

Лекція 14 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТАЛІВ

- 1 Уявлення про метали
- 2 Класифікація металів
- 3 Особливості будови металів
- 4 Фізичні властивості металів
- 5 Хімічні властивості металів
 - 5.1 Взаємодія з неметалами
 - 5.2 Відношення до води
 - 5.3 Відношення до кислот
 - 5.4 Відношення до лугів
 - 5.5 Взаємодія з солями інших металів
- 6 Взаємодія різних металів. Сплави
- 7 Добування металів
 - 7.1 Збагачення руди
 - 7.2 Вилучення металів із руд
 - 7.3 Одержання чистих металів
- 8 Висновки
- 9 Запитання для самоперевірки

14.1 УЯВЛЕННЯ ПРО МЕТАЛИ

Слово «метали» походить від грецького *metallon* – шахта, копалина. Однак з часом наповнення терміна змінилося і тепер в нього вкладають інший зміст.

Метали – це речовини, які мають певні особливості у будові атомів і кристалів та за звичайних умов виявляють специфічні характерні властивості: високу електропровідність, теплопровідність, від’ємний температурний коефіцієнт електричної провідності, здатність добре відбивати світлові хвилі (блиск), пластичність.

Більшість металів достатньо поширена в природі. Так, вміст деяких металів в земній корі наступний: алюмінію – 8,2%, заліза – 4,1%, кальцію – 4,1%, натрію – 2,3%, магнію – 2,3% (в тому числі, в морській воді міститься натрію – 1,05% і магнію – 0,12%), калію – 2,1%, титану – 0,56%.

В природі метали зустрічаються у різних формах:

- у вільному стані – у вигляді самородків. До цієї групи належать виключно малоактивні метали, які називають дорогоцінними, або благородними (срібло, золото, платина, інколи мідь, ртуть);
- у зв’язаному стані – у формі складних сполук:
 - ✓ оксидів – простих (магнетит Fe_3O_4 , гематит Fe_2O_3) і змішаних (каолін $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, алуніт $(\text{Na},\text{K})_2\text{O} \cdot \text{AlO}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ та ін.
 - ✓ солей: сульфідів (галеніт PbS , кіновар HgS) хлоридів (сильвін KCl , галіт NaCl , сильвініт $\text{KCl} \cdot \text{NaCl}$, карналіт $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), сульфатів (барит BaSO_4 , ангідрид CaSO_4 , гіпс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), фосфатів (апатит $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), карбонатів (крейда, мармур CaCO_3 , магнезит MgCO_3).

Очевидно, що метали середньої хімічної активності зустрічаються у формі оксидів чи сульфідів (FeO , ZnS), а більш активні метали – найчастіше у формі солей (NaCl , $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$).

Багато металів як домішки часто входять до складу основних природних мінералів і руд. Наприклад, скандій присутній в олов’яних і вольфрамових рудах, кадмій – в цинковій

руді, ніобій і тантал – в олов'яних рудах, марганець, нікель, кобальт, молібден, титан, германій, ванадій – у залізняка.

Слід згадати, що в золото, срібло і платина в малих кількостях присутні в морській воді, рослинах, живих організмах, відіграючи при цьому важливу роль. Відомо, що організм людини на 3 % складається з металів: кальцію (у кістках) і натрію, що виступає в ролі електроліту в міжклітинній рідині і цитоплазмі, магній накопичується в м'язах і нервовій системі, мідь – у печінці, залізо – в крові.

З хімічної точки зору металами називаються прості речовини, атоми яких на зовнішній оболонці містять невелику кількість електронів (від одного до трьох), мають великі ефективні радіуси, низькі значення потенціалів іонізації та високі відновлювальні властивості.

До класу металів належать як власно **метали** (прості речовини), так і їх сплави. Іноді металами називаються всі речовини, яким притаманні ті чи інші металічні властивості, наприклад, органічні метали, «синтетичні» метали **інтеркалати** – електропровідні сполуки, що утворюються внаслідок впровадження деяких реагентів у міжшаровий простір кристалічної решітки речовин з шаруватим типом структури.

Серед 118 вивчених елементів 95 вважаються металами, хоч межа між металами й неметалами в періодичній системі є досить умовною – від В до At (рис. 14.1). Однак слід зауважити, що існує група елементів, що виявляють проміжні властивості, – напівметали.

	IA											III A IV A V A VI A VII A						O
1	H											B	C	N	O	F	He	
2	Li	Be											Al	Si	P	S	Cl	Ar
3	Na	Mg	III B	IV B	V B	V I B	V II B	VII			IB	IIB						
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	+Ac	Rf	Ha	Sg	Ns	Hs	Mt	110	111	112	113					

Лантоноїди	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
Актиноїди	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

 - Лужні метали	 - Лужноземельні метали	 - Перехідні d-метали	 - Амфотерні p-метали
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Рисунок 14.1 – Розташування металів та неметалів у Періодичній системі елементів

Напівметали – хімічні елементи, що займають проміжну позицію за своїми електрофізичними властивостями між власно металами і напівпровідниками.

Важливою ознакою напівметалів є достатньо висока електропровідність при абсолютному нулі, яка на відміну від звичайних металів, зростає з підвищенням температури. Напівметали характеризуються менш щільною кристалічною структурою порівняно з металами і анізотропними властивостями. **Анізотропія** – нерівноцінність фізичних властивостей (механічних, оптичних, електричних тощо) речовини залежно від кристалографічного напрямку.

До напівметалів відносять германій Ge, миш'як As, сурму Sb, олово Sn, інколи – вісмут Bi, полоній Po, астат At і телур Te, а також алотропну модифікацію карбону – графіт. Напівметали за хімічними властивостями більше походять на неметали, але за типом електричної провідності – на провідники.

Крім металів, напівметалів і неметалів, є ще одна група елементів – напівпровідники, що відрізняються особливим типом електричної провідності.

Напівпровідники – речовини, які за своєю питомою провідністю займають проміжне місце між провідниками і діелектриками і відрізняються від провідників сильною залежністю питомої провідності від концентрації домішок, температури і дії різних видів випромінювання.

Основною властивістю напівпровідників є збільшення електричної провідності із зростанням температури. До напівпровідників належать багато хімічних елементів (германій Ge, кремній Si, селен Se, олово Sn, телур Te, миш'як As та інші), величезна кількість сплавів і хімічних сполук. Найпоширенішим в природі напівпровідником є кремній Si, що становить майже 30 % земної кори.

На перший погляд здається, що у віднесенні деяких хімічних елементів одночасно до напівметалів і напівпровідників (германій Ge, миш'як As, сурма Sb, олово Sn) або до напівпровідників і неметалів (карбон C) криється протиріччя. Однак насправді такий збіг пояснюється явищем поліморфізму.

Поліморфізм – це здатність однієї речовини у твердому стані утворювати різні кристалічні структури, що відрізняються одна від одної не тільки будовою кристалічних решіток, але і властивостями.

Наприклад, олово може існувати як у металічній (β -Sn), так і в напівпровідниковій модифікаціях (α -Sn), для однієї поліморфної модифікації хімічного елемента арсену As – сірого миш'яку – характерні електропровідність і металевий блиск, у той час як інша поліморфна модифікація – жовтий миш'як – є типовим неметалом. З іншого боку, у германію Ge, кремнію Si і навіть фосфору P за умов високого тиску знайдені модифікації з металічною електро- і теплопровідністю.

Поліморфні модифікації металів у міру зростання їх температур плавлення позначають буквами грецького алфавіту: найбільш низькотемпературній модифікації надають символ α , потім β і т.д.

14.2 КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТАЛІВ

Існує багато класифікацій металів – залежно від характерної ознаки, яка розглядається. При цьому один і той самий метал може одночасно належати до різних класифікаційних груп. З точки зору хімії найважливішою є класифікація на підставі електронної будови атомів. Однак для інженера-фахівця корисно мати уявлення і про інші класифікації металів: за поширенням у природі, за фізичними властивостями тощо.

1. **Геохімічна класифікація**, яка склалася історично, поділяє метали на чорні та кольорові. Слід зазначити, що геохімічна класифікація дещо не співпадає з тією, що прийнята в металургії, згідно з якою до чорних металів відносять тільки залізо та сплави на його основі, а до кольорових – решту металів. А згідно з геохімічною класифікацією до групи чорних металів входить достатньо велика їх кількість.
- **чорні метали**, серед яких найтипівішими є залізо Fe, марганець Mn, хром Cr тощо (рис. 14.2). Ці метали мають темно-сіре забарвлення, високу температуру плавлення, велику твердість. Для деяких з них характерне явище поліморфізму (Fe, Co, Mn, Ti, Zr, U);
 - **кольорові метали**, що мають біле, жовте чи червоне забарвлення, низьку температуру плавлення, невелику твердість (рис. 14.3). Найтипівіший представник – мідь.

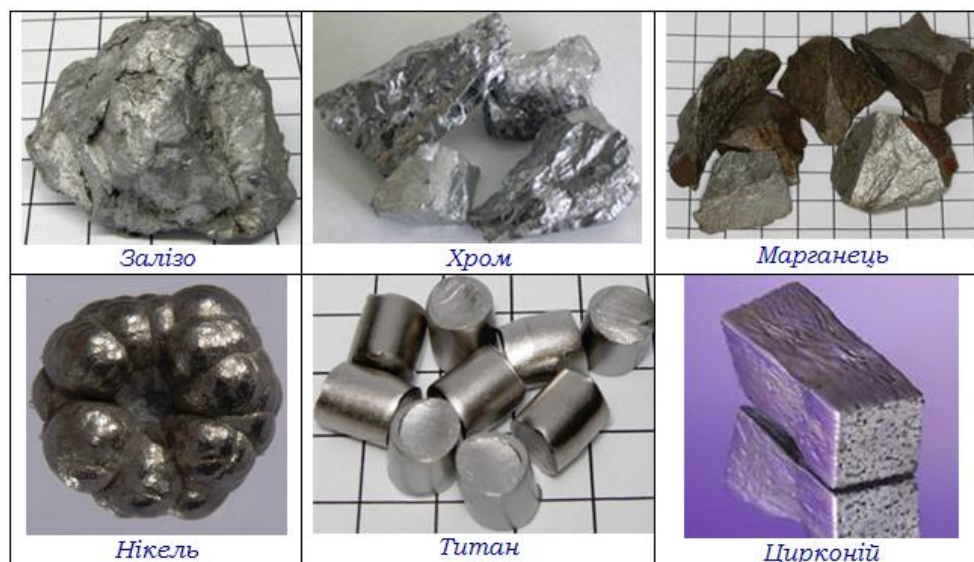


Рисунок 14.2 – Чорні метали

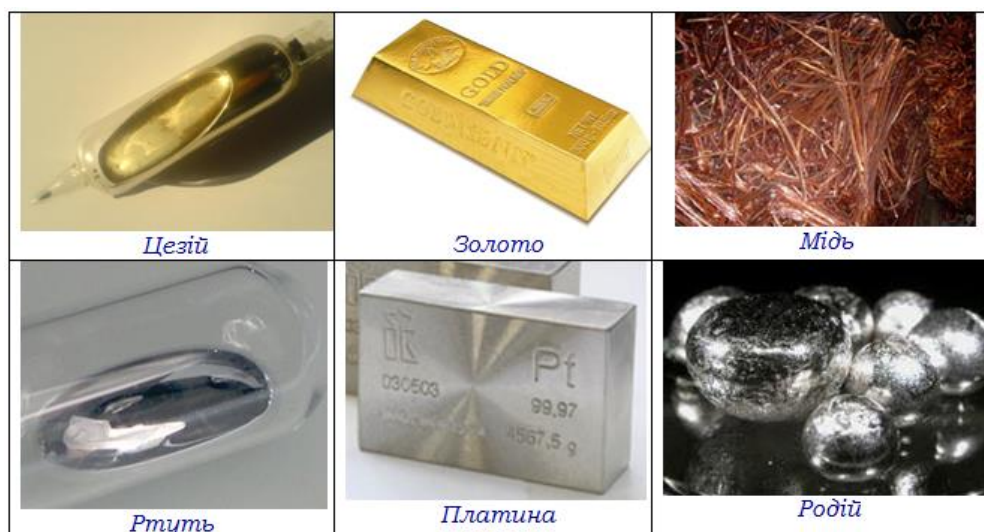


Рисунок 14.3 – Деякі кольорові метали

2. **За електронною конфігурацією** валентних орбіталей метали поділяються на електронні родини:
- **s-метали** – лужні та лужноземельні метали, а також магній Mg і берилій Be;

- **p-метали** – алюміній Al, галій Ga, індій In, талій Tl (головна підгрупа III групи), германій Ge, олово Sn, свинець Pb (головна підгрупа IV групи), бісмут Bi (головна підгрупа V групи), полоній Po (головна підгрупа VI групи);
- **d-метали** – елементи I-VIII-підгруп періодичної системи;
- **f-метали** – лантаноїди і актиноїди.

