МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Навчально-науковий інститут морського флоту
Кафедра матеріалознавства і технології матеріалів

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання практичних робіт по вибірковій дисципліні «Морська корозія та протикорозійний захист»

Одеса: ОНМУ, 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Навчально-науковий інститут морського флоту
Кафедра матеріалознавства і технології матеріалів

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання практичних робіт по вибірковій дисципліні «Морська корозія та протикорозійний захист»

Затверджено на засіданні кафедри матеріалознавства та технології матеріалів
Протокол № 2 від 11.09.2024 р.
Затверджено на засіданні вченої ради ННіМФ
Протокол № 2 від 16.09.2024 р.

Одеса: ОНМУ, 2024

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Морська корозія та протикорозійний захист» для студентів спеціальності 142 Енергетичне машинобудування / Укл. Є.О. Науменко – Одеса: ОНМУ, 2024. – 27 с.

Укладач: Є.О. Науменко, к.т.н., доцент

ЗМІСТ

Практичне заняття № 1 4
Тема: Термодинамічна можливість хімічної корозії....4
1. Теоретичні відомості....4
1.1. Термодинамічна можливість протікання хімічної корозії 4
1.2. Плівки на металах....5
Практичне заняття № 2 7
Тема: Швидкість хімічної корозії 7
Теоретичні відомості....7
Практичне заняття № 3 16
Тема: Вплив температури на швидкість хімічної корозії....16
Теоретичні відомості....16
ДОДАТОК 1 24
ДОДАТОК 2 26
Література....27

Практичне заняття № 1

Тема: Термодинамічна можливість хімічної корозії

Мета: Визначення можливості протікання хімічної корозії

1. Теоретичні відомості

1.1. Термодинамічна можливість протікання хімічної корозії

Хімічна корозія металів – мимовільна взаємодія металу з корозійним середовищем, при якому окислювання металу й відновлення окисного компонента корозійного середовища протікають в одному акті.

Цей тип корозії спостерігається при дії на метали сухих газів (повітря, продукти згоряння палива й ін.) і рідких неелектролітів (нафти, бензину й ін.) і є гетерогенною хімічною реакцією рідкого або газоподібного середовищ (або їхніх окисних компонентів) з металом. Найпоширеніший вид хімічної корозії – газова корозія (корозія металів у газах при високих температурах).

Першопричиною хімічної корозії металів є їхня термодинамічна нестійкість у різних середовищах при даних зовнішніх умовах, тобто можливість мимовільного переходу металів у більше стійке окислювання стан.

Принципова можливість або неможливість мимовільного протікання хімічного процесу визначається знаком зміни термодинамічного потенціалу. Як критерій рівноваги й мимовільності процесів корозії металів найбільше зручно користуватися ізобарно-ізотермічним потенціалом *G*.

Ізобарно-ізотермічним потенціалом *G* називається характеристична функція стану системи, збиток якої в оборотному процесі при постійних тиску Р и температурі Т рівняється максимальній корисній роботі. Цю функцію часто називають вільною ентальпією.

Будь-який мимовільний ізобарно-ізотермічний процес супроводжується збитком *G*. Таким чином, за даних умов процес хімічної корозії можливий, якщо

$$\Delta G < 0;$$

корозійний процес неможливий, якщо

$$\Delta G > 0;$$

система перебуває в рівновазі, якщо

$$\Delta G = 0.$$

При *PT* = const ΔG може бути розрахований по рівнянню:

$$\Delta G_T = RT 2{,}303 \lg \frac{1}{p_{O_2}^{\frac{mn}{4}}} + \Delta G_T^0,$$

де p_{O_2} – початковий парціальний тиск кисню; *m* – число атомів металу в молекулі оксиду; *n* – валентність металу; *R* – універсальна газова постійна; *T* – абсолютна температура; ΔG_T^0 – зміна стандартного ізобарно-ізотермічного потенціалу (довідкова величина для конкретного оксиду).

1.2. Плівки на металах

У більшості випадків продукти хімічної корозії утворяться й залишаються на металі у вигляді плівки, що приводить до самогальмування корозійного процесу, якщо виникаюча плівка продуктів корозії має захисні властивості. Помітними захисними властивостями можуть володіти тільки суцільні, тобто покриваючу всю поверхню металу плівки. Можливість утворення оксидної плівки, що покриває всю поверхню металу при окислюванні киснем повітря, визначається умовою суцільності, сформульованим Піллінгом і Бедворсом.

