

7.10.25

Урок №6

Тема: «Загальні відомості про провідникові матеріали та їх властивості».

Класифікація провідникових матеріалів

Провідникові матеріали — це матеріали, які здатні добре проводити електричний струм і мають підвищену електропровідність ($\gamma > 10^5$ См/м).

За агрегатним станом провідникові матеріали класифікують на:

тверді: метали, сплави металів, електровугільні та вугільно-графітні вироби, металокерамічні вироби;

рідкі: електроліти (розчини кислот, солей та лугів у воді), розплави солей та лугів, розплавлені метали;

газоподібні: йонізовані пари металів та йонізовані гази (плазма).

За значенням питомого електричного опору металеві провідникові матеріали поділяють на дві групи:

матеріали високої провідності, у яких питомий опір: $\rho < 0,05 \times 10^{-6}$ Ом•м (срібло, золото, мідь, алюміній, їхні сплави тощо);

матеріали високого опору, у яких питомий опір: $\rho > 0,3 \times 10^{-6}$ Ом•м (вольфрам, молибден, манганін, константан, ніхром, фехраль тощо).

Окремою групою визначають надпровідники та кріопровідники.

Матеріали високої провідності використовують для виготовлення струмопровідних жил проводів і кабелів, обмоток трансформаторів, електричних машин та апаратів, шин розподільчих пристроїв контактів, плавких вставок запобіжників тощо.

Матеріали з високим електричним опором застосовують для виготовлення елементів нагрівачів, дротяних резисторів і реостатів, точних вимірювальних приладів, термопар.

Надпровідники — це провідникові матеріали, які мають властивість переходити в надпровідниковий стан ($\rho \rightarrow 0$) при охолодженні до дуже низької (критичної) температури. За вказаних умов до надпровідників належать іридій ($-272,86$ °C), алюміній ($-271,8$ °C), олово ($-269,3$ °C), ртуть ($-268,8$ °C), свинець ($-265,8$ °C) та ін.

Одне з головних застосувань надпровідників пов'язане з отриманням дуже сильних магнітних полів напруженістю понад 10^7 А/м. Широко розробляють електричні машини з надпровідними обмотками збудження. Застосування надпровідників дає змогу вилучити з машин магніто-

проводи з електротехнічної сталі, завдяки чому при збереженні потужності в 5–7 разів зменшуються маса та габаритні розміри машини.

Властивості провідникових матеріалів

Фізико-хімічні властивості

Як провідникові тверді матеріали використовують метали, сплави металів і неметалеві матеріали (вугілля, графіт тощо).

Для металів характерні три типи кристалічних ґраток: кубічна об'ємноцентрована, кубічна гранецентрована й гексагональна (рис. 2.2).

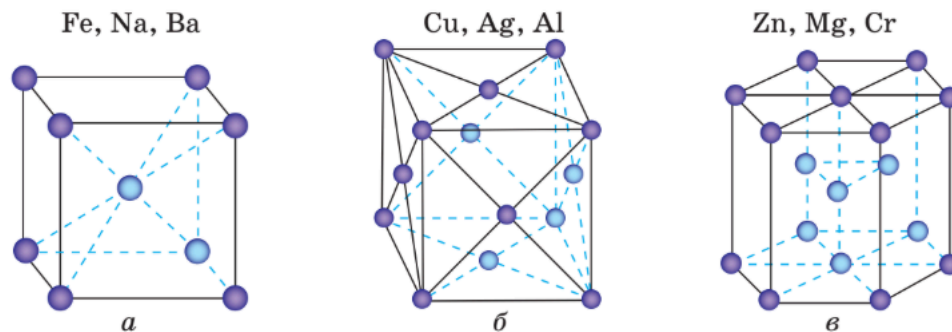


Рис. 2.2. Основні типи кристалічних ґраток металів: а) кубічна об'ємноцентрована; б) кубічна гранецентрована; в) гексагональна

Електрофізичні властивості металів виражені в їхній електропровідності. Вважають, що всі метали мають високу електропровідність, тобто добре проводять струм.

З підвищенням температури електропровідність металів зменшується, а опір — збільшується.

Електропровідність — здатність металу проводити електричний струм. Найбільшу провідність мають метали, валентна зона яких заповнена не повністю, а саме з одним електроном на зовнішній орбіті. Для них потрібне мінімальне порушення (зовнішнє електричне поле), щоб відбулося переміщення електронів на більш високі підрівні, тобто виник електричний струм. Найвищу електропровідність мають такі метали, як срібло, мідь, золото, алюміній. І саме з нею пов'язане використання цих металів в електротехніці.