Перші дві групи (s- і p-метали) іноді називають **прості метали**, а дві останні (d- і f-метали) – **перехідні метали**, оскільки вони виконують функцію неначе сполучальної ланки між s- і p-металами і виявляють вторинну періодичність у змінюванні потенціалів іонізації, атомних радіусів, фізичних і хімічних властивостей.

3. **За природним походженням** (тобто за сумісним знаходженням в одних і тих мінералах, гірських породах чи рудних копалинах) метали поділяють на такі групи:

- **лужні метали** (літій Li, натрій Na, калій K, рубідій Rb, цезій Cs, францій Fr);
- **лужноземельні метали** (кальцій Ca, стронцій Sr, барій Ba, радій Ra);
- **родина заліза** – залізо Fe, кобальт Co, нікель Ni;
- **платинові метали** – рутеній Ru, осмій Os, паладій Pd, родій Rh, іридій Ir, платина Pt;
- **лантаноїди** – 14 металів, що стоять у періодичній системі елементів після лантану ${}_{57}\text{La}$ – від церію ${}_{58}\text{Ce}$ до лютецію ${}_{71}\text{Lu}$; інколи до цієї групи відносять і сам лантан; серед лантаноїдів є один радіоактивний метал – прометій ${}_{61}\text{Pm}$;
- **актиноїди** – 14 металів після актинію ${}_{89}\text{Ac}$, починаючи від торію ${}_{90}\text{Th}$ і закінчуючи лоуренсієм ${}_{103}\text{Lr}$; як і у випадку лантаноїдів, до родини актиноїдів часто приєднують і актиній; і всі актиноїди належать до радіоактивних елементів, причому у природі знайдені тільки Th, Pa, U, Np, Pu і Ac, а решта, від америцію ${}_{95}\text{Am}$ до лоуренсію ${}_{103}\text{Lr}$, одержані штучно;
- **рідкоземельні метали** – скандій Sc, ітрій Y, лантан La і лантаноїди.

4. **За конструкційними властивостями** з урахуванням механічних, фізичних, хімічних та інших особливостей метали поділяються на численні групи, наприклад:

- **важкі метали**, густина яких перевищує 5 г/см^3 , наприклад: мідь Cu, цинк Zn, свинець Pb, ртуть Hg, найважчим металом є осмій Os, густина якого дорівнює $22,6 \text{ г/см}^3$ (рис. 14.4);
- **легкі метали**, що мають густину менше 5 г/см^3 , наприклад: калій K, натрій Na, магній Mg, алюміній Al, найлегший метал – літій Li з густиною $0,53 \text{ г/см}^3$ (рис. 14.4);
- **легкоплавкі метали**, температури плавлення яких не перевищують 1500°C ; до них належать францій Fr ($T_{\text{пл}} = 18\text{-}21^\circ\text{C}$), цезій Cs ($T_{\text{пл}} = 28,5^\circ\text{C}$), галій Ga ($T_{\text{пл}} = 29,1^\circ\text{C}$), калій K ($T_{\text{пл}} = 62,3^\circ\text{C}$), натрій Na ($T_{\text{пл}} = 97,8^\circ\text{C}$), олово Sn ($T_{\text{пл}} = 231,85^\circ\text{C}$), свинець Pb ($T_{\text{пл}} = 327,4^\circ\text{C}$), а найлегкоплавкішою є ртуть Hg, температура плавлення якої дорівнює $T_{\text{пл}} = -38,9^\circ\text{C}$ (рис. 14.4);
- **тугоплавкі метали**, температури плавлення яких вище 1500°C : залізо Fe ($T_{\text{пл}} = 1539^\circ\text{C}$), молібден Mo ($T_{\text{пл}} = 2620^\circ\text{C}$), осмій Os ($T_{\text{пл}} = 3030^\circ\text{C}$); найтугоплавкіший метал – вольфрам W, температура плавлення якого складає $T_{\text{пл}} = 3420^\circ\text{C}$ (рис. 14.4);
- **благородні метали**, які виявляють підвищену хімічну стійкість до окиснювальних і агресивних реагентів; благородними металами є золото Au, срібло Ag, платина Pt, паладій Pd, родій Rh, іридій Ir, рутеній Ru, осмій Os;
- **радіоактивні метали** – це метали, усі ізотопи яких мають радіоактивні властивості: технецій ${}_{43}\text{Tc}$, прометій ${}_{61}\text{Pm}$, полоній ${}_{84}\text{Po}$ і всі метали з більшими, ніж у полонію, атомними номерами.

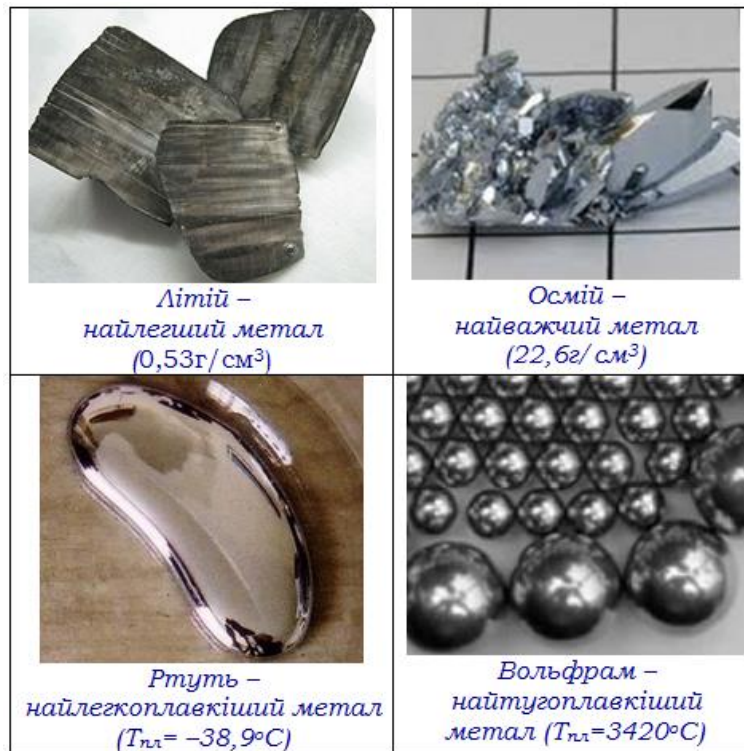


Рисунок 14.4 – Деякі фізичні властивості металів

5. **За походженням** виділяють такі групи елементів:
- **природні метали**, які входять до складу природних сполук. Це метали від Літію Li до Плутонію (${}_{94}\text{Pu}$);
 - **штучні метали**, що утворюються внаслідок ядерних реакцій. Окрему групу складають *радіоактивні елементи*, яких відомо 27: Технецій ${}_{43}\text{Tc}$, Прометій ${}_{61}\text{Pm}$, Полоній ${}_{84}\text{Po}$ та всі елементи, що розміщуються в періодичній системі за Полонієм.
6. **За розповсюдженням у природі** всі метали можна поділити на три умовні групи:
- **поширені метали** – це, по-перше, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, які разом з O і Si становлять 98,53% від маси земної кори, а також Zn, Cu, Mn, Cl, Ba, Sr та Cr. На всі інші елементи припадає лише 0,85%;
 - **рідкі метали** – малопоширені у природі або маловивчені метали, вміст яких у земній корі надто низький, наприклад: Літій Li, Рубідій Rb, Цезій Cs, Молібден Mo, Вольфрам W, Берилій Be, Цирконій Zr, Гафній Hf, Ванадій V, Ніобій Nb, Тантал Ta;
 - **розсіяні метали** – метали, що не утворюють власних родовищ і самостійних мінералів, а знаходяться з іншими металами як домішки, наприклад, Германій Ga, Цезій Cs.

14.3 ОСОБЛИВОСТІ БУДОВИ МЕТАЛІВ

У атомів металів на зовнішньому енергетичному рівні міститься невелика кількість валентних електронів (один, два чи – дуже рідко – три), слабо сполучених із ядром завдяки великим атомним радіусам та екранувальній дії внутрішніх електронних шарів. Валентні електрони можуть досить легко відриватися від атомів металів і становитися спільними для всього кристалу металу. Внаслідок цього в кристалічній решітці виникають позитивно

заряджені іони металу та **електронний газ** – сукупність рухливих електронів, які вільно пересуваються по кристалу металу (рис. 14.5).

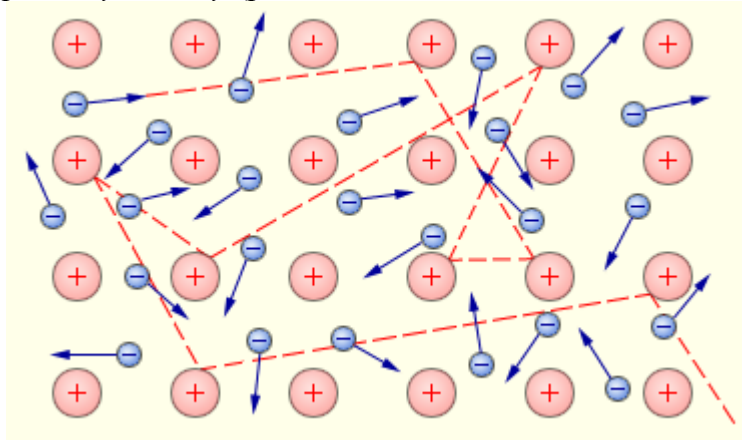


Рисунок 14.5 – Вільне переміщення електронного газу між вузлами кристалічної решітки в кристалі металу

Металічний зв'язок – це тип хімічного зв'язку в металах та їх сплавах, обумовлений взаємодією електронного газу, утвореного внаслідок усунювання валентних електронів, з остовом кристалічної решітки металу, у вузлах якої розміщуються позитивно заряджені іони металів.

Як наслідок кристал металу являє собою ряд позитивних іонів, локалізованих у певних положеннях кристалічної решітки, і велику кількість електронів, що порівняно вільно пересуваються в полі позитивних центрів. Загальна сума зарядів електронів відповідає загальній сумі позитивних зарядів вузлових частинок.

Просторова будова металів – це кристал, який можна уявити як клітку з позитивно зарядженими іонами у вузлах, занурену в негативно заряджений електронний газ (рис. 14.6). Всі атоми віддають свої валентні електрони на утворення електронного газу, що вільно переміщується усередині кристалу, не порушуючи хімічного зв'язку.

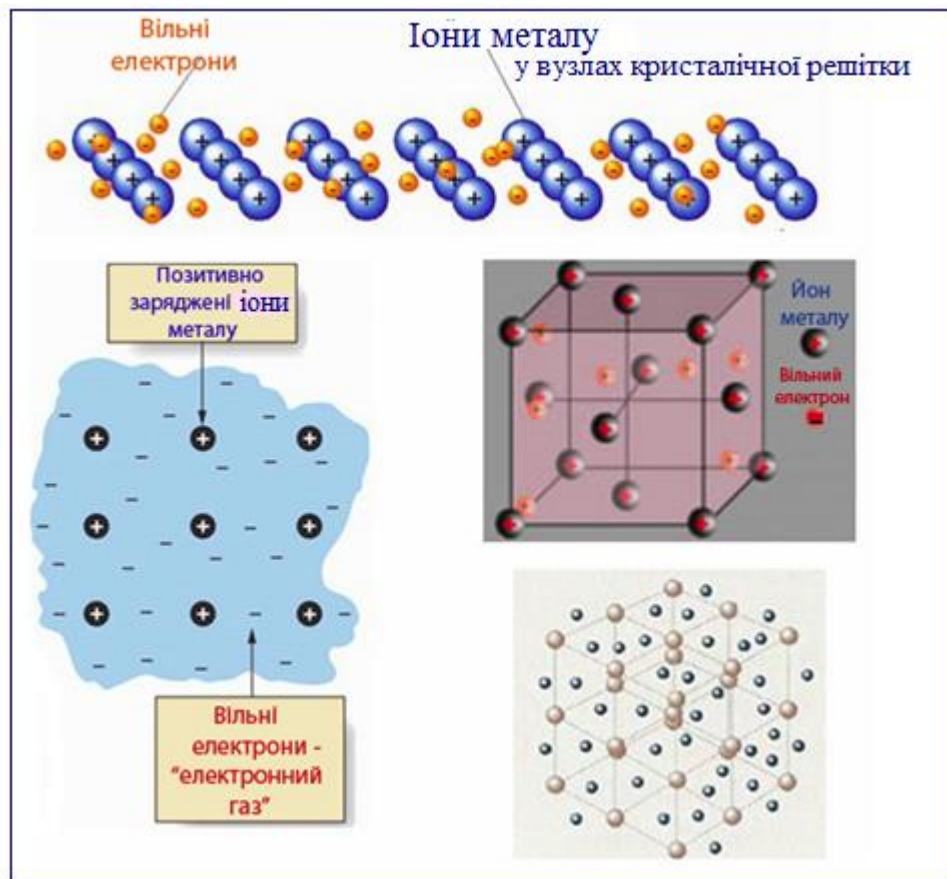


Рисунок 14.6 – Різновиди моделей металічного зв'язку

Електронна конфігурація атомів металів є причиною таких найважливіших властивостей металічного зв'язку:

- **багатоцентровість** – одночасне виникнення хімічного зв'язку між величезною кількістю вузлових частинок у кристалі; саме багатоцентровість забезпечує високу теплопровідність металів;
- **багатоелектронність** – здійснення хімічного зв'язку за рахунок усупільнення всіх валентних електронів, що знаходяться в кристалі металу; багатоелектронність зумовлює електропровідність металів;
- **ізотропність**, або **ненапрявленість** – рівномірний розподіл електронної густини за всіма напрямками; при цьому валентні електрони жорстко не закріплюються між двома атомами, як при ковалентному зв'язку, а переходять у стан провідності, внаслідок чого повністю делокалізуються і належать не одному конкретному атому, а однаковою мірою всім іонам у вузлах кристалічної решітки;
- **ненасиченість** – можливість утворення хімічних зв'язків між невизначеною кількістю атомів, яка обмежується лише геометричними параметрами (розмірами атомів) і взаємним відштовхуванням однойменно заряджених вузлових частинок; ненасиченістю пояснюються великі **координаційні числа** (як правило, 8 чи 12), які показують кількість найближчих вузлів кристалічної решітки, що оточують даний вузол.