Умова суцільності полягає в тому, що об'єм оксиду $V_{ок}$, що виникає з металу й кисню, повинен бути більше об'єму витраченого металу V_{Me}, тому що в противному випадку плівки оксиду не вистачить, щоб покрити весь метал, у результаті чого вона виходить дірчастою. Це може бути виражено наступними відносинами:

а) якщо $\frac{V_{ок}}{V_{Me}} = \frac{\mu_{ок}\rho_{Me}}{m\rho_{ок}A_{Me}} < 1$, плівка не може бути суцільний;

б) якщо $\frac{V_{ок}}{V_{Me}} = \frac{\mu_{ок}\rho_{Me}}{m\rho_{ок}A_{Me}} > 1$, плівка може бути суцільний;

тут $V_{ок}$ – об'єм оксиду;

V_{Me} – об'єм металу, витраченого на утворення оксиду;

$\mu_{ок}$ – молекулярна вага оксиду;

A_{Me} – атомна маса металу;

ρ_{Me} – щільність оксиду;

$\rho_{ок}$ – щільність металу;

m – число атомів металу в молекулі оксиду.

Захисні властивості плівки обумовлені поруч факторів, з яких суцільність є необхідною, але недостатньою умовою. У реальних умовах росту плівки в ній можуть виникнути такі внутрішні напруження, які зруйнують її й тим самим значно зменшать її захисні властивості.

Таким чином, орієнтовно можна вважати, що захисними властивостями володіють плівки на металах, що задовольняють умові:

$$1 < \frac{V_{ок}}{V_{Me}} < 2{,}5.$$

Завдання 1.

Визначити, чи можливо окислювання палладія в повітрі при 850 °С, якщо відомо, що $\Delta G_T^0 = -85{,}3\ кДж/моль$.

Рішення.

У результаті проходження реакції в повітрі утвориться оксид палладія Pd.

Для того щоб відповістити на поставлене запитання, необхідно визначити знак ізобарно-ізотермічного потенціалу ΔG_T.

Знайдемо значення ізобарно-ізотермічного потенціалу ΔG_T при проходженні реакції в повітрі по формулі, де m = 1 – кількість атомів палладія в молекулі оксиду; n = 2 – валентність палладія:

$$\Delta G_T = RT\,2{,}303\lg\frac{1}{p_{O_2}^{\frac{m}{n}}} + \Delta G_T^0 = 8{,}3\times 1123\times 2{,}303\times\lg\frac{1}{\left(0{,}21\times 10^5\right)^{1/2}} - 85300 =$$

$-131688{,}09$ *Дж / моль*.

Через те, що ΔG_T р 0, процес окислювання протікає.

Завдання 2.

Визначити, чи може алюміній давати суцільну оксидну плівку, якщо щільність алюмінію дорівнює 2,7 *г/см*^{3}, а щільність оксиду алюмінію Al_2O_3 – 3,96 *г/см*^{3}.

Рішення.

$$\frac{V_{ок}}{V_{Me}} = \frac{\mu_{ок}\rho_{Me}}{m\rho_{ок}A_{Me}} = \frac{(26\times 2 + 16\times 3)\times 2{,}7}{2\times 3{,}96\times 26} = 1{,}3, \text{ тобто } 1 р 1{,}3 р 2{,}5,$$

отже, оксидна плівка на алюмінії задовольняє умові суцільності.

Варіанти завдань для практичного заняття № 1

№ п/п	ПАРАМЕТРИ					
	Метал	**Плівка**	**Температура, °С**	**Значення стандартного ΔG_T^0, *кДж/моль***	**Щільність металу ρ_{Me}, *г/см*^{3}**	**Щільність продуктів корозії $\rho_{ок}$, *г/см*^{3}**
1	Срібло	Ag_2O	100	– 11,3	10,50	7,4
2	Уран	UO_2	150	– 1030	19,04	10,95
3	Барій	BaO	50	– 528,4	3,76	5,72
4	Кальцій	CaO	25	– 604,2	1,54	3,4
5	Ванадій	V_2O_5	200	– 1421,2	5,96	3,36
6	Хром	Cr_2O_3	250	– 1059	7,19	5,21
7	Мідь	CuO	125	– 129,4	8,96	6,45
8	Залізо	Fe_2O_3	50	– 740,3	7,87	5,25
9	Берилій	BeO	100	– 582	1,85	3,01
10	Свинець	PbO	300	– 189,1	11,336	8,79
11	Хром	CrO_3	350	– 1141	7,19	2,8
12	Олово	SnO	400	– 256,9	5,85	6,446
13	Магній	MgO	150	– 569,6	1,74	3,58
14	Залізо	FeO	50	– 244,3	7,87	5,7
15	Вісмут	Bi_2O_3	25	– 497,3	9,80	8,9
16	Нікель	NiO	175	– 211,6	8,91	7,45
17	Свинець	PbO_2	225	– 218,3	11,336	9,33
18	Уран	U_3O_8	150	– 3583,6	19,04	8,3