Питомий електричний опір ρ — фізична величина, яка кількісно характеризує здатність атомів речовини створювати протидію проходженню електричного струму.

$$\rho = \frac{1}{\gamma}.$$

Електричний опір R провідника визначають співвідношенням:

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

де l — довжина провідника, м;

S — площа поперечного перерізу провідника, м²;

ρ — питомий опір певного матеріалу провідника, Ом•м.

Як ви вже знаєте, питомий опір металів залежить від температури.

Ця залежність визначається температурним коефіцієнтом питомого електричного опору $\alpha_{\text{кр}}$

($1/^\circ\text{C}$). Та сама зміна температури викликає в різних металів різну зміну опору. Для складання таблиць питомого опору металів використовують $t_0 = +20^\circ\text{C}$.

Щільність — кількість речовини в одиниці об'єму. За густиною всі метали поділяють на легкі та важкі. До легких належать метали, щільність яких менша від 6 г/см^3 : лужні — літій, натрій, калій, рубідій, цезій, лужноземельні — кальцій, стронцій, барій, а також магній, берилій, скандій, титан, алюміній, ітрій. Найлегшим металом є літій, щільність якого: $0,53 \text{ г/см}^3$, а найважчим — осмій, щільність якого: $22,7 \text{ г/см}^3$

Плавлення — здатність металу переходити з кристалічного (твердого) стану в рідкий з поглинанням теплоти. За температурою плавлення розрізняють метали: тугоплавкі — вольфрам ($+3422^\circ\text{C}$), тантал ($+2950^\circ\text{C}$), титан ($+1725^\circ\text{C}$) та ін.; легкоплавкі — олово ($+232^\circ\text{C}$), свинець ($+327^\circ\text{C}$) та ін. (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Фізичні властивості деяких металів

Назва металу	Хімічний символ	Питомий електричний опір ρ , мкОм·м	Температурний коефіцієнт питомого опору $TK_p \times 10^{-3}, K^{-1}$	Температура плавлення $t_{пл}, ^\circ C$	Температурний коефіцієнт лінійного розширення $TK_\alpha \times 10^6, K^{-1}$
Срібло	Ag	0,015	4,1	961	18,6
Мідь	Cu	0,017	4,3	1083	16,6
Золото	Au	0,023	3,9	1063	14,0
Алюміній	Al	0,026	4,1	660	21,0
Натрій	Na	0,042	5,5	98	72,0
Молібден	Mo	0,050	4,3	2623	5,3
Вольфрам	W	0,055	5,0	3422	4,4
Цинк	Zn	0,059	4,1	419	30,0
Кобальт	Co	0,064	6,0	1500	13,5
Калій	K	0,065	5,8	63	83,3
Нікель	Ni	0,068	6,7	1453	13,2
Кадмій	Cd	0,074	4,2	321	29,0
Літій	Li	0,086	4,5	180	56,0
Залізо	Fe	0,097	6,2	1540	10,7
Платина	Pt	0,098	3,9	1770	9,5
Олово	Sn	0,113	4,5	232	23,0
Хром	Cr	0,130	2,4	1900	6,2
Галій	Ga	0,136	3,9	30	18,1
Ніобій	Nb	0,150	3,9	2477	7,2
Свинець	Pb	0,190	4,2	327	28,3
Титан	Ti	0,470	5,5	1670	8,1
Барій	Ba	0,500	3,6	710	19,0
Ртуть	Hg	0,958	0,9	-38,87	182,0

Температура плавлення має велике значення при виборі металів для виконання паяних з'єднань, виготовлення термоелектричних приладів та інших виробів.

Ртуть — єдиний метал, який за нормальних умов перебуває в рідкому агрегатному стані. Температура плавлення ртуті — $-38,87^\circ C$, тобто у твердому стані вона може існувати в місцях, де дуже холодно. За кімнатної температури ($+18^\circ C$) ртуть починає випаровуватися.

Вважають, що найнижчу температуру плавлення має метал гелій: за нормального тиску він залишається рідким за будь-яких низьких температур.

Теплопровідність — здатність металу з тією чи іншою швидкістю проводити теплоту під час нагрівання.

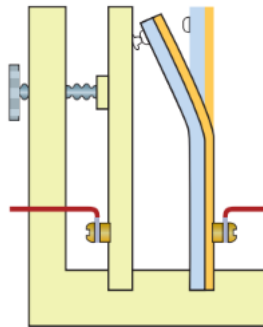
Найкращі електричні провідники мають також найкращу теплопровідність.