Металічний зв'язок у чистому вигляді реалізується тільки у лужних і лужноземельних металів, а в решті металів поряд із металічним здійснюється і ковалентний зв'язок. У р-металах і особливо у перехідних d-металах тільки невелика частина електронів перебуває у

стані усупільнення. Наприклад, у типовому перехідному металі ніобії Nb на один атом припадає всього 1,2 узагальнених делокалізованих електронів. Інші валентні електрони утворюють напрямлений ковалентний зв'язок між сусідніми атомами. Саме цим пояснюються високі температури плавлення та велика механічна міцність d-металів.

Металічний зв'язок внаслідок наявності вільних електронів (електронного газу) та їх рівномірного розподілу по кристалу зумовлює характерні загальні властивості металів і сплавів, зокрема, високу тепло- та електропровідність, пластичність (здатність без руйнування зазнавати деформації при звичайних чи підвищених температурах), непрозорість і металічний блиск, зумовлений їх здатністю відбивати світло.

Великі координаційні числа металів забезпечують значну **щільність пакування кристалу** – так називають частку об'єму елементарної кристалічної комірки, безпосередньо зайняту іонами металу, при якій вони укладаються у просторі як кульки однакового розміру. Структура металічних кристалів визначається у першу чергу просторово-геометричними чинниками – намаганням атомів розміститися якомога щільніше.

Для металів найбільш характерними є три типи кристалічної решітки:

- *кубічна гранецентрована* з координаційним числом 12 і щільністю пакування 74 % (рис. 14.7 а), така решітка утворюється при кристалізації металів: алюмінію Al, кальцію Ca, міді Cu, срібла Ag, золота Au, а також поліморфної модифікації заліза Fe в інтервалі температур 911-1392°C;
- *кубічна об'ємноцентрована* з координаційним числом 8 і щільністю пакування 68 % (рис. 14.7 б); таку решітку мають метали літій Li, натрій Na, калій K, ванадій V, вольфрам W, хром Cr, свинець Pb, а також поліморфні модифікації заліза Fe до температури 911°C та від 1392°C до точки плавлення;
- *гексагональна* з координаційним числом 12 і щільністю пакування 74 % (рис. 14.7 в), в якій кристалізуються метали берилій Be, магній Mg, кадмій Cd, титан Ti, кобальт Co, цинк Zn.

Тільки незначна кількість металів має кристалічні структури, відмінні від розглянутих простіших типів, наприклад: ртуть Hg, індій In, окремі поліморфні модифікації урану U, марганцю Mn, нептунію Np.

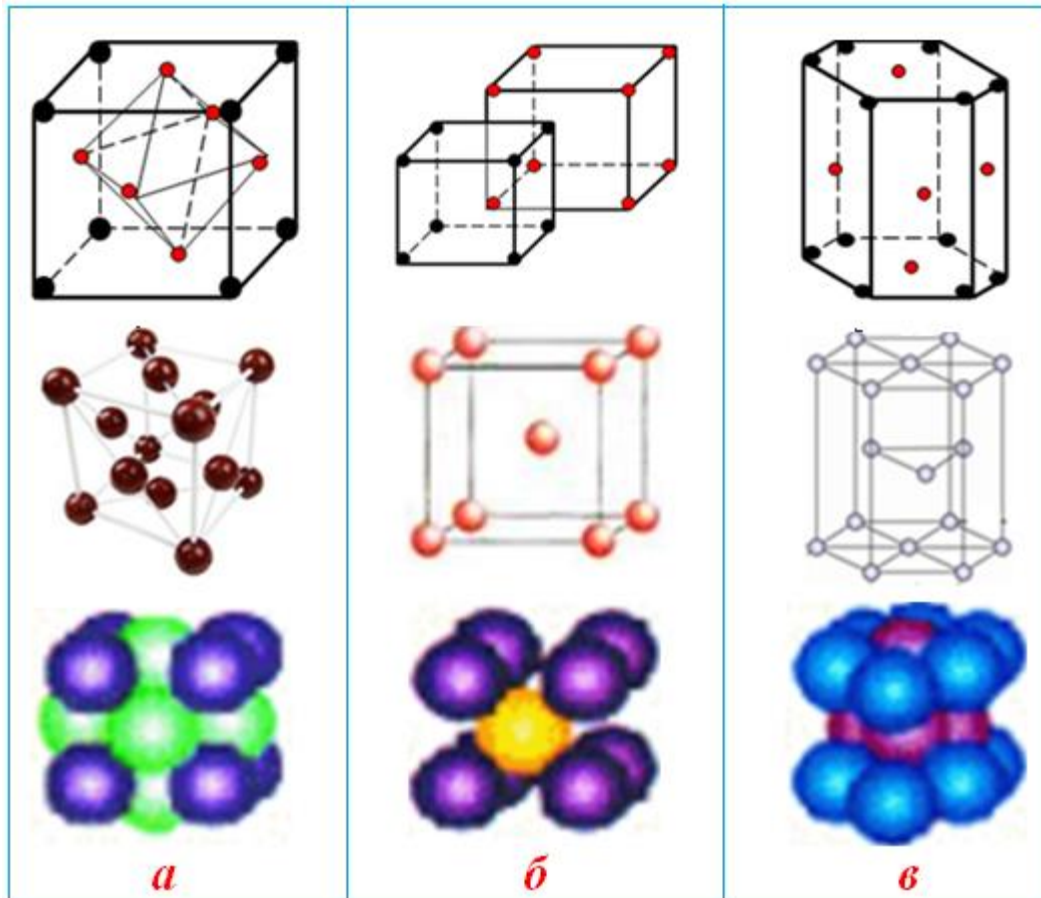


Рисунок 14.7 – Різновиди моделей кристалічних решіток металів: а) кубічна гранецентрована (Ca, Cu, Au, Ag, Al); б) кубічна об’ємноцентрована (Li, Na, K, Ba, Mo, W, Cr, Pb, V); в) гексагональна (Be, Mg, Zn, Ti, Cd, Zn, Co)

Під час кристалізації металів (наприклад, у процесі охолодження розплавів) одночасно утворюється величезна кількість дрібних кристаликів, які заважають один одному вирости і набути правильної форми. Тому будь-який металевий виріб має полікристалічну структуру, що складається із великої кількості дрібних кристаликів – їх називають **кристаліти**, або *зерна*, які на відміну від чітко огранених монокристалів інших неорганічних речовин мають неправильну форму і різну просторову орієнтацію. З цієї причини в кристалічній структурі металів виникають дефекти, які суттєво впливають на фізичні властивості металів.

14.4 ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ

Особливості будови атомів металів та їх кристалічної структури зумовлюють певні оптичні, механічні, теплові, електромагнітні та інші ознаки, сукупність яких складає фізичні властивості металів.

I. Оптичні властивості металів.

- **Металевий блиск** зумовлюється здатністю металів майже повністю відбивати світлові промені будь-якої довжини спектру. Цим пояснюється білий чи сірий колір більшості металів. Частка світла, що поглинається, визначає інтенсивність блиску. Найяскравіше блищать паладій, ірідій та срібло (рис. 14.8). Однак деякі метали (золото, мідь, цезій)

сильніше поглинають світло з певними довжинами хвиль, тому вони забарвлені у жовті чи червоні кольори. У порошкоподібному стані більшість металів набуває чорного чи темно-сірого кольору.



Рисунок 14.8 – Метали з найсильнішим блиском

- **Непрозорість** металів пов'язана із наявністю в кристалічній ґратці вільних рухливих електронів, які гасять світлові коливання, перетворюючи їх у теплоту чи, в деяких випадках, використовуючи їх енергію для вивільнення електронів зі своєї поверхні (явище фотоелектру).

II. Механічні властивості металів.

- **Пластичність** – здатність без руйнування піддаватися деформаціям за умов звичайних чи підвищених температурах, завдяки чому метали можна кувати, прокатувати, штампувати, витягувати у дріт тощо. Найбільш пластичний метал – золото. Пластичність металів забезпечується специфічними особливостями металічного зв'язку: завдяки багатоцентровості та багатоелектронності він не розривається при дії механічних навантажень, які викликають тільки зміщення (ковзання) окремих шарів кристалічної решітки один відносно одного і перерозподіл електронного газу, що зв'язує атоми металу.
- **Густина** – інша характеристика механічних властивостей, залежно від якої метали поділяються на легкі та важкі. Як вже зазначалося, до легких металів, густина яких не перебільшує 5 г/см^3 , належать всі s-метали, алюміній, титан і скандій, а до важких – в основному d-метали V-VII періодів. Найлегший метал – літій ($0,53 \text{ г/см}^3$), найважчий – осмій ($22,6 \text{ г/см}^3$).
- **Твердість** – опір проникненню у метал іншого твердого тіла. Найтвердішими металами є хром, молібден і вольфрам, а найменш твердими – індій та лужні метали.

III. Теплові властивості.

- **Теплопровідність** металів пояснюється тим, що вільні електрони обмінюються енергією з іонами, які знаходяться у вузлах кристалічної решітки. При нагріванні металу коливання іонів на його поверхні зростають, а енергія коливань через електронний газ миттєво передається сусіднім йонам, тому відбувається швидке вирівнювання температури по всій масі металу.
- **Питома теплоємність** для більшості металів має невисокі значення (менше $0,84 \text{ Дж/г}\cdot\text{К}$), але все ж таки може коливатися у достатньо широкому діапазоні від $3,55 \text{ Дж/г}\cdot\text{К}$ у літію до $0,115 \text{ Дж/г}\cdot\text{К}$ в урану.

IV. Електромагнітні властивості.

- **Електрична провідність** зумовлюється наявністю зони провідності (див. тему 5.4.5), на яку здатні легко переходити валентні електрони, що і забезпечує електропровідність металу. Максимальна електропровідність притаманна для металів, в атомах яких на зовнішньому s-підрівні міститься по одному електрону, це – хром, молібден і особливо мідь, срібло, золото.

- **Магнітна сприйнятливість** – це міра магнітних властивостей металів, які визначають їх поведінку у магнітному полі. Метали з негативною магнітною сприйнятливістю, які виявляють опір магнітним силовим полям, називаються **діамагнітні метали**. До них належать берилій, цинк, кадмій, ртуть, галій, германій. Метали з позитивною магнітною сприйнятливістю, які добре проводять магнітні силові поля, називають **парамагнітні метали**, а метали з особливо високою магнітною сприйнятливістю – **феромагнітні метали** (рис. 14.9). Парамагнітними є лужні, лужноземельні метали і метали побічних підгруп, а феромагнітними – тільки залізо, кобальт, нікель, гадоліній і диспрозій. Феромагнетизм зберігається лише до певної критичної температури – так званої *точки Кюрі*, – вище якої залишаються звичайні парамагнітні властивості.



Рисунок 14.9 – Феромагнітні метали

14.5 ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛІВ

Хімічні властивості металів залежать від електронної будови їх атомів, а саме від структури валентних енергетичних підрівнів і великих розмірів атомних радіусів (порівняно із атомними радіусами неметалів). Зовнішні електрони в атомах металів суттєво віддалені від ядра і слабо сполучені з ним, завдяки чому метали мають невисокі значення потенціалів іонізації, які характеризують їх відновлювальні властивості. Метали достатньо легко віддають свої валентні електрони, перетворюючись у позитивно заряджені іони.