19	Ртуть	HgO	200	– 58,6	13,595	11,08
20	Олово	SnO_2	300	– 519,9	5,85	7,01
21	Мідь	Cu_2O	250	– 150,5	8,96	6,11
22	Тітан	TiO_2	100	– 888,6	4,505	3,95
23	Натрій	Na_2O	450	– 377,1	0,968	2,27
24	Залізо	Fe_3O_4	150	– 1014,2	7,87	5,2
25	Цинк	ZnO	175	– 320,7	7,133	5,7
26	Молібден	MoO_2	200	– 533,2	10,22	6,47
27	Марганець	MnO_2	225	– 466,7	7,44	5,026
28	Літій	Li_2O	250	– 562,1	0,534	2,013
29	Ванадій	V_2O_3	375	– 1139,4	5,96	4,87
30	Кадмій	CdO	400	– 229,3	8,65	8,15

Практичне заняття № 2

Тема: Швидкість хімічної корозії

Мета: Визначення середньої й дійсної швидкості хімічної корозії

Теоретичні відомості

Знак ΔG показує, чи можливий за певних умов даний корозійний процес.

Хоча величина ΔG і дає відповідь на питання про те, на скільки досліджуваних систем віддалена від стану рівноваги, але відповідь на досить важливе практичне питання про швидкість протікання корозійного руйнування в рамках термодинаміки отриманий бути не може.

Розглядом цього питання й займається кінетика корозійних процесів.

Швидкість хімічної корозії металів визначають кількісно, спостерігаючи в часі τ яку-небудь підходящу для цих цілей величину y: глибину проникнення корозійного руйнування в метал *П*, товщину плівки, що утвориться на *металі,* продуктів корозії *h*, *зміна* маси металу m або об'єму реагуючого *з* металом газу *V*, віднесені до одиниці поверхні металу, зміна механічних властивостей металу (наприклад, *межі міцності* $\sigma_в$) або його електричного опору *R*, виражені у відсотках, і т.д. *Дійсна*(або миттєва) *швидкість корозії металу в момент часу* τ_1 дорівнює першої похідної величини *в* за часом τ, тобто $dy/d\tau$ при $\tau = \tau_1$. Вона може бути визначена графічним диференціюванням по тангенсі кута нахилу дотичній до кривої $y = f(\tau)$ у крапці з координатами τ_1 і y_1 (рис. 1). Це треба з того, що, як відомо,

$$\frac{df(\tau)}{d\tau} = \frac{dy}{d\tau} = tg\alpha .$$

Для кількісного вираження швидкості корозії металів прийняті *показники корозії*: глибинний, зміни маси, об'ємний, механічний і ін.

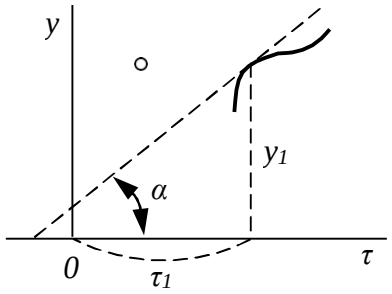


Рис. 1. Графічне диференціювання

Показник зміни маси – зміна маси зразка металу в результаті корозії, віднесене до одиниці поверхні металу *S* і до одиниці часу *τ*:

$$K_m^- = \frac{m_0 - m_2}{S_0 \tau}, \quad \frac{г}{м^2 \times час}$$

де K_m^- – негативний показник зміни маси;

m_0 – початкова маса зразка;

m_2 – маса зразка після корозії після видалення продуктів корозії;

S_0 – площа поверхні зразка;

τ – час корозії.

У випадку збільшення маси зразка показник корозії визначається як різниця між масою зразка із продуктами корозії після випробування й масою зразка до випробування:

$$K_m^+ = \frac{m_2 - m_0}{S\tau}, \quad \frac{г}{м^2 \times год}$$

де K_m^+ – позитивний показник зміни маси;

m_2 – маса зразка із продуктами корозії.

Якщо відомо сполуку продуктів корозії металу, можна зробити перерахування позитивного показника зміни маси в негативний і навпаки по формулі:

$$K_m^- = K_m^+ \frac{n_{ок} A_{Me}}{n_{Me} A_{ок}},$$

де A_{Me} – атомна маса металу; $A_{ок}$ – атомна маса окислювача (наприклад, кисню); n_{Me} – валентність металу; $n_{ок}$ – валентність окислювача.