Теплове розширення — здатність металу збільшувати свій об'єм при нагріванні. Відомо, що всі метали при нагріванні розширюються, а при охолодженні стискаються. Ступінь збільшення або зменшення початкового лінійного розміру деталі при зміні температури на один градус

характеризується коефіцієнтом лінійного розширення. При спостереженні за зміною об'єму деталі використовують коефіцієнт об'ємного розширення.

Різницю коефіцієнтів теплового розширення металів використовують у виготовленні пластин із біметалу, які застосовують у складі різних систем терморегулювання, а також у термореле багатьох модифікацій. Елемент, що має властивість деформуватися (згинатися) в одному

напрямку під впливом підвищеної температури, отримав назву **біметалева пластина**.



*Рис. 2.3. Біметалева
пластина: вигинання
при нагріванні*

У складі пластини є два метали. Кожний із них має свою величину коефіцієнта теплового розширення. При нагріванні такої пластини один її компонент розширюється на певну величину,

а другий — на іншу. Це призводить до вигину, форма якого залежить від різниці теплових коефіцієнтів (рис. 2.3). При охолодженні пластина знову набуває вихідного положення. Щоб з'єднати метали в єдиний біметал, застосовують паяння, зварювання і заклепки.

Прикладом поширеної біметалевої пластини є з'єднання латуні та сталі. Такий композит має високу термочутливість.

Хімічні властивості металів.

Метал або сплав вважають **корозієстійким**, якщо він добре опирається впливу зовнішнього агресивного середовища.

Залежно від корозійної стійкості в тому чи тому середовищі метали й сплави поділяють на кілька груп:

- корозієстійкі (нержавіючі) металеві матеріали; стійкі до корозії в атмосфері, ґрунті, морській і прісній воді та в інших середовищах;
- жаротривкі (окалиностійкі) металеві матеріали; стійкі до корозії в газових середовищах за температур понад +550 °С і працюють у ненавантаженому або слабо навантаженому стані, здатні протистоять утворенню окислини за підвищених температур;

- жароміцні металеві матеріали; працюють у навантаженому стані за високих температур протягом певного часу й мають при цьому достатню жаротривкість;
- кислотостійкі металеві матеріали; стійкі проти корозії в агресивних кислотних середовищах (у кислотах та їхніх сумішах різної концентрації).

Технологічні властивості:

ковкість — здатність металу змінювати свою форму в нагрітому або холодному стані під дією зовнішніх сил;

-зварюваність — здатність двох частин металу міцно з'єднуватися одна з одною під час нагрівання;

-рідкоплинність — здатність розплавленого металу легко розтікатися й добре заповнювати форму;

-механічне оброблення тиском або різанням — здатність матеріалу піддаватися механічному обробленню;

-усадка — небажане зменшення лінійних розмірів та об'єму матеріалів унаслідок втрати ними вологи, ущільнення, твердіння чи інших фізико-хімічних процесів. Спостерігають у металах (сплавах), керамічних матеріалах, бетонах тощо.

Механічні властивості

Механічні властивості матеріалів пов'язані з поняттям про навантаження, деформацію та механічні напруження. До механічних властивостей належать міцність, пружність, пластичність, в'язкість, твердість тощо.

Міцність — це властивість матеріалів, не руйнуючись, чинити опір дії прикладених зовнішніх сил. Міцність матеріалів характеризується умовною величиною — межею міцності.

Залежно від швидкості прикладання навантаження розрізняють статичні й динамічні випробування матеріалів (рис. 2.4). Під час статичного випробування навантаження додається повільно й зростає поступово; при динамічних випробуваннях — з високою швидкістю.

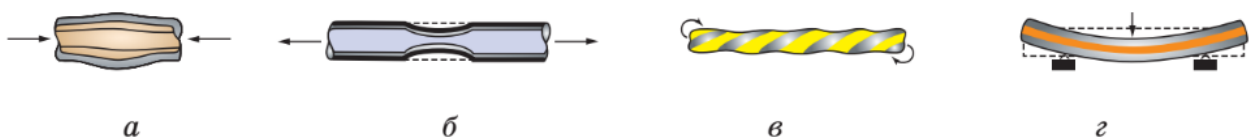


Рис. 2.4. Прикладання навантаження при статичному випробуванні:
а) при стисненні; б) при розтягуванні; в) при крученні; г) при вигинанні

Пружність — здатність матеріалів змінювати свою форму під дією зовнішніх сил і відновлювати її після припинення дії цих сил.