Однак різним металам відновлювальна здатність притаманна неоднаковою мірою. Висновок про можливість взаємодії конкретного металу з тим чи іншим окисником можна зробити, виходячи зі знака енергії Гіббса ($\Delta G < 0$) чи із порівняння стандартних електродних потенціалів відповідних окисно-відновних систем: $\varepsilon_{\text{ок/відн}}^0 > \varepsilon_{\text{Me}^{n+}/\text{Me}}^0$. У загальному випадку відновлювальні властивості металів посилюються у межах підгруп періодичної системи елементів із зростанням порядкового номера, збільшенням атомних радіусів і зменшенням величин енергії іонізації. Деякі метали (наприклад, лужні та лужноземельні) настільки активні, що їх необхідно зберігати у запаяному посуді під шаром гасу, вазеліну чи парафіну.

14.5.1 ВЗАЄМОДІЯ З НЕМЕТАЛАМИ

Практичне значення має відношення металів до дії галогенів, кисню, сірки та інших простих речовин неметалів з окиснювальними властивостями.

1. Галогени. Серед галогенів окиснювальна здатність зменшується при переході від фтору до йоду, тому F_2 і Cl_2 окислюють всі метали, Br_2 – більшість, а I_2 – тільки найактивніші. При цьому активні метали швидко згорають в атмосфері F_2 і Cl_2 , з бромом реакція відбувається повільніше, а з йодом – при підпалюванні реакційної суміші (рис. 14.10). Внаслідок взаємодії утворюються солі – галогеніди металів:

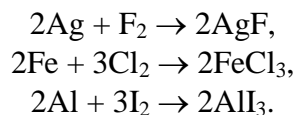
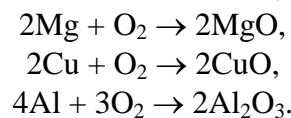
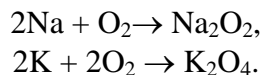


Рисунок 14.10 – Згоряння металів в атмосфері галогенів: а) магнію у хлорі; б) магнію у йоді; в) заліза у хлорі

2. Кисень. З киснем за тих чи інших умов взаємодіють майже всі метали, але менш енергійно. Як продукти, як правило, утворюються **оксиди металів**, причому не обов'язково вищі:



Лужні метали (за винятком літію, який окислюється до оксиду Li_2O) утворюють **пероксиди**, де кисень має ступінь окиснення -1 , чи **надпероксиди**, в яких кисень виявляє дробовий ступінь окиснення $-1/2$:



3. Сірка. Із сіркою, особливо при нагріванні чи у розплавленому стані, реагує більшість металів з утворенням бінарних сполук – **сульфіди металів** (рис. 14.11), наприклад:

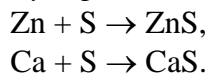
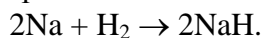


Рисунок 4.11 – Поетапний перебіг реакції, що відбувається

при взаємодії магнію з сіркою за схемою $Mg + S \rightarrow MgS$

4. *Водень*. З воднем взаємодіють переважно активні метали. Продуктами взаємодії є бінарні сполуки – **гідриди металів**, які бувають такими:

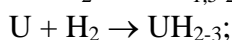
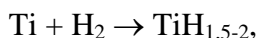
- *солеподібні*, які представлені гідридами лужних і лужноземельних металів, що утворюються внаслідок безпосередньої взаємодії між простими речовинами:



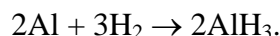
Солеподібні гідриди металів характеризуються іонним типом зв'язку, високою відновлювальною здатністю, доброю розчинністю у воді, при якій відбувається достатньо бурхлива реакція:



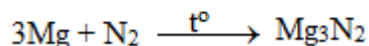
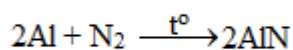
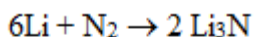
- *металоподібні гідриди*, які за характером хімічного зв'язку близькі до металів, а за складом належать до бертолідів, тобто не мають фіксованого стехіометричного співвідношення між компонентами:



- *ковалентні гідриди*, яким притаманна полімерна природа, – це гідриди таких металів, як Be, Mg, Al, Cu, Zn та ін.:



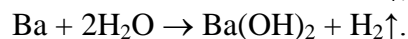
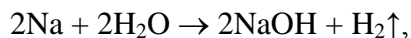
5. *Азот* є слабким окисником завдяки надзвичайно міцному хімічному зв'язку, тому на більшу частину металів він не діє. Лише деякі метали здатні згоряти в атмосфері азоту з утворенням бінарних сполук, які називаються **нітриди**, а за кімнатної температури у реакцію з ним може вступати тільки літій:



6. *Інші слабкі окисники* (вуглець, кремній, бор) при високій температурі утворюють з металами бінарні сполуки – **карбіди**, **силіциди**, **бориди** відповідно. Для багатьох із них характерні висока твердість (наприклад, WC, TiC, CrB₂), жароміцність (ZrC, MoB₅, TiN_x), хімічна стійкість (TiN_x, ZrN), тому вони застосовуються як абразиви, вогнетриви, матеріали різальних інструментів, жароміцні та хімічно стійкі покриття.

14.5.2 ВІДНОШЕННЯ ДО ВОДИ

Більшість металів не розчиняються у воді, однак майже всі *s-елементи*, крім берилію Be, вступають з нею у хімічну реакцію з утворенням відповідної основи і водню. При цьому рубідій Rb і цезій Cs реагують із вибухом, калій K – із самозайманням водню, який виділяється внаслідок реакції, натрій Na і літій Li – бурхливо, а метали ІІА-підгрупи – без згоряння:



p-Елементи, незважаючи на те, що стоять у ряді напруг до водню (рис. 14.12), не можуть розкласти воду, оскільки їх поверхня покрита хімічно стійкою оксидною плівкою, щільно з'єднаною з металом.

Послаблення відновлювальної активності металів

Li, K, Ba, Ca, Na, Mg, Al, Mn, Zn, Cr, Fe, Co, Sn, Pb, H₂, Cu, Hg, Ag, Au

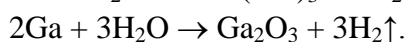
Li - s-метали,

Pb - p-метали,

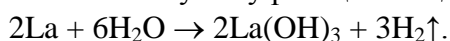
Ag - d-метали

Рисунок 14.12 – Електрохімічний ряд напруг металів

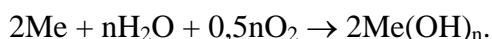
Однак якщо видалити захисну плівку чи перевести метал у тонкодисперсний стан (у вигляді порошку), то деякі з них здатні розчинятися у воді, наприклад, алюміній може взаємодіяти з рідкою водою при кімнатній температурі, а галій – при підвищеній температурі з парами води:



Серед *d*-елементів тільки лантан вступає у реакцію з водою



Дія води на метали посилюється за наявності розчиненого в ній кисню. При цьому деякі малоактивні метали, які за звичайних умов не взаємодіють з H₂O, окислюються аерованою водою за схемою



14.5.3 ВІДНОШЕННЯ ДО КИСЛОТ

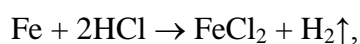
Оскільки метали згідно із їх природою та призначенням (конструкційні та інструментальні матеріали) можуть використовуватися у різному оточенні, то необхідно мати повну інформацію про їх поведінку у середовищах, які містять іони гідрогену, тобто у водних розчинах кислот чи тих солей, що утворені сильними кислотами і внаслідок гідролізу дають кислу реакцію середовища. Однак щоб прогнозувати можливість взаємодії кожного металу з тією чи іншою кислотою, слід аналізувати відомості про властивості як самого металу (активний, малоактивний, схильний до пасивації тощо), так і кислоти. За характером дії, в тому числі по відношенню до металів, кислоти умовно поділяють на дві групи:

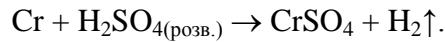
- *неокислювальні кислоти*, в яких окисником виступає іон гідрогену H⁺;
- *окислювальні кислоти*, в яких окисником є кислотний залишок за рахунок центрального атома, що перебуває у максимальному чи достатньо високому ступені окиснення.

Крім того, залежно від кількісного вмісту кислоти у розчині вони можуть бути *концентрованими* і *розведеними*, що також впливає на шлях перебігу реакції та склад продуктів, які при цьому утворюються.

I. Неокислювальні кислоти (розведена сульфатна H₂SO₄, галогеноводневі HF, HCl, HBr, HI, ортофосфатна H₃PO₄, оцтова CH₃COOH та інші слабкі кислоти) діють тільки на метали, що стоять у ряді напруг до водню і мають помітно від'ємне значення стандартного електродного потенціалу (рис. 14.12). У результаті таких реакцій виділяється вільний водень і утворюються солі.

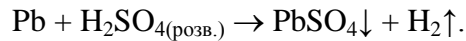
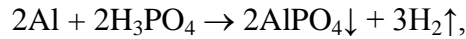
Слід взяти до уваги декілька важливих моментів. По-перше, якщо метал здатний виявляти у сполуках декілька ступенів окиснення, то неокислювальні кислоти окислюють його мінімально. Наприклад, Fe і Cr такими кислотами окислюються тільки до ступеня окиснення +2:





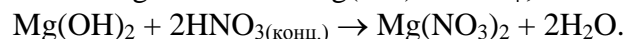
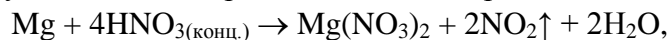
По-друге, деякі метали, стандартний електродний потенціал яких близький до нуля, майже не взаємодіють з неокислювальними кислотами. Це пов'язано із значною перенапругою виділення водню на таких металах. Наприклад, стійкими до дії розведеної сульфатної, хлоридної та слабких кислот є метали: галій, вольфрам, індій.

По-третє, якщо продуктом реакції металу з неокислювальною кислотою є малорозчинна сіль, то вона покриває поверхню металу плівкою і тим захищає його від подальшої взаємодії, наприклад:



II. Окислювальні кислоти, до яких належать: нітратна кислота HNO_3 будь-якої концентрації, концентрована сульфатна H_2SO_4 та інші кислоти, окислювальна здатність яких зумовлюється не наявністю іона H^+ , а властивостями недисоційованих молекул самих кислот чи їх аніонів. Окислювальні кислоти взаємодіють із усіма металами від початку ряду напруг до срібла включно (рис. 14.12).

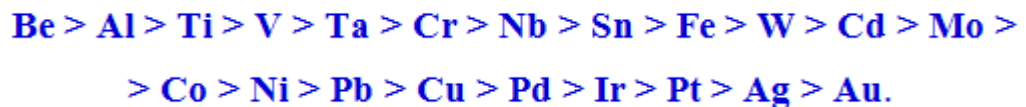
Особливість дії окислювальних кислот полягає в тому, що вони окислюють метал без виділення водню. Проте у випадку реакції найактивніших металів (Li, Na, K, Mg) з дуже розведеними розчинами окислювальних кислот, яка відбувається надзвичайно бурхливо, водень все ж таки може виділятися, але це є результатом взаємодії металу не з кислотою, а з водою, наявною в розчині кислоти. Наприклад, при внесенні магнію у розчин концентрованої нітратної кислоти можуть одночасно проходити декілька реакцій:



Другою особливістю концентрованих розчинів окислювальних кислот, яку слід завжди пам'ятати, є їх здатність спричиняти пасивацію деяких металів.

Пасивація – це набуття термодинамічно нестійким металом корозійної стійкості внаслідок утворення на його поверхні щільних непоруватих плівок із малорозчинних сполук, які захищають метал від руйнування.

Схильними до пасивації металами є алюміній Al, хром Cr, залізо Fe, титан Ti та ін.. За схильністю до пасивації найпоширеніші у техніці метали розміщуються у ряд:



При контактi таких металів (наприклад, алюмінію Al, хрому Cr чи заліза Fe,) з окислювальними кислотами на поверхні схильних до пасивації металів виникає захисна плівка малорозчинних сполук, що зберігає метал від подальшого розчинення у кислоті, тому при кімнатній температурі реакція миттєво припиняється. Але при сильному нагріванні захисна плівка розчиняється і тоді починається взаємодія металу з кислотою (рис. 14.13).



а

б

Рисунок 14.13 – При сильному нагріванні Fe (а) і Al (б) з концентрованою нітратною кислотою захисна плівка на поверхні металу розчиняється і відбувається взаємодія металу з HNO_3 , внаслідок якої виділяється бурий газ NO_2

Необхідно знати ще один важливий момент. З міркувань техніки безпеки не проводять реакцію лужних і більшості лужноземельних металів з концентрованими сульфатною і нітратною кислотами, оскільки така взаємодія супроводжується сильним вибухом (рис. 14.14).

