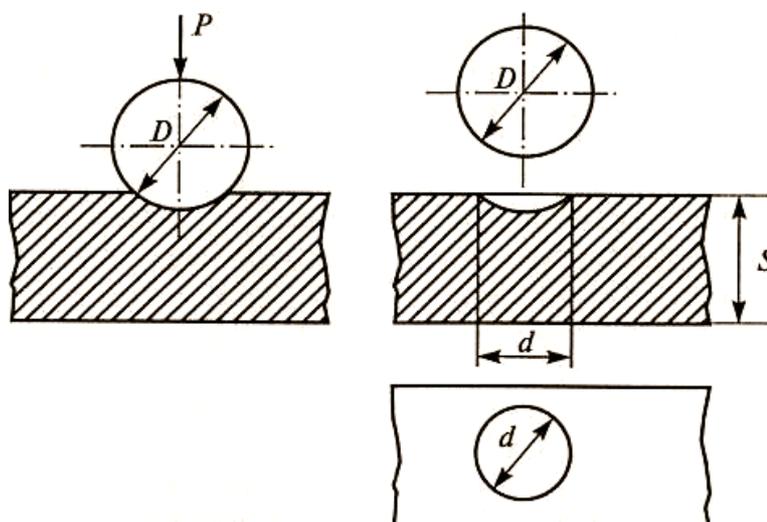
Твердость - это способность материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого тела.

Существуют различные методы определения твердости: вдавливание, царапание, упругая отдача. Наибольшее распространение получил метод вдавливания в материал стального шарика (твердость по Бринеллю), вдавливания конуса (по Роквеллу), вдавливания пирамиды (по Виккерсу).

Испытания материалов на твердость вдавливанием шарика по методу Бринелля проводят с помощью стального закаленного шарика диаметром 10,5 или 2,5 мм в испытываемый материал под действием нагрузки в течение определенного времени, как показано на рисунке 3. Диаметр шарика, нагрузку и время выдержки под нагрузкой выбирают по специальным таблицам в зависимости от толщины и твердости материала.

Перед испытанием поверхность детали или образца зачищают напильником или наждачным кругом.

После испытания диаметр отпечатка измеряют при помощи градуированного увеличительного стекла в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Диаметр отпечатка d зависит от твердости материала.



P - нагрузка; D - диаметр стального шарика; d -диаметр отпечатка;
 S -толщина образца

Рисунок 3 - Схема определения твердости материала по методу Бринелля

Твердость по методу Бринелля определяется отношением численного значения нагрузки P к площади поверхности отпечатка F_{om} и измеряется в ньютонах на квадратный метр (Н/м^2):

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

где B -диаметр шарика, мм;

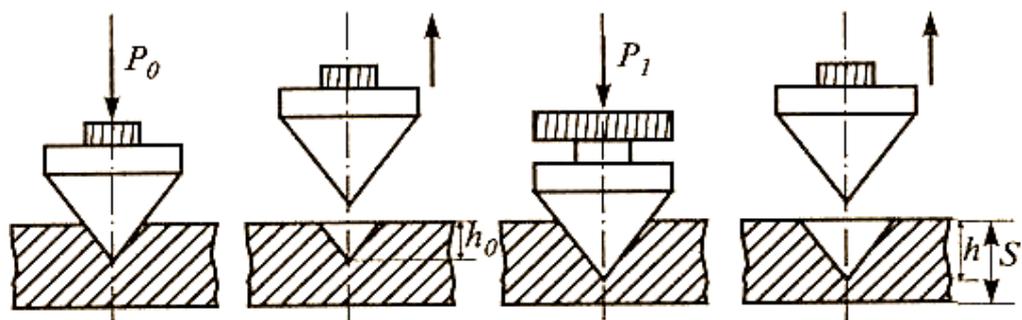
D -диаметр отпечатка, мм.

К недостаткам метода Бринелля относятся:

- невозможность определять твердость проволоки и изделий толщиной менее 3 мм;
- проведение испытаний на контрольных образцах, так как на рабочих деталях остаются заметные следы от вдавливания шарика;
- невозможность испытывать материалы, твердость которых выше твердости стального шарика (450 НВ), так как при этом шарик начинает деформироваться и искажать показания;
- продолжительность процесса испытания.