Об'ємний показник корозії – об'єм поглиненого або металу газу, що виділився в процесі корозії, (наприклад, кисню), наведений до нормальних умов (*тобто* t = 0 °C та P = 0,1 МПа) і віднесений до одиниці поверхні металу й до одиниці часу:

$$K_V = \frac{V_0}{S_0 \times \tau}, \quad \frac{см}{год}$$

де K_V – об'ємний показник корозії;

V_0 – об'єм поглиненого або металу газу, що виділився в процесі корозії, (наприклад, кисню), наведений до нормальних умов (*тобто* t = 0 °С та P = 0,1 МПа);

S_0 – площа поверхні зразка;

τ – час корозії.

Якщо відомо сполуку продуктів корозії, об'ємний показник корозії може бути перелічений у показник зміни маси.

Глибинний показник корозії (проникнення корозії) – зменшення товщини металу внаслідок корозії, виражене в лінійних одиницях і віднесене до одиниці часу. Цей показник досить зручний при порівнянні різних металів з різними щільностями. Перехід від показника зміни маси до глибинного показника може бути зроблений у випадку рівномірної корозії по формулі:

$$K_{П} = \frac{K_{\bar{m}} 8{,}76}{\rho_{Me}}, \frac{мм}{час}$$

де $K_{П}$ – глибинний показник корозії;

$K_{\bar{m}}$ – негативний показник зміни маси;

ρ_{Me} – щільність металу.

Механічний показник корозії – зміна одного з основних показників механічних властивостей металу за певний час корозійного процесу, виражене у відсотках. Наприклад, зміна межі міцності металу – *міцнісний показник корозії*

$$K_{\sigma} = \frac{\sigma_{В}^{0} - \sigma_{В}^{1}}{\sigma_{В}^{0}} \times 100\% \text{ за час } \tau$$

де K_{σ} – міцнісний показник корозії;

$\sigma_{В} = \frac{P_0}{S_0}$ межа міцності металу до корозії;

P_0 – руйнівне навантаження до корозії;

S_0 – початкова площа перетину зразка;

$\sigma_{В} = \frac{P_1}{S_0}$ – фіктивна межа міцності металу після корозії протягом часу τ;

P_1 – руйнівне навантаження після корозії.

Одним з показників корозії є *зміна електричного опору зразка*:

$$K_{R} = \frac{R_1 - R_0}{R_0} 100\% \text{ за час } \tau;$$

де R_0 – електричний опір до корозії;

R_1 – електричний опір після корозії протягом часу τ.

При визначенні зміни електричного опору зразків площа їхнього перетину повинна бути однакової у всьому циклі випробувань. Оскільки ця умова не завжди може бути дотримано, на практиці частіше застосовують визначення зміни питомого електричного опору, тобто зміна електричного опору на одиницю (*см*^{2} або *мм*^{2}) площі перетину зразка при довжині, рівній одиниці (*см* або *м*).

Визначення зміни електричного опору або питомого електричного опору має обмежене застосування. Так цей метод застосуємо при дослідженнях тонкого (до ~ 3 *мм*) листові матеріали й дроту. Метод не застосуємо при дослідженнях товстолистового матеріалу (більше 3 *мм*) і для зварених сполук.

При якісній і кількісній оцінці корозійної стійкості металів рекомендується користуватися десятибальною шкалою. Хоча ця шкала оцінки корозійної стійкості металів і одержала найбільше поширення, особливо в хімічній промисловості, але вона не є універсальною. Приладобудування й ін. мають свої допуски на корозію, якими й слід керуватися у відповідних випадках.

Крім того, поняття стійкості матеріалу є відносним: для резервуара з товщиною стінки 10 – 15 *мм* припустима швидкість корозії 1 – 2 *мм/год*; для прецизійних приладів, запірних арматур і запірних сифонів максимально припустима швидкість корозії 0,01 *мм/год*.

Швидкість корозії, виражена кількісно за допомогою одного з наведених вище показників, є середньою швидкістю за час τ. Щира швидкість у момент часу τ може бути визначена графічно диференціюванням по тангенсі кута нахилу дотичній до кривій « корозія-час».

Завдання 1.

Оцінити корозійну стійкість цинку на повітрі при температурі 400 °С. Зразок цинку з поверхнею, рівної 30 *см*^{2}, важив до випробування 21,4261 *г.* Після 180-годинного окислювання на повітрі при температурі 400 °С він важив 21, 4279 *г.*

Рішення.