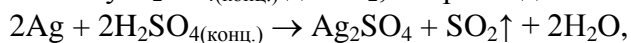


а

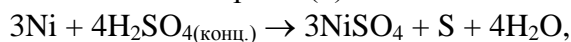
б

Рисунок 9.14 – Взаємодія натрію Na з концентрованою сульфатною кислотою проходить з вибухом: а) концентрована H_2SO_4 , в яку опускають шматочок Na; б) перебіг реакції Na з $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{конц.})}$

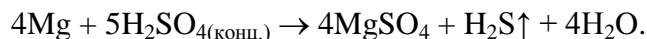
II.1 Концентрована сульфатна кислота, окислювальна здатність якої виявляється за рахунок сульфуру (+6), при взаємодії з металами залежно від їх активності, температури середовища, ступеня концентрування кислоти може відновлюватися по-різному. Малоактивні метали відновлюють сульфатну кислоту $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{конц.})}$ до SO_2 , наприклад:



метали середньої активності – до вільної сірки S(0):

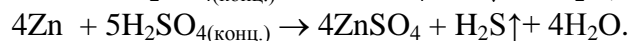
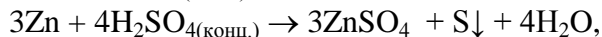
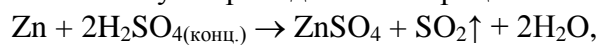


активні метали – переважно до H_2S :



Але на практиці достатньо активні метали звичайно реагують із концентрованою сульфатною кислотою з утворенням суміші сірчастого газу SO_2 , сірководню H_2S і вільної

сірки S, тобто паралельно відбуваються всі три імовірні реакції. Наприклад, при взаємодії $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{конц.})$ з цинком одночасно можуть проходити такі процеси:



II.2 Концентрована нітратна кислота при взаємодії з металами відновлюється, як правило, до бурого газу – нітроген (IV) оксиду, а метал при цьому окислюється найчастіше до максимального (чи достатньо високого) ступеня окиснення (рис. 14.15 і 14.16 а), наприклад:

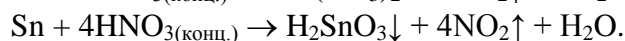
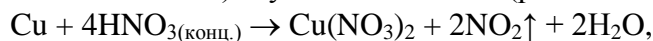
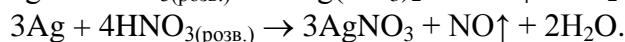


Рисунок 14.15 – Поетапна взаємодія олова Sn з концентрованою нітратною кислотою HNO_3 , внаслідок якої виділяється бурий газ NO_2

II.3 Розведена нітратна кислота у реакціях із малоактивними металами (Cu, Ag, Hg, Pb) виділяє нітроген (II) оксид (рис. 14.16 б):



а

б

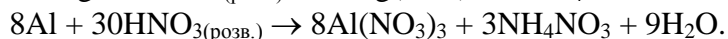
Рисунок 14.16 – Взаємодія ртуті: а) з концентрованою нітратною кислотою; б) з розведеною HNO_3

Інколи деякі метали, що стоять усередині ряду напруг (Fe, Cd, Ga), можуть відновити розведену нітратну кислоту до N_2O чи до вільного азоту N_2 :





II.4 Дуже розведена нітратна кислота взаємодіє з активними металами (Mg, Al, Zn, V, Nb) з утворенням амоніаку NH₃ (чи іона амонію NH₄⁺), який реагує з надлишком кислоти і дає нітрат амонію, наприклад:



Отже, у загальному випадку особливості взаємодії металів з HNO₃ і характер продуктів, що утворюються, залежать від активності металу, концентрації та кількості кислоти і умов проведення реакції (рис. 14.17).

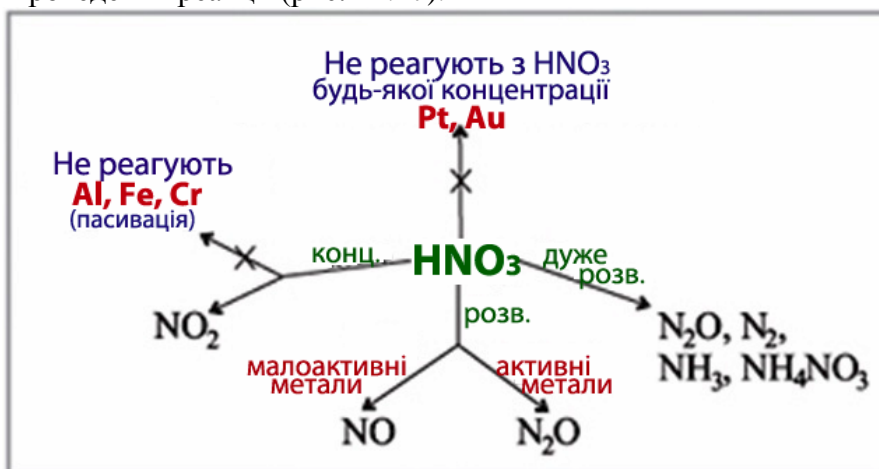


Рисунок 14.17 – Найімовірніші продукти відновлення нітратної кислоти при її взаємодії з металами

14.5.4 ВІДНОШЕННЯ ДО ЛУГІВ

У реакцію з лугами вступають лише амфотерні метали. У загальному випадку терміном **амфотерність** (від грецьк. *amphoterous* – і той і інший) позначають здатність хімічних сполук виявляти кислотні або основні властивості залежно від природи другого компонента, що бере участь у кислотно-основній взаємодії. Відносно до металів амфотерним вважають метал, здатний взаємодіяти з лугами з утворенням середніх чи комплексних солей, в аніоні яких міститься окиснений метал. **Амфотерні метали** – це берилій Be (s-елемент), алюміній Al, олово Sn, свинець Pb, германій Ge (p-елементи), цинк Zn (d-елемент).

Якщо взаємодія відбувається у водних розчинах (рис. 14.18), то утворюються комплексні гідроксоіони, комплексоутворювачем в яких є катіон амфотерного металу, наприклад:

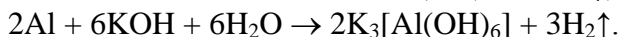
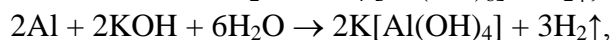
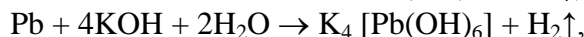
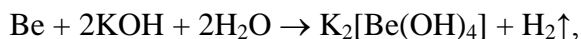
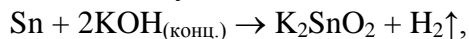
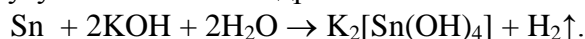


Рисунок 14.18 – Поетапний перебіг взаємодії алюмінію з лугом і згоряння водню, що виділився внаслідок реакції

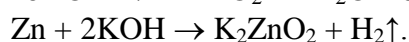
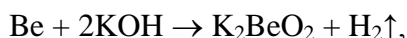
У деяких випадках взаємодія амфотерного металу відбувається по-різному залежно від концентрації розчину лугу, як це видно із наведених вище рівнянь, що відбивають реакції алюмінію з лужними розчинами. Можна навести інший приклад: при розчиненні олова у концентрованому лузі утворюються солі дуже слабкої станітної кислоти – станіти:



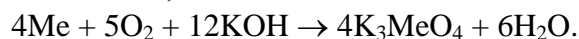
а у розведеному розчині лугу – комплексні гідроксостаніти:



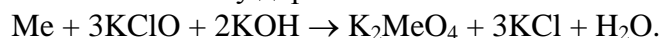
При сплавленні амфотерних металів з твердими лугами отримують звичайні середні солі – берилати, алюмінати, цинкати і т.ін.:



Деякі метали хоч фактично і не належать до амфотерних, можуть взаємодіяти з лугами за наявності сильних окисників. Наприклад, якщо через розчин лугу пропускати під тиском струмінь кисню, то такі метали, як ванадій V, ніобій Nb і тантал Ta (d-елементи) вступають у реакцію з утворенням солей – ванадатів, ніобатів і танталатів відповідно, набуваючи максимального ступеня окиснення +5, згідно із загальною схемою

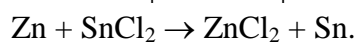
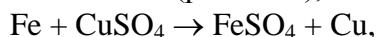


Аналогічно поведуть себе із лугами за наявності окисників і d-метали рутеній Ru та осмій Os. При сплавленні із сумішшю лугу і окисника вони дають середні солі – рутенати і осмати, в яких ступінь окиснення металу дорівнює +6:



14.5.5 ВЗАЄМОДІЯ ІЗ СОЛЯМИ ІНШИХ МЕТАЛІВ

Метали у вільному стані виявляють відновлювальні властивості, які послаблюються із зростанням значення стандартного електродного потенціалу від початку ряду напруг до його кінця (рис. 14.19), а у стані позитивно заряджених іонів – окислювальні, які у зазначеному напрямку, навпаки, посилюються. Це є передумовою для витіснення малоактивних металів із розчинів їх солей більш активними металами (рис. 9.19), наприклад:





а

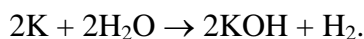
б

в

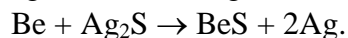
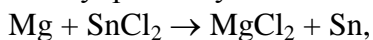
Рисунок 14.19 – Взаємодія металу з сіллю іншого металу в розчині:

а) витіснення активнішою порівняно з сріблом міддю катіонів Ag^+ з розчину солі AgNO_3 внаслідок реакції $\text{Cu} + 2\text{AgNO}_3 \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{Ag}\downarrow$, при цьому срібло осаджується на мідній пластинці; б) при занурюванні мідної пластинки у розчин солі більш активного металу (ZnSO_4) реакція не відбувається; в) витіснення активним алюмінієм катіонів Cu^{2+} з розчину солі внаслідок реакції $2\text{Al} + 3\text{CuSO}_4 \rightarrow \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{Cu}\downarrow$, чиста мідь осідає на дні посудині

Необхідно пам'ятати, що *найбільш активні метали, які розміщуються на самому початку ряду напруг, при внесенні їх у водні розчини солей малоактивних металів вступають у взаємодію не з сіллю, а з водою, що міститься у розчині*. Так, якщо шматочок калію занурити у розчин солі малоактивного металу (наприклад CuSO_4 чи $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$), то реакція відбувається за схемою:



Реакції між металами і простими нерозчинними солями менш активних металів (галогенідами загального складу MeHal_x , халькогенідами Me_xS_y) звичайно відбуваються тільки при сильному нагріванні, хоч і супроводжуються екзотермічними ефектами:



14.6 ВЗАЄМОДІЯ РІЗНИХ МЕТАЛІВ. СПЛАВИ

У твердому стані метали майже не взаємодіють один із одним, але у розплавленому вигляді у більшості випадків вони змішуються між собою, утворюючи однорідні системи – сплави.

Металічні сплави – це речовини, що мають типові металічні властивості та складаються із двох чи більше елементів, із яких меншою мірою хоч одним є метал.

Властивості сплавів значно відрізняються від властивостей тих компонентів, що входять до складу сплаву. Наприклад, міцність на розрив у латуні (сплаву міді з цинком) у три рази вища, ніж у чистій міді, і у шість разів, ніж у чистого цинку. За певними ознаками розрізняють такі **сплави**: жароміцні, жаростійкі, антифрикційні, корозійностійкі, легкі,

надлегкі, стійкі до зношування, а також ті, що мають особливі властивості, а саме: теплові, електричні, магнітні тощо.

Одержання сплавів. Для одержання сплавів розроблені численні способи. Найчастіше використовують такі:

- кристалізація при охолодженні розплавлених компонентів;
- сумісне електроосадження твердої фази із розчину чи з газової фази;
- дифузійне насичення одного компонента іншим.

Природа сплавів буває різною залежно від індивідуальних характеристик, будови і властивостей металів, з яких складається сплав, а також від можливості хімічної взаємодії між ними та взаємної розчинності. Слід уточнити, що немає металів, абсолютно нерозчинних один в одному у твердому стані, однак якщо їх взаємна розчинність не перевищує соті частки відсотку, то такі метали прийнято вважати нерозчинними. Деякі метали (лужні, магній, берилій) є поганими розчинниками і самі погано розчиняються в інших металах. Для систем за їх участю найчастіше спостерігається *розширення* в рідкій фазі (наприклад, Na-Al, K-Fe, Li-Cs та ін.). У таких системах компоненти кристалізуються (і плавляться) незалежно один від одного при будь-яких кількісних співвідношеннях.

Для фізико-хімічного аналізу сплавів використовують **фазові діаграми стану** (їх інколи називають ще *діаграмами плавкості*, або *діаграмами кристалізації*), які відображають залежність певного параметра (наприклад, температури кристалізації) від складу сплаву. Типовий вид діаграми стану для механічних сумішей наведений на рис. 14.20, де на осі X відкладають склад компонентів А і В (мас. %), а на осі Y – температури. Діаграми стану, або фазові діаграми, що показують, які фази можуть співіснувати за даної температури, одержують експериментальним шляхом. Для цього готують велику кількість зразків, що містять суміші різного складу із металів А і Б, розплавляють їх, а потім повільно охолоджують і відмічають температуру кристалізації кожного зразку. За умови великого набору сплавів, що містять метали А і В у різному масовому співвідношенні, та відповідних їм температур кристалізації будують діаграми складу.