Твердость материала по методу Роквелла определяют по глубине вдавливания в испытуемый материал стального шарика диаметром $d = 1,59$ мм под нагрузкой массой 100 кг или алмазного конуса с углом при вершине 120° при нагрузках 60 и 150 кг на твердомерах.

При испытании сначала прикладывают предварительную нагрузку P_0 , а затем основную - P_1 . Твердость при этом характеризуется разностью глубин проникновения шарика или алмазного конуса $h - h_0$ под нагрузками $P = P_1 + P_0$ и P_0 , как показано на рисунке 4. Эта разность глубин определяется автоматическим индикатором, циферблат которого разделен на 100 делений. Циферблат имеет черную и красную шкалы. При испытаниях шариком отсчет производят по красной шкале и твердость обозначают НКВ, при испытании алмазным конусом - по черной шкале и твердость обозначают НКС. Шариком определяют твердость мягких металлов, а алмазным конусом - твердых.



а - конус, вдавленный под нагрузкой P_0 ; б - отпечаток конуса после снятия нагрузки P_0 ; в - конус, вдавленный под нагрузкой $P_0 + P_1$; г - отпечаток конуса после снятия основной нагрузки P_1

Рисунок 4- Схема определения твердости материала по методу Роквелла

К достоинствам метода Роквелла относят:

- измерение твердости в более широком диапазоне (до 700 НВ);
- пригодность для определения твердости более тонких изделий, чем при методе Бринелля;
- наличие очень малых отпечатков на испытуемом образце.

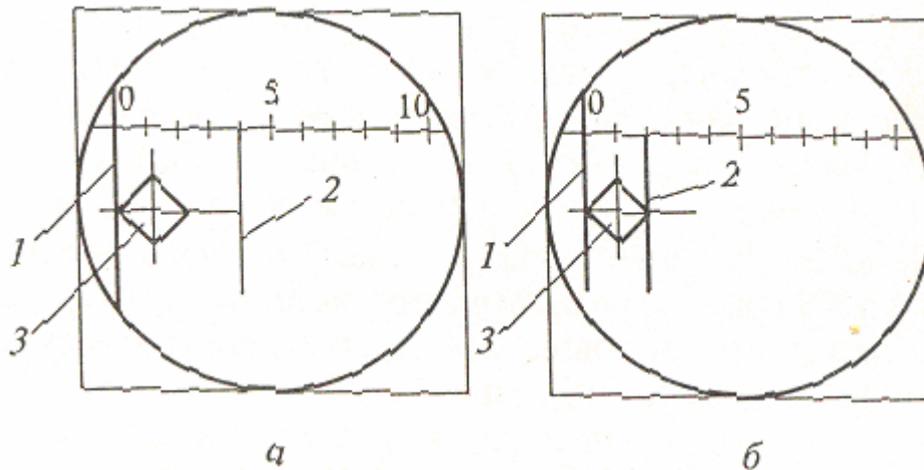
Недостатком метода является необходимость подготовки образцов, соответствующих определенным требованиям (толщина образца должна быть не менее 10 глубин вдавливания, диаметр круглых образцов не должен быть меньше 10 мм).

Твердость по методу Виккерса определяют вдавливанием в испытуемый материал алмазной пирамиды с углом при вершине 136° под нагрузкой. В результате на поверхности образца остается квадратный отпечаток, длина диагонали которого характеризует твердость материала. Чем больше диагональ, тем ниже твердость. Диагонали измеряют с помощью микроскопа. Твердость по методу Виккерса НV определяют по таблицам в зависимости от длин диагоналей отпечатка, как показано на рисунке 5.

Этим методом можно измерять твердость мягких и твердых материалов при малой толщине образцов и деталей.

Недостатки метода - длительность процесса замера и необходимость тщательной подготовки образца.

Упругость - это свойство материала восстанавливать свою форму и объем после прекращения действия внешних сил, которые вызывают их изменение. Вязкость - это способность материала оказывать сопротивление динамическим (быстрорастущим) нагрузкам. Вязкость оценивают с помощью прибора, который называется маятниковым копром. Образец стандартной формы свободно устанавливают на опоры копра. Маятник массой P поднимают на высоту h_2 и отпускают. Падая, маятник разрушает образец, который по инерции поднимается на некоторую высоту h_1 .