Пластичність — здатність матеріалів, не руйнуючись, змінювати свою форму під дією зовнішніх сил і зберігати нову форму після припинення дії сил. Пластичність металів (здатність прокату- ватися в тонкі листи, витягуватися в дріт) зменшується в такому ряду: золото, срібло, мідь, свинець, цинк, залізо. Сталь значною мірою пластична, і при нагріванні її пластичність зростає. Цю властивість використовують при отриманні виробів шляхом прокатування та кування.

Крихкість — властивість матеріалу руйнуватися відразу після дії прикладених до нього сил, не показуючи жодних ознак деформації (наприклад, скло).

В'язкість — здатність матеріалу поглинати механічну енергію і при цьому проявляти значну пластичність. Тверді матеріали з високою в'язкістю швидко гасять вібрації, які є причиною передчасного руйнування конструкцій. Наприклад, чавун має високу в'язкість. Для виготовлення станин верстатів і корпусних деталей чавун цінніший від вуглецевої сталі.

Ударна в'язкість — здатність матеріалу чинити опір ударним навантаженням, які швидко зростають. Це робота, витрачена на ударний злам зразка. За цією характеристикою оцінюють опір матеріалу проти крихкого руйнування.

Втома — зміна механічних і фізичних властивостей матеріалів під дією сил, які циклічно змінюються під час напружень і деформацій. В умовах дії таких навантажень у деталях під час роботи утворюються й розвиваються тріщини, які призводять до повного їхнього руйнування.

Твердість — здатність матеріалу чинити опір вдавненню в нього іншого, більш твердого матеріалу. За ступенем твердості всі метали значно різняться. Наприклад, калій та натрій — м'які метали, їх навіть можна різати ножом, а хром за твердістю близький до алмазу. Чавун і сталь мають високу твердість, свинець — низьку.

Для перевірки твердості матеріалів існує три методи випробування, названі за іменами їхніх винахідників, — Брінелля, Роквелла, Віккерса (рис. 2.5, с. 20).

Випробування за **методом Брінелля** проводять шляхом вдавлювання в матеріал сталевोї загартованої кульки протягом певного часу. У результаті на поверхні матеріалу (попередньо зачищеного напилком) утворюється сферичний відбиток.

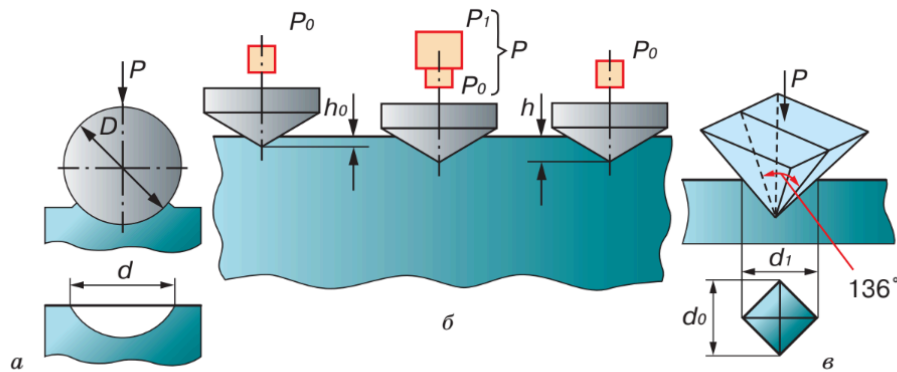


Рис. 2.5. Схеми методів визначення твердості:
а) за Брінеллем; б) за Роквеллом; в) за Віккерсом

Випробування за **методом Роквелла** здійснюють шляхом вдавлювання в матеріал алмазного конуса з кутом при вершині 120° або сталевій кульки $D = 1,59$ мм під певним навантаженням (рис. 2.5, б).

Випробування за методом Віккерса здійснюють шляхом вдавлювання в поверхню (шліфовану чи навіть поліровану), що підлягає випробуванню, чотиригранної алмазної пірамідки з кутом при вершині 136° під навантаженням від 10 до 500 Н (рис. 2.5, в).

Питання для самоконтроля

1. Сутність провідникових матеріалів?
2. Класифікація провідникових матеріалів?
3. Фізико-хімічні властивості провідникових матеріалів?
4. Хімічні властивості провідникових матеріалів?
5. Технологічні властивості провідникових матеріалів?
6. Механічні властивості провідникових матеріалів?

Домашнє завдання

1. Опрацювати матеріал уроку
2. Знати відповіді на питання для самоконтролю