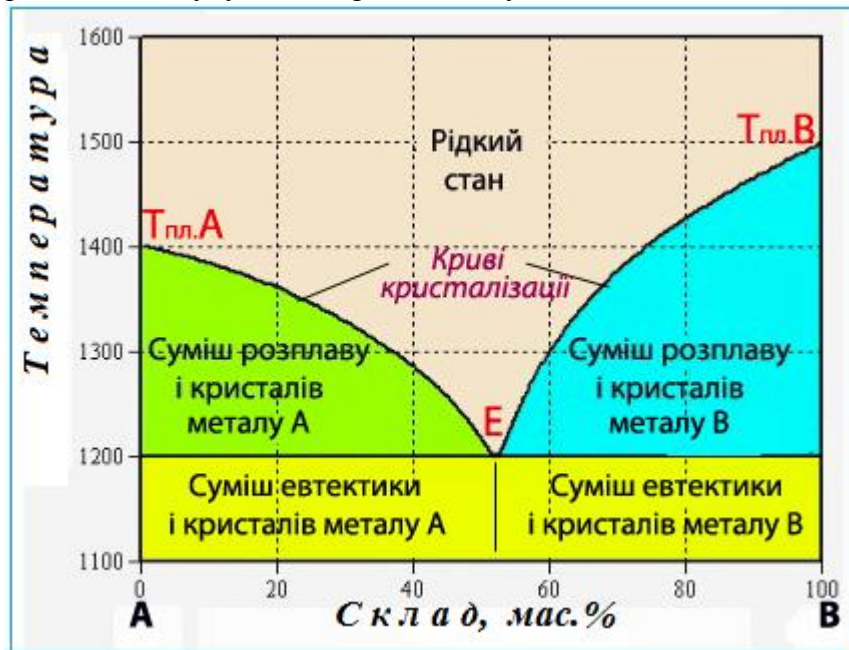


Рисунок 14.20 – Діаграма стану для сплаву металів А і В, нерозчинних один в одному у твердому стані: Е – евтектична точка (рівновага рідкої фази і евтектичної суміші дрібних кристалів)

З урахуванням природи сплавів розглядають три основних випадки.

I Механічні суміші, що складаються із сукупності окремих кристалітів кожного компонента (тобто зерен невеликих монокристаліків). Механічні суміші можуть утворюватися металами, які мають високу взаємну розчинність у розплавленому стані і утворюють гомогенні розчини, але у твердому стані не розчиняються і не взаємодіють один із одним.

Механічні суміші отримують при сумісній кристалізації металів, які суттєво відрізняються за типом кристалічної ґратки, наприклад, Pb-Sn, Pb-Sb, Cd-Bi, Sn-Zn. Температура кристалізації (або плавлення) такого сплаву залежить від співвідношення компонентів.

Склад мікрогетерогенної механічної суміші кристалічних твердих фаз, якому відповідає мінімальна температура плавлення, називається **евтектика**.

Наприклад, для суміші 87% Pb та 13% Sb евтектика має температуру плавлення і кристалізації 246°C , в той час як температури плавлення окремих компонентів становлять відповідно для Pb 327°C , а для Sb 631°C .

Сплав, для якого температура плавлення збігається з температурою кристалізації, називається **конгруентний сплав**.

На фазовій діаграмі механічних сумішей можна виділити п'ять областей (рис. 14.20). Перша – рідкий стан, тобто гомогенний розплав металів А і В. Точки кривих кристалізації $T_{\text{пл.А}}$ і $T_{\text{пл.В}}$, що лежать на осях ординат, відповідають температурам плавлення (і одночасно – кристалізації) чистих металів А і В. Згідно з другим законом Рауля розчин кристалізується при нижчій температурі порівняно з температурою кристалізації чистого розчинника. Тому у міру додавання до чистого металу А домішок металу В і при додаванні до чистого металу В домішок А буде спостерігатися зниження температури кристалізації суміші. Евтектична точка Е належить обом кривим і відповідає кристалізації евтектичного складу суміші, що кристалізується при найнижчій температурі.

Як приклад фазової діаграми сплаву, що належить до механічних сумішей, можна навести систему кадмій–вісмут (рис. 14.21).

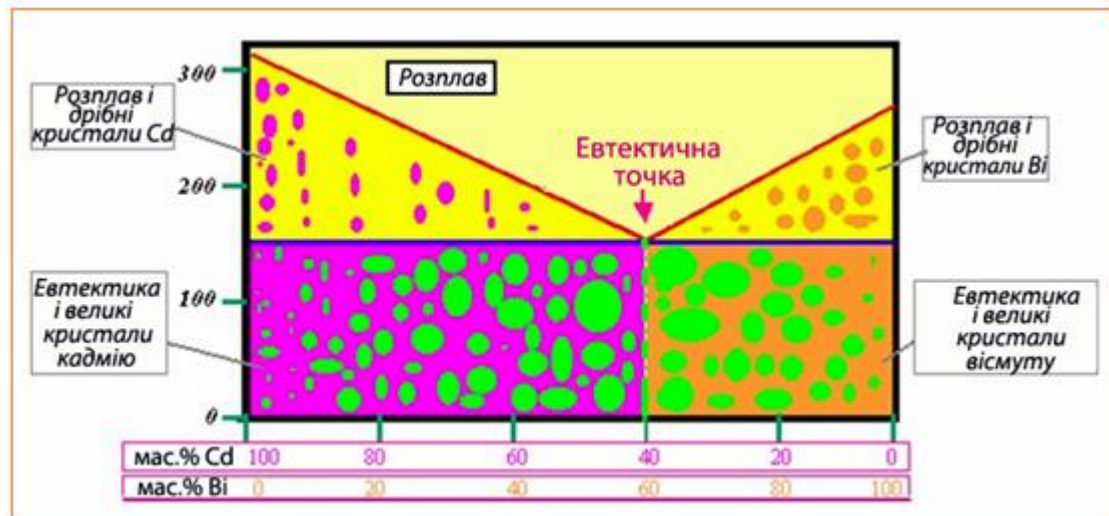


Рисунок 14.21 – Діаграма фазового стану для сплаву металів кадмію та вісмуту

Для евтектичних сплавів характерні однорідність складу, дуже невеликі розміри кристалічних зерен, висока твердіть і механічна міцність. Цими властивостями зумовлюється їх практичне застосування. Наприклад, із евтектичних сплавів Pb-Sb і Pb-Sn виготовляються решітки акумуляторів і друкарські шрифти.

II Тверді розчини – це гомогенні системи, у вузлах кристалічних ґраток яких розміщуються почергово атоми металів, що входять до складу сплаву і мають необмежену взаємну розчинність як у розплавленому, так і у твердому стані. Тверді розчини подібно до рідких являють собою фази змінного складу, які перебувають у стані термодинамічної рівноваги. Однак, на відміну від рідких, для твердих розчинів притаманні такі ознаки: наявність дальнього порядку, більш сильна взаємодія між частинками і триваліший час досягнення стану рівноваги.

У діаграмі стану для твердого розчину з необмеженою взаємною розчинністю металів на прикладі системи Cu-Ni (рис. 14.22) верхня крива лінія, яка називається **ліквідус**, показує залежність температури початку кристалізації (чи повного розплавлення) від складу системи, а нижня – **солідус** – залежність температури повного твердіння (чи початку плавлення) від складу системи. Усі точки ліквідуса і солідуса знаходяться між температурами плавлення чистих металів. T °C

Сплав, для якого температури кристалізації та плавлення не збігаються, називається **інконгруентний сплав**.

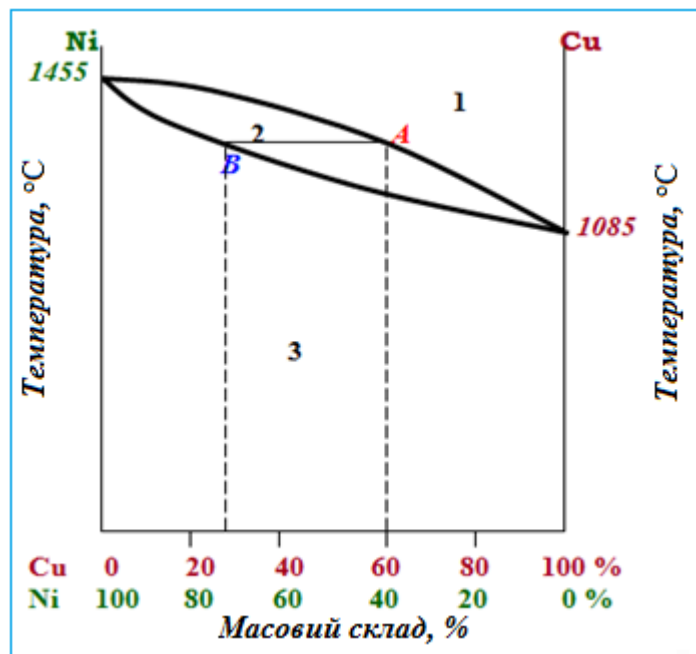


Рисунок 14.22 – Фазова діаграма для системи нікель–мідь як приклад твердого розчину двох металів з необмеженою розчинністю: 1 – рідкий розплав; 2 – система, що кристалізується (чи, навпаки, розплавлюється); 3 – твердий розчин;

У складі розплаву в той час, коли він кристалізується, вміст тугоплавкішого металу завжди більше, ніж металу з нижчою температурою плавлення. Наприклад, точка А на кривій **ліквідуса** відповідає початку кристалізації розплаву, що містить 60% Cu і 40% Ni. У процесі твердіння, поки розплав співіснує з твердим розчином, що утворюється (на діаграмі цьому стану відповідає область між кривими **солідуса** і **ліквідуса**), температура залишається незмінною. Однак склад системи поступово змінюється, оскільки рідка фаза збіднюється, а тверда фаза, навпаки, збагачується тугоплавкішим компонентом – нікелем. Після досягнення повної кристалізації (точка В на кривій **солідуса**) твердий сплав вже містить 30% Cu і 70% Ni.

Якщо розчинність металів обмежена, то залежно від їх кількісного співвідношення можуть утворюватися як механічні суміші з евтектикою включно, так і тверді розчини, які звичайно позначають буквами α і β , як показано на рис. 14.23 для системи Cu-Ag.

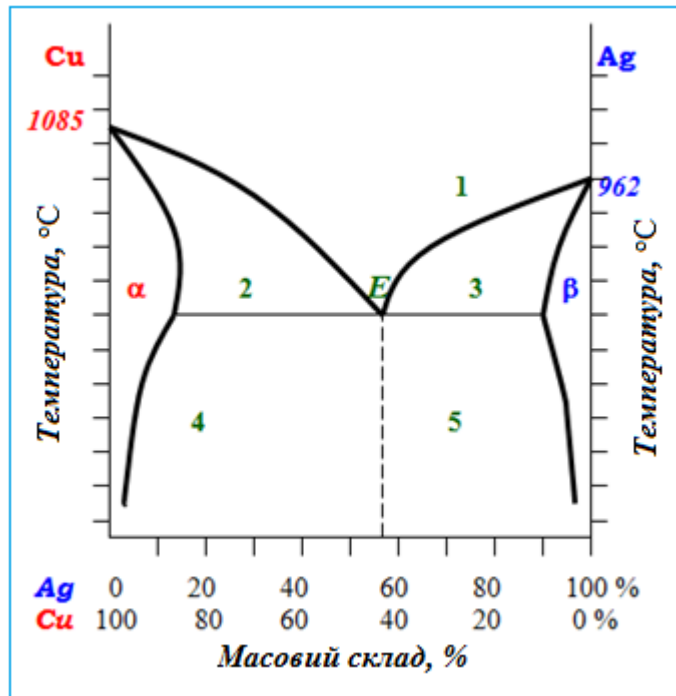


Рисунок 14.23 – Діаграма стану системи Cu-Ag з утворенням твердих розчинів: α – твердий розчин срібла Ag у міді Cu; β – твердий розчин міді Cu у сріблі Ag; E – евтектична точка; 1 – рідкий розчин; 2 – суміш рідкого розчину і дрібних кристалів Cu; 3 – суміш рідкого розчину і дрібних кристалів Ag; 4 – суміш крупних кристалів Cu і евтектики; 5 – суміш крупних кристалів Ag і евтектики

У твердих розчинах атоми різних металів утворюють єдину спільну кристалічну решітку. Залежно від її особливостей тверді розчини поділяються на такі типи:

- **тверді розчини заміщення**, в яких атоми металу, що розчиняється у металі-розчиннику, займають вузли кристалічної ґратки (рис. 14.24 а); тверді розчини заміщення утворюються металами, які мають схожу електронну конфігурацію і близькі за розмірами атомних радіусів, наприклад, системи, складені з металів Ag–Au, Ni–Co, Cu–Ni, Mo–W;
- **тверді розчини впровадження** (або *укорінення*), в яких компонент, що розчиняється, проникає у порожнечні вузли кристалічної ґратки металу-розчинника (рис. 14.24 б); тверді розчини впровадження найчастіше утворюються при розчиненні легких неметалів (C, P, H, O, S, B, N і т.п.) у розплавлених перехідних металах з дефектними d- і f-електронними оболонками.