а - первоначальное положение штрихов; б- положение штрихов для измерения диагонали отпечатка; 1 - левый штрих; 2 - правый штрих; 3 - отпечаток пирамиды

Рисунок 5 - Схемы измерения диагонали отпечатка пирамиды:

Работа удара в джоулях, затраченная на излом образца,

$$W_{\text{уд}} = P(h_2 - h_1). \quad (3)$$

Ударная вязкость - это способность материала оказывать сопротивление ударным нагрузкам. Испытаниям на ударную вязкость подвергают те материалы, из которых изготавливают сталь, применяемую в условиях ударных нагрузок. Для проведения такого испытания берут стандартный образец, на котором делают надрез. Испытания образцов проводят на специальных установках - копрах маятникового типа. Образец разрушают с помощью маятника. Ударную вязкость определяют по формуле, зная работу, затраченную маятником на разрушение образца, и площадь поперечного сечения образца в месте надреза:

$$a_n = \frac{P(H - h)}{F_k}; A_n = P(H - h) \quad (4)$$

где a_n - ударная вязкость, Дж/м² ;
 A_n - работа, затраченная на разрушение образца, Дж;
 P - нагрузка, создаваемая массой маятника, Н;
 H - высота поднятия центра тяжести маятника, м;
 h - высота поднятия маятника после разрушения образца, м;
 F_k - площадь поперечного сечения образца в месте надреза, м².

В производственных условиях a_n и A_n определяют по таблицам.

На ударную вязкость не испытывают такие хрупкие материалы, как чугун, силумин, закаленная инструментальная сталь.

Пластичность - это свойство материала деформироваться без разрушения под действием внешних сил и сохранять новую форму после прекращения действия этих сил. Для количественной оценки пластичности электрорадиоматериалов используют относительное удлинение образца при разрыве $\Delta l/l$ и относительное сужение площади поперечного сечения образца $\Delta S/S$.

Относительным удлинением называют отношение абсолютного удлинения образца к его первоначальной расчетной длине l_0 , выраженной в процентах:

$$\Delta l / l = \frac{l_p - l_0}{l_0} 100 \% \quad (5)$$

где l - длина образца после разрыва, м.

Относительным сужением называют отношение абсолютного сужения площади поперечного сечения образца после разрыва к его первоначальной площади поперечного сечения, выраженное в процентах:

$$\Delta S / S = \frac{l s_p - s_0}{s_0} 100 \% \quad (6)$$

Значения относительного удлинения $\Delta l/l$ и относительного сужения $\Delta S/S$ для некоторых материалов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Относительные удлинение и сужение некоторых материалов

Параметр	Медь	Алюминий	Синтетические пленки	Кабельные резины	Полиамидные смолы
Относительное удлинение при разрыве $\Delta l/l$, %	0	40	80	250	150
Относительное Сужение $\Delta S/S$, %	75	85	150	3000	4000

Для проводников, используемых в электровакуумных приборах, важной механической характеристикой материала является температурный коэффициент линейного расширения ТКЛ, который позволяет определять изменения любых геометрических размеров изделий (длины, ширины, толщины) при нагревании. Однако наиболее легко изменение размеров изделия при нагревании фиксируется по максимальному размеру длины. Различают температурный коэффициент линейного расширения при данной температуре ТКЛ, и его среднее значение в интервале температур a : (1/град):

$$TKl = \frac{1}{l} \frac{\Delta l}{\Delta T}, \quad (7)$$

$$a_t = \frac{l}{l_0} \frac{L_T - l_0}{T - T_0}, \quad (8)$$

где l_0 L_T - геометрические размеры изделий, соответствующие температурам T_0 и T .

Значение ТКЛ твердых металлов возрастает при повышении температуры и приближении ее к температуре плавления. Минимальные значения ТКЛ характерны для тугоплавких металлов, которые используют для вакуум-плотных спаев со стеклом, керамикой и другими диэлектрическими материалами.

Хрупкость - это способность материалов разрушаться при приложении резкого динамического усилия. У таких хрупких материалов явление пластической деформации не наблюдается, т.е. разрушение образца происходит при равенстве предела текучести σ_t , и предела прочности при растяжении σ_p . Значения относительного удлинения и относительного сужения для хрупких материалов близки к нулю.

К хрупким материалам относят стекло, керамику, фарфор, хром, марганец, кобальт, вольфрам.

Прочность - это способность материала сопротивляться действию внешних сил, не разрушаясь. Прочность определяют с помощью статического воздействия (растяжения) на материал на специальных испытательных установках, называемых разрывными машинами. Для испытания на растяжение изготавливают образцы в виде круглых стержней или пластин строго установленных размеров. Образцы закрепляют в зажимах разрывной машины и прикладывают к ним растягивающую нагрузку.

Наименьшее напряжение, при котором образец деформируется (течет) без заметного увеличения нагрузки, называется физическим пределом текучести σ_t :

$$\sigma_t = F_t/S_0, \quad (9)$$

где F_t - нагрузка, соответствующая физическому пределу текучести, Н;
 S_0 - первоначальное сечение образца материала, m^2 .

Напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке F_d , предшествующей разрушению образца, называется пределом прочности при растяжении σ_p :

$$\sigma_p = F_d / S_0, \quad (10)$$

где - F_d нагрузка, соответствующая пределу прочности, Н.

Усталость - это разрушение материала под действием небольших повторных или знакопеременных нагрузок (вибраций). Такие нагрузки испытывают, например, контакты, пружины. Под действием многократных повторно-переменных (изменяющихся только по значению) и знакопеременных нагрузок (сжатие и растяжение) металл разрушается при напряжениях, значительно меньших, чем предел прочности, т. е. наступает усталость. Свойство металла выдерживать, не разрушаясь, большое число повторных или знакопеременных напряжений называется выносливостью.

Испытания на выносливость проводят на специальных машинах, вращая образцы с одновременным приложением изгибающих нагрузок, создающих растяжение и сжатие.

1.3 Физико-химические свойства

К физико-химическим свойствам относят цвет, плотность, температуру плавления, теплопроводность, тепловое расширение, электропроводность, магнитные свойства, поглощение газов, коррозионную стойкость и др.

Физико-химические свойства оценивают удельным электрическим сопротивлением ρ , удельной электрической проводимостью γ , температурным коэффициентом удельного электрического сопротивления ТК ρ и коэффициентом теплопроводности.

По плотности металлы разделяют на легкие и тяжелые.

К легким относят те металлы, плотность которых меньше 5 Мг/м³. Одним из наиболее легких металлов считается натрий, плотность которого меньше плотности воды.

К тяжелым относят подавляющее большинство металлов, используемых в технике (железо, медь, никель, олово и др.).

Удельное электрическое сопротивление для образцов правильной формы

$$\rho = R \frac{S}{l}, \quad (11)$$

где R - сопротивление образца, Ом;

S - площадь поперечного сечения образца, м²;

l-длина образца, м.

Величину ρ измеряют в омах на метр (Ом-м), однако для практических целей 1 Ом-м слишком большое значение, поэтому этот параметр чаще всего выражают в более мелких единицах, например в микроомах на метр. Диапазон значений ρ металлических проводников (при нормальной температуре) от 0,016 для серебра до 10 мкОм-м для некоторых сплавов.

Значения ρ металлов в нормальных условиях отличаются друг от друга примерно в 100 раз.

Сопротивление проводников R на высоких частотах существенно больше их сопротивления на постоянном токе вследствие того, что высокочастотное поле проникает в проводник на небольшую глубину. Чем выше частота поля, тем на меньшую глубину оно проникает в проводник. Это явление получило название поверхностного эффекта. За глубину проникновения тока в проводник на данной частоте условно принимают глубину, на которой плотность тока уменьшается в 2,7 раза по сравнению с ее значением на поверхности проводника.

Величину, обратную удельному электрическому сопротивлению ρ , называют удельной электрической проводимостью (См/м):

$$\gamma = 1/\rho. \quad (12)$$

Удельное электрическое сопротивление металлов зависит от температуры. Эта зависимость определяется температурным коэффициентом удельного электрического сопротивления (1/град), который при данной температуре вычисляют по формуле

$$TK\rho = \frac{1}{\rho} \frac{\Delta\rho}{\Delta T} \quad (13)$$

где $\Delta\rho$ - элементарное приращение сопротивления проводника, соответствующее элементарному приращению температуры ΔT .