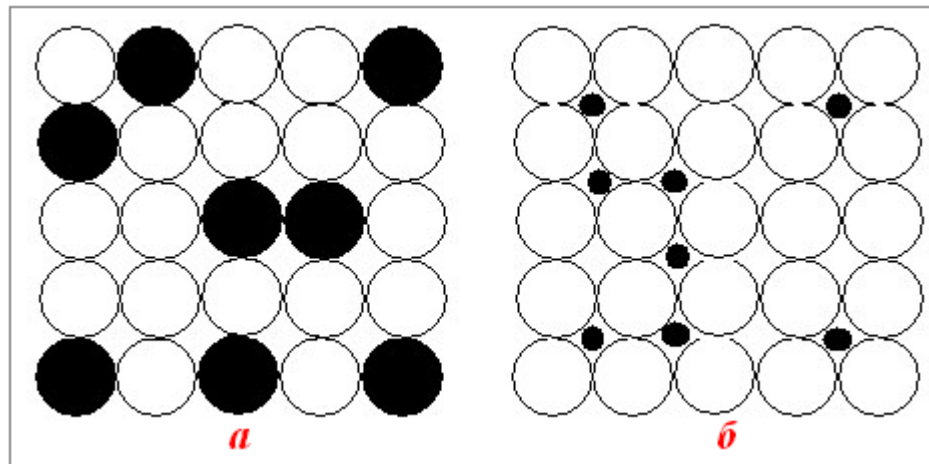


Рисунок 14.24 – Структура твердих розчинів: а) заміщення; в) впровадження

III Інтерметаліди – хімічні сполуки, утворені внаслідок взаємодії між декількома металами. Склад і структура інтерметалідів зумовлені положенням металів-компонентів у періодичній системі, співвідношеннями їх електронегативностей, потенціалів іонізації та атомних радіусів. Найбільш схильні до хімічної взаємодії з іншими металами лужні, лужноземельні, рідкоземельні метали, а також берилій та магній. Вдалося одержати подвійні та потрійні інтерметаліди. Їх склад може бути як сталим, так і змінним, однак він не відповідає класичним уявленням про валентність, наприклад: Na_{12}Ba , $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$, TiBe_{12} , CaZn_{10} , LaAl_4 , MgNi_2 , MgCu_2 , Mg_3Sb_2 , Ni_xAl_y , La_xNi_y . При цьому деякі метали здатні утворювати декілька інтерметалідів різного складу: AuZn , Au_3Zn_5 , AuZn_3 .

Кристалічна структура і властивості інтерметаліду суттєво відрізняються від структур і властивостей вихідних металів, із яких він утворений. У спільній кристалічній ґратці інтерметалідів атоми кожного із металів займають чітко визначене положення, утворюючи неначе декілька вставлених одна в одну підґраток. При цьому в підґратках може залишатися помітна кількість незайнятих вузлів (вакансій) чи вузлів, в яких знаходяться атоми стороннього елемента. Тому інтерметаліди існують тільки в певній області концентрацій, яка називається **область гомогенності**. Саме її наявністю пояснюється існування нестехіометричних інтерметалідів – бертолідів.

На діаграмах стану (рис. 14.25) крива кристалізації інтерметалідів проходить через дві евтектичні точки, кожна з яких відповідає самому низькоплавкому складу суміші інтерметаліду з одним із металів, а також через максимум, який розташовується в області гомогенності між двома евтектиками и зазначає склад хімічної сполуки, що утворюється. Плавний характер максимуму свідчить про те, що інтерметалід належить до бертолідів (рис. 14.25 а) і найімовірніше буде розкладатися при плавленні. Якщо інтерметалід має стале, найчастіше цілочислове, співвідношення кількостей атомів компонентів (дальтоніди, рис. 14.25 б), то на діаграмі склад–властивість з’являється різкий злам – так звана **сингулярна точка**. Як правило, інтерметаліди цього типу настільки міцні, що продовжують існувати і після розплавлення, у рідкому стані. У тих випадках, коли інтерметалід утворює з металами-компонентами тверді розчини, на діаграмі стану виникають області α і β , які свідчать про наявність твердих розчинів (рис. 14.25 в).

Більшість інтерметалідів є міцними тільки у твердому стані. Для них характерні хімічна стійкість, крихкість за звичайних температур і виникнення помірної пластичності при температурах, близьких до точки плавлення, а також менші значення теплопровідності та електричної провідності, ніж для вихідних металів. Деякі інтерметаліди мають напівпровідникові властивості.

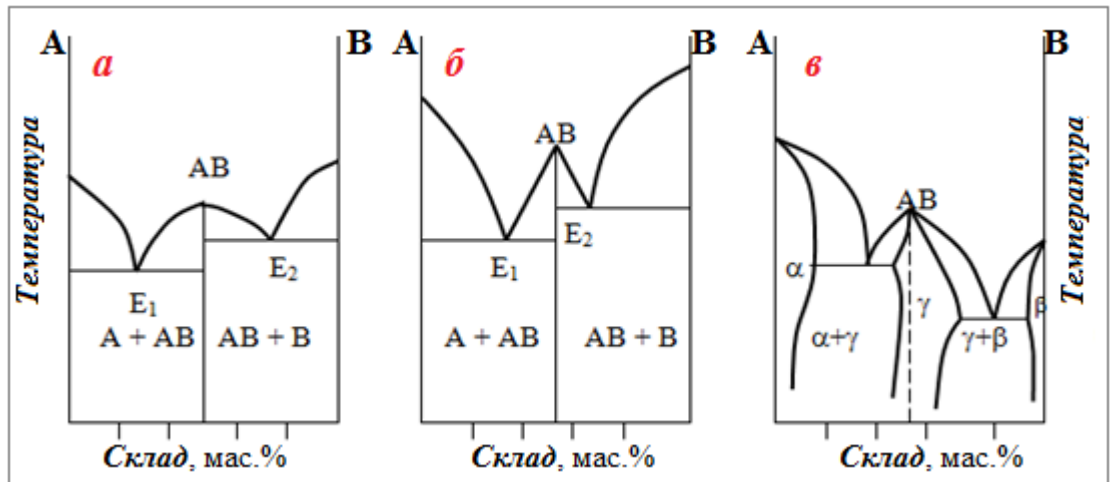


Рисунок 14.25 – Діаграма стану сплавів: а) інтерметалід сталого складу; б) інтерметалід з утворенням твердих розчинів; в) інтерметалід, що не розкладається у розплавленому стані

14.7 ДОБУВАННЯ МЕТАЛІВ

Одержання металів є головною метою *металургії* – однієї з найдавнішніх галузей хімічної промисловості. Світове виробництво металів у даний час досягає мільярда тонн у рік, причому на частку Fe припадає 700 млн. тонн, Cr, Al, Cu, Mn, – ще приблизно по 10^7 тонн, а виробництво таких металів, як Ni, Zn, Pb, Mo, Mg, Sn, Na, коливається від 10^5 до 10^7 тонн. Решту металів добувають у значно меншому обсязі.

Кількість металів, що виробляється, не відповідає ні їх вмісту в земній корі, ні розвіданим запасам, із яких метали практично можуть бути вилучені. Наприклад, загальні світові запаси міді теоретично оцінюються у 10^{15} тонн, а розвідані – тільки 10^2 тонн. При збереженні існуючих темпів зростання мідноливарного виробництва розвідані та доступні для добування запаси міді будуть виснажені ще в цьому столітті. Тому з метою економії та збереження природничих ресурсів необхідно терміново впровадити комплекс невідкладних заходів:

- створення економічних технологій переробки сировини;
- розробка принципово нових машин, механізмів і агрегатів з мінімальною металоємністю;
- заміна металів на полімерні, композиційні та керамічні матеріали;
- вторинне використання металів, які відпрацювали свій термін, одержання металів із донних океанічних відкладень, в яких вміст нікелю, кобальту і міді складає близько 30 млрд. тонн.

14.7.1 ЗБАГАЧЕННЯ РУДИ

У рудах містяться не тільки *металовмісні мінерали*, але й *пуста порода*, яка найчастіше буває представлена тугоплавкими глинами, пісками і вапняками. Тому в процесі виплавлення металу до руди вводять спеціальні добавки – *флюси*, що утворюють з пустою породою легкоплавкі речовини – *шлаки*, які накопичуються на поверхні розплаву і час від часу видаляються звідти.

Однак деякі руди настільки забруднені пустою породою, що безпосереднє виплавлення металів із них стає економічно не вигідним. У такому випадку руду піддають

збагаченню, яке полягає у відділенні від неї пустої породи і одержанні *концентрату*, що має підвищений вміст рудного мінералу.

Збагачення руди проводять із застосуванням різних способів:

- **флотаційний**, заснований на різному змочуванні водою поверхонь мінералів і пустої породи; для цього тонкоподрібнену руду обробляють водою з невеликою кількістю флотаційного реагенту-піноутворювача, який посилює змочування рудного мінералу і пустої породи, а потім продувають крізь одержану суспензію стисле повітря, бульбашки якого налипають на частинки з поганою змочуваністю і виносять їх на поверхню (рис. 14.26);



Рисунок 14.26 – Флотаційне збагачення руди: а) флотаційна машина; б) механізм збагачення

- **гравітаційний**, який базується на відмінності густин і відповідно швидкостей осідання у рідині зерен рудного мінералу і пустої породи;
- **магнітний**, сутність якого полягає у розділенні мінералів за їх магнітними властивостями. При магнітному збагаченні руду спочатку подрібнюють, потім сортують на магнітному сепараторі (рис. 14.27). При цьому пуста порода відразу опускається униз, напівмагнітна фракція на короткий час прилипає до барабану, але дуже швидко під дією відцентрової сили відкидається і падає у бункер, а магнітна – залишається на барабані, звідки її знімають за допомогою спеціальних пристроїв.

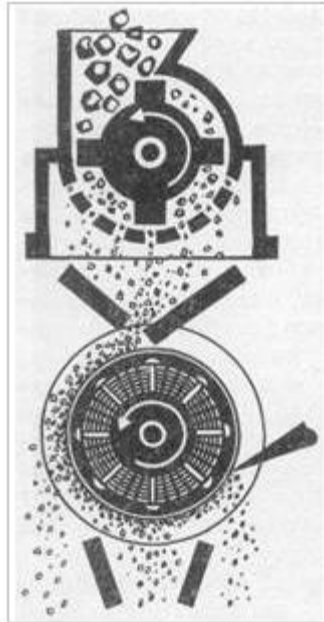
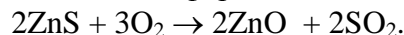


Рисунок 14.27 – Схема магнітного сепаратора

Збагачені руди піддають попередній обробці. При цьому метали із рудних мінералів переводять у сполуки, з яких зручно виділяти метал тим чи іншим способом. Наприклад, сульфідні руди майже неможливо відновити хімічними способами, тому їх спочатку обпалюють до більш активної оксидної форми:



Деякі руди хлорують, оскільки окремі метали утворюють добре розчинні хлориди, які потім відновлюють із розчинів за допомогою певних відновників, найчастіше – більш активними металами. Іноді застосовують гідрометалургійну переробку руди при дії на неї водними розчинами кислот, лугів чи солей, внаслідок чого метали переходять у розчин.

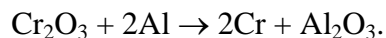
14.7.2 ВИЛУЧЕННЯ МЕТАЛІВ ІЗ РУД

Метал у збагаченому рудному концентраті входить до складу хімічних сполук, тобто перебуває в окисненій формі. Для відновлення металів із таких сполук використовують декілька основних методів.

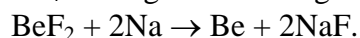
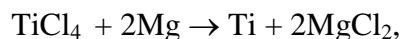
1. Пірометалургійні методи – відновлення металів із безводних сполук за умов високих температур. При цьому відновниками можуть бути як метали (*металотермія*), так і неметали.

1. У металотермічних процесах для відновлення металів використовують інші, більш активні метали, залежно від природи яких металотермічні методи мають ще і спеціальні назви:

- *алюмотермія* – відновлення металів із їх сполук порошкоподібним алюмінієм; алюмотермію найчастіше застосовують для одержання порівняно дорогих металів (V, Cr, Mo, Mn) із їх оксидів:

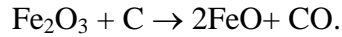


- *магнієтермія та натрієтермія* – одержання Ti, Zr, Nb, Ta та інших металів із хлоридів чи флуоридів при відновлюванні їх за допомогою магнію чи натрію:

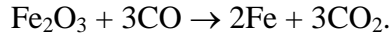
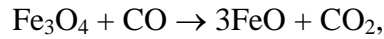


2. Відновники-неметали (графіт, вугілля, водень) використовуються при одержанні металів помірної активності: Fe, Cu, Zn, Pb.