Для чистых металлов в твердом состоянии $TK\rho$ должен быть близок к температурному коэффициенту объема идеальных газов, т.е. $1/273 = 0,00367 \text{ K}^{-1}$. При фазовом переходе из одного агрегатного состояния в другое удельное электрическое сопротивление металлов изменяется скачкообразно. Однако у металлов, плотность которых при плавлении уменьшается (висмут, сурьма и галлий), удельное электрическое сопротивление при плавлении снижается.

Средний температурный коэффициент удельного электрического сопротивления металлов (1/град) в диапазоне температур

$$\alpha\rho = \frac{1}{\rho_0} - \frac{\rho_T - \rho_0}{T - T_0} \quad (14)$$

где ρ_0, ρ_T - значения ρ , соответствующие температурам T_0 и T .

Если через пластину площадью S и толщиной Δl за время t проходит тепловой поток энергией θ , то между поверхностями противоположных граней создается разность температур ΔT , связанная с θ соотношением

$$\theta = \lambda S \frac{\Delta t}{\Delta l}. \quad (15)$$

Параметр λ называют коэффициентом теплопроводности. Коэффициент теплопроводности проводников прямо пропорционален их удельной проводимости. Чем выше электропроводность металла, тем больше его теплопроводность. Поэтому теплоотводящие устройства, например мощных резисторов, полупроводниковых

приборов, изготавливают из металлов с высокой электропроводностью (медь, алюминий и сплавы на их основе).

1.4 Технологические свойства металлов и сплавов

Технологические свойства металлов характеризуют поведение материалов в процессе изготовления из них деталей. Под технологичностью следует понимать легкость проведения технологических операций. Это означает, что уровень технологических свойств определяет возможность применения той или иной технологии. Низкая технологичность материала может являться причиной брака или вызывает снижение производительности обработки.

Основные технологические процессы, применяемые при изготовлении деталей: литье, обработка давлением, обработка резанием, сварка.

Технологичность в процессе литья.

Технологичность при литье оценивается *жидкотекучестью* материала и *усадкой*. Жидкотекучесть характеризует способность материала заполнять литейную форму. Представим себе трубку, в которую заливают жидкий металл. По мере прохождения по этой трубке металл остывает, и его перемещение прекращается, когда произошло затвердевание. Таким образом, жидкотекучесть лучше у того металла, который имеет более низкие температуры плавления.

При производстве фасонного литья, т.е. изделий сложной формы, материал должен обладать малой усадкой, т.е. его объем должен мало изменяться (уменьшаться) при затвердевании. В чугунах это достигается за счет наличия в структуре свободного углерода — графита. Поскольку его плотность значительно меньше плотности железа, т.е. он имеет больший удельный объем, достигается меньшая усадка. Малой усадкой обладают также бронзы, так как для бронзового литья характерна большая пористость; коэффициент усадки бронз менее 1 %, чугуна — около 1,5 %, тогда как для сталей он превосходит 2 %.

Обрабатываемость давлением. Обрабатываемость давлением (прокат,ковка и др.) зависит от пластичности металла. Напомним, что только для металлов возможна обработка давлением. Это связано с тем, что пластичность определяется металлическим, гибким, ненаправленным типом связи.

Остановимся особо на обрабатываемости давлением сталей — основного конструкционного металла. Чугуны из-за высокой хрупкости и весьма малой пластичности не могут быть обработаны методами пластической деформации. Пластичность стали тем выше, чем меньше в ней содержание углерода и вредных примесей — серы и фосфора

Повышенное содержание серы вызывает в стали *красноломкость* — разрушение при горячей пластической деформации.

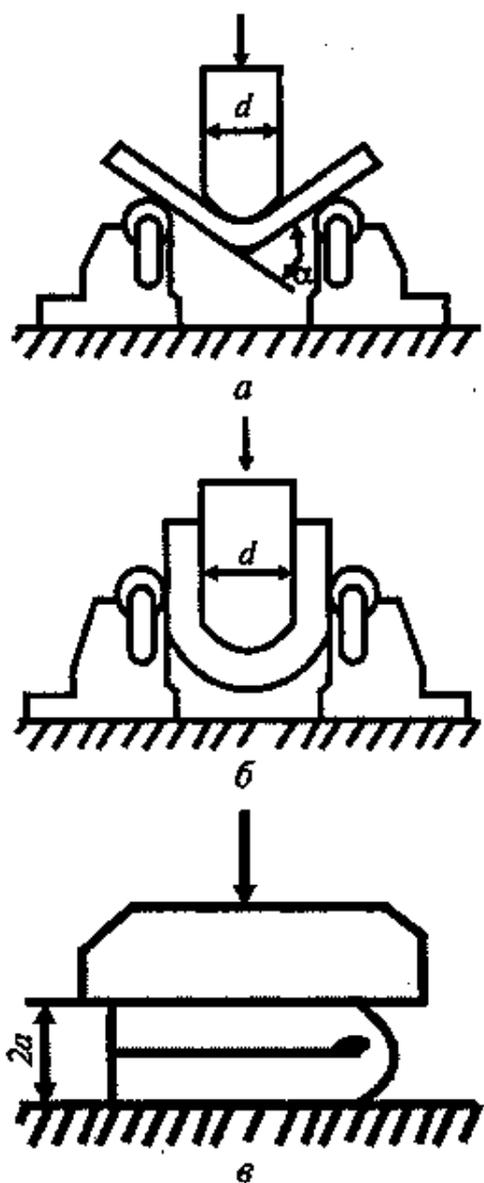
В промышленности при изготовлении деталей из стали, широкое распространение получила технология холодной пластической деформации. Это операции листовой (вытяжка, гибка) и объемной (высадка) штамповки.

В сталях для особо сложной штамповки с большими степенями деформации содержание углерода не должно превышать 0,08 %. При содержании углерода от 0,20 % до 0,30 % можно производить гибку деталей и незначительную вытяжку, а при содержании от 0,30 % до 0,40 % только гибку с большим радиусом.

Для оценки возможности проведения операций с определенной степенью деформации применяют различные технологические испытания (пробы), имитирующие процесс холодной пластической деформации. В зависимости от сортамента металла используют следующие технологические пробы: *на загиб, на перегиб, на скручивание, на вытяжку сферической лунки*.

Испытания на загиб производятся в специальном приспособлении, металл может быть в холодном и нагретом состояниях. Их применяют для листового, полосового и фасонного материалов. Цель — определение способности металла принимать заданный по форме и размерам загиб.

Толщина образца должна быть равной толщине материала, ширина — двойной толщине, но не менее 10 мм. Различают три вида загиба, показанных на рисунках б а, б, в: загиб до определенного угла; загиб вокруг оправки до параллельности сторон, при этом толщина оправки регламентируется техническими условиями в зависимости от требований к пластичности; загиб вплотную до соприкосновения сторон образца («дублирование»).



a - загиб до определенного угла; b — загиб вокруг оправки до параллельности сторон; c — загиб вплотную до соприкосновения сторон

Рисунок 6 - Схема испытаний металла на загиб

Отсутствие в образце трещин, надрывов, расслоений или излома является свидетельством того, что металл выдержал испытания.

Испытания на перегиб служат для определения способности металла выдерживать повторный загиб и разгиб. Испытанию подвергают полосовой и листовый материалы толщиной не более 5 мм и проволоку (прутки) диаметром от 0,8 до 7 мм. Образец, зажатый одним концом, подвергают попеременному загибу влево и вправо.

За один перегиб считается загиб и разгиб на 90° . Испытания ведутся до разрушения. Число перегибов до разрушения задается, исходя из технических требований.

Испытание на скручивание проводится для проволоки диаметром до 10 мм. Для проволоки создается определенное натяжение (2 % от разрывного усилия), скручивание проводят с равномерной скоростью до разрушения. Показателем пластичности является количество скручиваний (это полный оборот на 360°), как показано на рисунке 7.