- *Карботермія* – відновлення металів при високих температурах вуглецем, який звичайно використовують у вигляді коксу



Карбон (II) оксид, який утворюється на початковій стадії, у свою чергу, також відновлює метали із їх оксидів:



Як приклад карботермічного процесу можна розглянути добування чавуну (рис. 14.28).

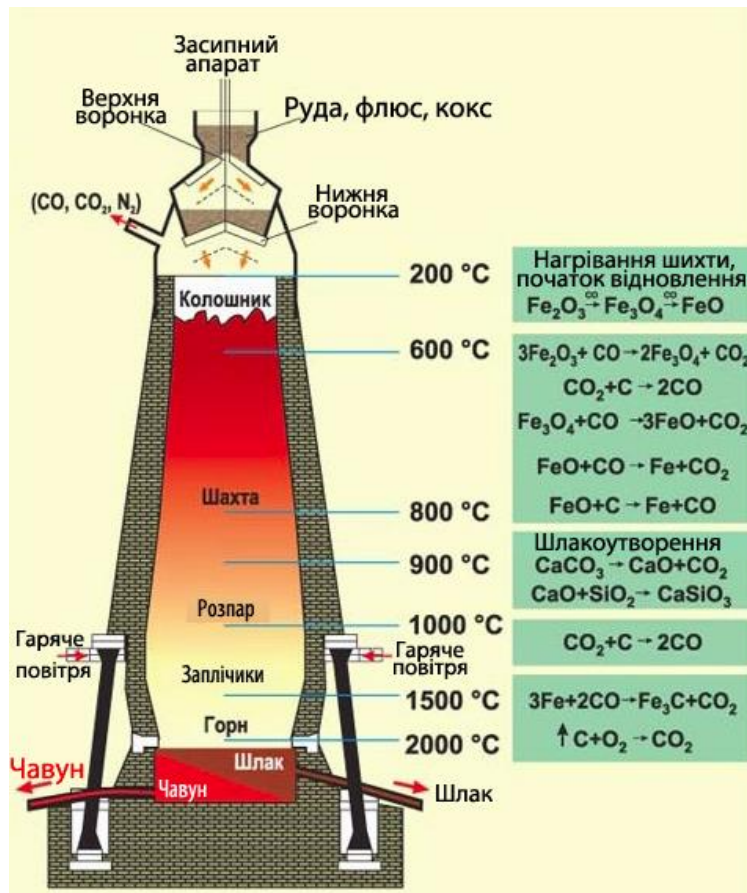
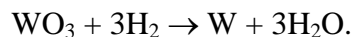
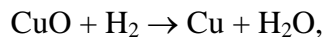
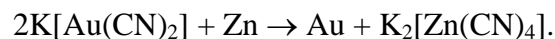


Рисунок 14.28 – Схема виплавки чавуну

- *Водень* застосовують у металургії для відновлення деяких кольорових металів, наприклад:



II. Гідрометалургійні методи – відновлення малоактивних і благородних металів із водних розчинів їх солей, наприклад:



III. Електрометалургійні методи – відновлення металів при електролізі розплавів чи розчинів їх сполук.

- *Електролізом розплавів* одержують активні метали, що розміщуються ближче до початку ряду напруг і мають дуже від’ємні значення стандартних електродних потенціалів: Al, Mg, Na, Be, Ca і Li. Для добування найактивніших металів (K, Ba, Rb і Cs), які добре розчиняються у розплавлених солях, електроліз розплавів майже не

застосовують. Останнім часом знайдена можливість добування електролізом із розплавів і деяких тугоплавких металів, таких, як W, Mo, Ti, Zr, V, Ta, Nb.

- *Електроекстракція* – електролітичне виділення металів із розчинів, за допомогою якої одержують головним чином Zn, Cu і Cd.

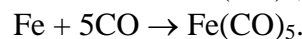
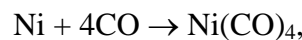
13.7.3 ОДЕРЖАННЯ ЧИСТИХ МЕТАЛІВ

Для успішного розвитку багатьох сучасних галузей промисловості часто бувають необхідними особливо чисті метали. За ступенем очищення розрізняють 10 класів металів. Для кожного класу встановлені гранично допустимі кількості (ГДК) тих чи інших домішок, величина яких зазначається у відсотках атомної частки. Наприклад, у цирконії, що використовується як конструкційний матеріал для атомних реакторів, вміст бору, гафнію та кадмію не повинен перебільшувати 10^{-5} - 10^{-6} %. У германії, який застосовується при виготовленні напівпровідників, також допускається не більше 10^{-6} % фосфору, миш'яку і сурми. А деякі жароміцні сплави для ракетобудування повинні бути повністю очищені навіть від мікроскопічних домішок свинцю і сірки.

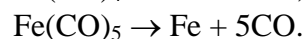
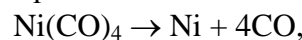
Розроблено і впроваджено багато методів очищення металів.

I. Хімічні методи засновані на хімічних реакціях, у результаті яких відбувається виділення металів.

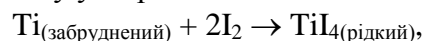
- *Карбонільні процеси* застосовуються для одержання надчистого заліза, нікелю, марганцю та деяких інших металів. Сутність методу полягає в розкладанні легкої карбонільної сполуки, яку одержують при нагріванні металу в атмосфері карбон (II) оксиду під тиском 20 МПа, причому домішки, наявні у вихідному металі, з карбон (II) оксидом не взаємодіють. Наприклад, залізо і нікель за зазначених умов вступають у реакцію:



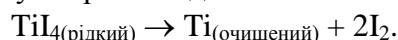
Одержані при цьому рідини тетракарбонілнікелю ($T_{\text{кип}} = 42^\circ\text{C}$) і пентакарбонілферуму ($T_{\text{кип}} = 105^\circ\text{C}$) нагрівають до більш високої температури, внаслідок чого відбувається їх розкладання та виділення надчистого металу



- *Йодидний спосіб* базується на термічному розкладі летких сполук, які легко відділяються від домішок. У такий спосіб одержують цирконій, титан і гафній високого ступеня чистоти. Для цього грубо очищений метал, подрібнений до порошкоподібного стану, нагрівають з йодом при 100 - 200°C у герметичному апараті. Наприклад, у випадку титану утворюється леткий титан (IV) йодид:



який потім при наступному нагріванні до 1200 - 1300°C розкладається:



II. Фізико-хімічні методи включають декілька різних способів очищення металів.

- *Електролітичне рафінування* використовується для очищення забруднених металів – міді, срібла, золота, нікелю, свинцю та олова. Пластини, відлиті із металу, який необхідно піддати очищенню, поміщають в електролізер як анод. При пропусканні електричного струму анод поступово розчиняється і переходить у розчин у вигляді позитивно заряджених йонів – катіонів. Катіони переміщуються до катода – тонкої пластини чи стержня із чистого металу і відновлюється на ньому. Домішки більш активних металів, які мають менше значення стандартного електродного потенціалу, розчиняються разом із основним металом, однак на катоді не відновлюються, а

накопичуються в електроліті, який періодично оновлюють. Менш активні домішки, які мають більше значення стандартного електродного потенціалу, не піддаються анодному розчиненню, тому в ході процесу осідають на дно, утворюючи шлам, який час від часу видаляють із електролізера.

- *Перегонка у вакуумі (дистиляційний метод)* базується на різниці у леткості розплавленого металу і домішок. Забруднений метал розплавляють у спеціальному апараті, з якого постійно відкачують повітря, щоб уникнути окиснення металу і знизити температуру плавлення. У процесі перегонки на вузлах апарата, які весь час охолоджуються, відбувається конденсація більш леткого компонента – домішок чи металу.
- *Кристалізаційний метод*, або зонне плавлення, засновується на різній розчинності домішок у твердому і розплавленому металі. Метод полягає у повільному пересуванні зони високотемпературного нагрівання вздовж стержня чи бруска, відлитого із забрудненого металу. У міру переміщення металу в ньому утворюється вузька розплавлена полоса, яка рухається у протилежному напрямку. Біля передньої межі зони нагрівання відбувається плавлення металу, а біля задньої – його кристалізація. Одні домішки, концентруючись у розплавленій зоні, зміщуються разом із нею до кінця бруска, а інші залишаються поза зоною нагрівання та накопичуються на початковій частині бруска, де проходить кристалізація. При неодноразовому повторюванні процесу всі домішки поступово збираються на обох кінцях бруска, а середня його частина стає найбільш чистою.

Очищені метали відрізняються від забруднених за своїми фізико-хімічними властивостями. Вони мають кращу пластичність, більш високу електричну провідність, теплопровідність та інші характеристики.

14.8 ВИСНОВКИ

Метали становлять переважну більшість хімічних елементів і мають найрізноматніші галузі застосування. У природі метали досить поширені і майже всі, за винятком благородних, існують тільки у вигляді сполук, що входять до складу мінералів.

У металах головним чином здійснюється особливий тип хімічного зв'язку – металічний зв'язок, однак може бути і ковалентний зв'язок. Будова атомів і структура кристалічної ґратки металів визначають сукупність фізичних властивостей: механічних, теплових, електричних, оптичних, магнітних тощо.

Хімічна поведінка металів зумовлюється положенням в періодичній системі, низькими значеннями потенціалів іонізації та достатньо великими радіусами атомів за наявності малої кількості валентних електронів. Хімічні властивості реалізуються при взаємодії металів із елементарними окисниками, кислотами, водними розчинами солей інших металів, а також відносно води, лугів та інших класів сполук. Про активність металів у реакціях, що відбуваються у водних середовищах, можна зробити висновок за положенням певного металу в електрохімічному ряді напруг.

Взаємодія металів один із одним відбувається, як правило, при високих температурах і приводить до утворення сплавів, які залежно від співвідношення параметрів металів можуть мати різну природу. Для фізико-хімічного аналізу сплавів використовують діаграми плавкості, що відображають залежність температур плавлення та кристалізації від складу і характеризують особливості кожної групи сплавів: механічних сумішей (у тому числі евтектику), інтерметалідів і твердих розчинів.

При добуванні металів проводять попереднє збагачення руди флотаційним, гравітаційним чи магнітним способом. Для вилучення металів із збагаченої руди застосовують пірометалургійні, гідрометалургійні та електromеталургійні методи, а для одержання чистих металів – хімічні та фізико-хімічні методи.

14.9 ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Які речовини називаються металами; напівметалами? Наведіть приклади. Що називаються поліморфізмом металів?
2. Охарактеризуйте окремі групи металів залежно від таких класифікаційних ознак: за геохімічним розподілом, за електронною конфігурацією атомів, за природним походженням, за конструкційними властивостями, за розповсюдженням у природі.
3. У чому полягають особливості будови металів? Охарактеризуйте основні властивості металічного зв'язку: багатоцентровість, багатоелектронність, ненапрявленність, не насиченість.
4. Чим пояснити наявність у металів оптичних властивостей – металевого блиску і непрозорості?
5. Як виявляються у металів механічні властивості – пластичність, твердість, густина?
6. Охарактеризуйте теплові властивості металів: теплопровідність, питома теплоємність.
7. Чим забезпечується електрична провідність металів?
8. Що таке магнітна сприйнятливість. Які метали називається діамагнітними, парамагнітними, феромагнітними? Наведіть приклади.
9. Охарактеризуйте відношення металів до простих речовин на прикладі взаємодії з киснем, воднем, сіркою, азотом, галогенами. До яких класів сполук належать продукти таких реакцій?
10. Які метали і чому взаємодіють з водою? Які продукти при цьому утворюються?
11. Охарактеризуйте відношення металів до неокиснювальних кислот, до концентрованої сульфатної кислоти, до нітратної кислоти. Наведіть приклади.
12. Які метали і чому взаємодіють з лугами? Наведіть приклади.
13. В якому випадку можлива взаємодія металів з солями?
14. Що називається металічними сплавами? Якими бувають сплави за конструкційними ознаками? Які способи існують для одержання сплавів?
15. Які сплави називаються механічними сумішами, евтектикою, конгруентним сплавом? Який вигляд має фазова діаграма стану для механічних сумішей?
16. Охарактеризуйте поняття: тверді розчини, інконгруентний сплав. Який вигляд має фазова діаграма стану для твердих розчинів, що таке солідус і ліквідус? На які типи поділяються тверді розчини?
17. Що називається інтерметалідами? Який вигляд має фазова діаграма стану для інтерметалідів? Яка точка на діаграмі стану називаються сингулярною?
18. Охарактеризуйте основні способи збагачення руд: флотаційний, гравітаційний, магнітний.
19. У чому полягають пірометалургійні методи відновлення металів з руд? Які метали одержують переважно за допомогою металотермічних процесів?
20. Які відновники-неметали використовують для вилучення металів з руд? Що таке карботермія? Наведіть приклад карботермічного процесу.
21. Які метали одержують гідрометалургійними методами?
22. Охарактеризуйте електromеталургійні методи одержання металів – електроліз розплавів і електроекстракцію.
23. Охарактеризуйте хімічні та фізико-хімічні методи одержання чистих металів.