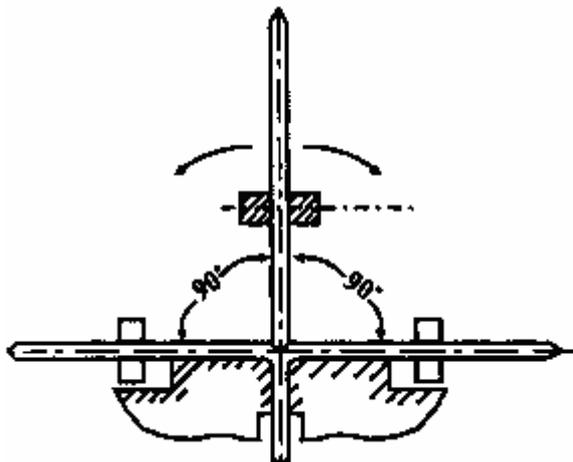


Рисунок 7 - Схема испытаний ленты и проволоки на гиб с перегибом

Испытания на вытяжку сферической лунки (метод Эриксона) проводятся на листе и ленте с толщиной от 0,1 до 2,0 мм для выяснения способности материала к холодной штамповке. Испытание заключается в вытяжке сферической лунки в образце, зажатом по контуру между матрицей и прижимным кольцом, путем вдавливания пунсона соответствующей формы, как показано на рисунке 8.

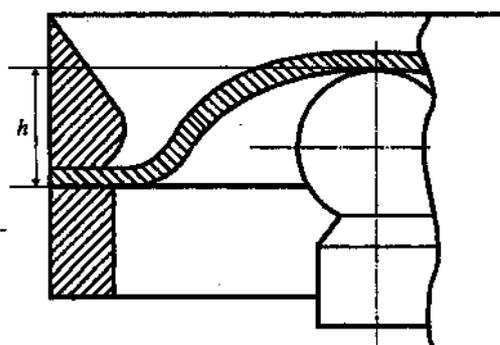


Рисунок 8 - Схема испытаний на вытяжку сферической лунки

Испытание прекращается при появлении мелких трещин на стороне, противоположной вдавливанию, которые обнаруживаются с помощью зеркала. Мерой способности металла к вытяжке является глубина k вытянутой лунки. Так, для сталей марок 05КП, 08КП, 08ПС и 10КП при толщине листа 0,5 мм глубина выдавливания должна быть не менее: 9,0 мм для стали весьма глубокой

вытяжки (ВГ); 8,4 мм для стали глубокой вытяжки (Г); 8,0 мм для стали нормальной вытяжки (Н).

Испытания на осадку характеризуют способность стали принимать холодную высадку. Их проводят на образце, высота которого равна удвоенному диаметру, а торцевые плоскости перпендикулярны оси. Испытания состоят в осаживании в холодном состоянии до определенной высоты, задаваемой техническими условиями (до 1/2 или 1/4 длины образца). На торцах и боковых поверхностях осаженного образца не должно быть трещин и надрывов.

Обрабатываемость резанием — это комплексная характеристика материала. Обрабатываемость оценивают рядом показателей: производительностью обработки, качеством обработанной поверхности, видом образующейся стружки. В зависимости от конкретных условий решающим может оказаться любой из критериев. Например, в условиях автоматизированного производства важнейшим является вопрос стружкообразования — стружка должна легко удаляться из зоны резания, т.е. быть элементной, а не сливной.

Наиболее распространенной является оценка обрабатываемости материала по производительности. Она оценивается скоростью резания, при которой достигается заранее заданная стойкость инструмента.

Производительность обработки тем ниже, чем выше твердость и прочность обрабатываемого материала. Кроме того, обрабатываемость зависит от структуры — наличие твердых частиц в структуре снижает обрабатываемость материала (так, увеличение содержания углерода в стали приводит к росту количества твердых карбидов в структуре, обрабатываемость при этом понижается). Обрабатываемость при прочих равных условиях ниже у материалов с малой теплопроводностью. При очень низкой твердости обрабатываемость также понижается. Материал имеет высокую пластичность, при обработке он налипает на режущий инструмент, что приводит к потере стойкости, а также к снижению качества обработанной поверхности.

Шероховатость обработанной поверхности зависит главным образом от твердости материала — более высокая твердость обеспечивает меньшую шероховатость, т.е. лучшее качество поверхности

Элементная, «сыпучая» стружка образуется в том случае, если в структуре присутствует фаза, обладающая малой прочностью (например, графит в чугунах).

В условиях массового автоматизированного производства необходимо использовать материалы, обладающие высокой обрабатываемостью (например, при производстве нормалей — винтов, болтов, гаек и т. п.). Для этих целей используют специальные материалы. К ним относятся *автоматные* стали и латуни (термин «автоматные» означает, что материал специально предназначен для обработки на автоматических станках).

Наиболее известны автоматные стали с повышенным содержанием серы. Сернистые включения в виде сульфидов нарушают сплошность металла, что приводит к дроблению стружки, кроме того, они оказывают смазывающее влияние. В автоматные латуни вводится свинец, его влияние аналогично.

Помимо автоматных сталей и латуней, к материалам с высокой обрабатываемостью относятся медные сплавы, чугуны без отбела.

К труднообрабатываемым материалам относятся нержавеющие и жаропрочные стали и сплавы; материалы с высокими твердостью и прочностью; сплавы на основе титана и тугоплавких металлов (вольфрама, молибдена, ниобия).

Свариваемость металлов. Это понятие можно разделить на физическую и технологическую свариваемость.

Физическая свариваемость — это свойство металла образовывать монолитное соединение. Такой свариваемостью обладают практически все технические сплавы и чистые металлы, а также ряд сочетаний металлов и неметаллов.

Технологическая свариваемость оценивает поведение металла в процессе сварки. Она характеризуется склонностью к окислению металла при сварочном нагреве; склонностью к образованию горячих и холодных трещин.

Склонность к окислению определяется химическими свойствами металла. Чем выше химическая активность, тем больше склонность к окислению и, соответственно, выше должна быть защита металла при сварке. К наиболее активным металлам относятся титан, цирконий, ниобий, тантал, вольфрам, молибден. При их сварке необходимо защищать не только расплавленный металл, но и прилегающий к сварочной ванне основной металл и остывающий шов. Сварку этих металлов следует выполнять в вакууме или в среде инертных газов высокой чистоты.

Высокой химической активностью отличаются также цветные металлы: алюминий, магний, медь, никель, сплавы на их основе. Их сварка должна выполняться в среде инертных газов или с использованием специальных покрытий или флюсов.

Склонность к образованию горячих трещин. Горячие трещины возникают в процессе кристаллизации, т.е. во время существования твердой и жидкой фаз, а также при высоких температурах в твердом состоянии. При высоких температурах прочность материала понижена, поэтому он может разрушаться вследствие воздействия напряжений, возникающих при усадке шва и уменьшении объема металла при охлаждении. Горячие трещины могут возникать как в самом шве, так и в околошовной зоне.

Склонность к образованию холодных трещин. Они могут возникнуть вследствие трещин при сварке: закалки нагретого металла при быстром охлаждении, когда металл теряет пластичность или под действием остаточных напряжений, возникающих в сварных соединениях. В целях предотвращения холодных трещин осуществляют подогрев зоны металла, прилегающей к сварному шву, с целью снижения скорости охлаждения.

1.5 Контрольные вопросы:

- 1) Какими механическими свойствами обладают проводниковые материалы?
- 2) В каких единицах измеряют относительное удлинение и сужение?
- 3) Что называют температурным коэффициентом линейного расширения?
- 4) Как связаны между собой удельное электрическое сопротивление и удельная электрическая проводимость?
- 5) Что называют твердостью, упругостью, вязкостью, пластичностью?

2 Практическая часть работы

Тема работы: Изучение свойств проводниковых материалов

Цель работы: Изучить основные свойства, область применения, требования и классификацию проводниковых материалов

2.1 Порядок выполнения работы:

- 1) изучить основные теоретические положения.
- 2) ответить на контрольные вопросы.

2.2 Содержание отчета:

- 1) тема и цель работы
- 2) краткие теоретические положения

Список использованных источников

- 1 **Филиков, В.А.** Электротехнические и конструкционные материалы / В.А. Филиков - М.: Мастерство, 2000. -340 с.
- 2 **Бородулин, А.С.** Электротехнические и конструкционные материалы / А.С.Бородулин - М.: Мастерство, 2000. -365 с.
- 3 **Журавлева, Л.В.** Электроматериаловедение /Л.В. Журавлева - М.: ПрофОбрИздат, 2002.- 312 с.
- 4 **Адашкин, А.М.** Материаловедение (металлообработка) / А.М.Адашкин - М.:ACADEMIA, 2002.- 240 с.
- 5 **Дроздов, Н.Г.** Электроматериаловедение. / Н.Г. Дроздов - М.: Профтехиздат, 2000. -260 с.
- 6 **Никифоров, В.М.** Технология металлов и конструкционные материалы / В.М. Никифоров - М.: Высшая школа, 2000.- 462 с.