Знаходимо з досвідчених даних позитивний показник зміни маси:

$$K_m^+ = \frac{m_2 - m_0}{S_0 \tau} = \frac{21{,}4279 - 21{,}4261}{0{,}003 \times 180} = 0{,}0033 \ \frac{г}{м^2 \times год}.$$

Тому що при окислюванні киснем повітря цинк утворить оксид Zn, а, отже, відома сполука продуктів корозії, те негативний показник зміни маси можна розрахувати шляхом перерахунку позитивного показника зміни маси по формулі:

$$K_m^- = K_m^+ \frac{n_{ок} A_{Me}}{n_{Me} A_{ок}} = K_m^+ \frac{n_O A_{Zn}}{n_{Zn} A_O} = 0{,}0033 \times \frac{2 \times 65{,}38}{2 \times 16} = 0{,}013 \ \frac{г}{м^2 \times год}.$$

Визначимо тепер глибинний показник корозії:

$$K_П = \frac{K_m^- 8{,}76}{\rho_{Me}} = \frac{0{,}013 \times 8{,}76}{7{,}133} = 0{,}0156 \ \frac{мм}{рік},$$

що по десятибальній шкалі корозійної стійкості (додаток 2) відповідає стійким металам (бал 4).

Завдання 2.

Визначити об'ємний показник корозії й оцінити корозійну стійкість міді проти окислювання в кисні при 700 °С. Мідний зразок з поверхнею 20 *см* після 2-годинного окислювання при 700 °С поглинув 13,6 $см^3$ кисню при нормальних умовах (нормальні умови: температура 0 °С; тиск 760 *мм* рт. ст.).

Рішення.

Знаходимо об'ємний показник корозії:

$$K_{объемн} = \frac{V_O}{S_0 \tau} = \frac{13,6}{20 \times 2} = 0,34 \ \frac{см^3 O_2}{см^2 \times год},$$

що відповідає позитивному показнику зміни маси:

$$K_m^+ = K_{объемн} \frac{M_{O^2}}{V_M} 10000 = 0,34 \ \frac{32}{22400} 10000 = 4,9 \ \frac{г}{м^2 \times год},$$

де V_M – молярний об'єм будь-якого газу при нормальних умовах ($V_M = 22,4 \ л = 22400 \ г$).

Через те, що при окислюванні киснем повітря цинк утворить оксид Cu_2O, а, отже, відома сполука продуктів корозії, те негативний показник зміни маси можна розрахувати шляхом перерахунку позитивного показника зміни маси по формулі:

$$K_m^- = K_m^+ \frac{n_{ок} A_{Me}}{n_{Me} A_{ок}} = K_m^+ \frac{n_O A_{Cu}}{n_{Cu} A_O} = 4,9 \times \frac{2 \times 63,54}{1 \times 16} = 38,92 \ \frac{г}{м^2 \times час}.$$

Знаходимо глибинний показник корозії:

$$K_П = \frac{K_m^- 8,76}{\rho_{Me}} = \frac{38,92 \times 8,76}{8,96} = 38,09 \ \frac{мм}{год},$$

що по десятибальній шкалі корозійної стійкості (додаток 2) відповідає нестійким металам (бал 10).

Завдання 3.

Зіставити на підставі експериментальних даних (табл. 1) середню й дійсну швидкості корозії при τ = 0,5; 1 і 5 годин на повітрі.

Таблиця 1. Збільшення маси зразків латуні при температурі 775 °С у повітрі

Час, *год*	0	0,5	1	2	3	4	5	6
Збільшення маси, Δm, $г/м^2$	0	4,3	6,0	7,2	7,9	8,4	8,7	9,0

Рішення.

Знаходимо значення середньої швидкості корозії.

При тривалості випробування 0,5; 1 і 5 годин результати відповідають табличним даним, діленим на час випробування:

$$K_m^+ = \frac{\Delta m}{\tau} = \frac{4,3}{0,5} = 8,6 \ \frac{г}{м^2 \times год};$$

$$K_m^+ = \frac{\Delta m}{\tau} = \frac{6,0}{1} = 6,0 \ \frac{г}{м^2 \times год};$$

$$K_m^+ = \frac{\Delta m}{\tau} = \frac{8,7}{5} = 1,74 \ \frac{г}{м^2 \times год}.$$

Потім будуємо графік $\Delta m = f(\tau)$ і визначаємо дійсні швидкості графічним диференціюванням по тангенсі кутів нахилу дотичних у точках τ = 0,5; 1 і 5 годин (рис. 2):

$$tg\alpha_1 = 3,0; \ tg\alpha_2 = 1,4; \ tg\alpha_3 = 0,30.$$

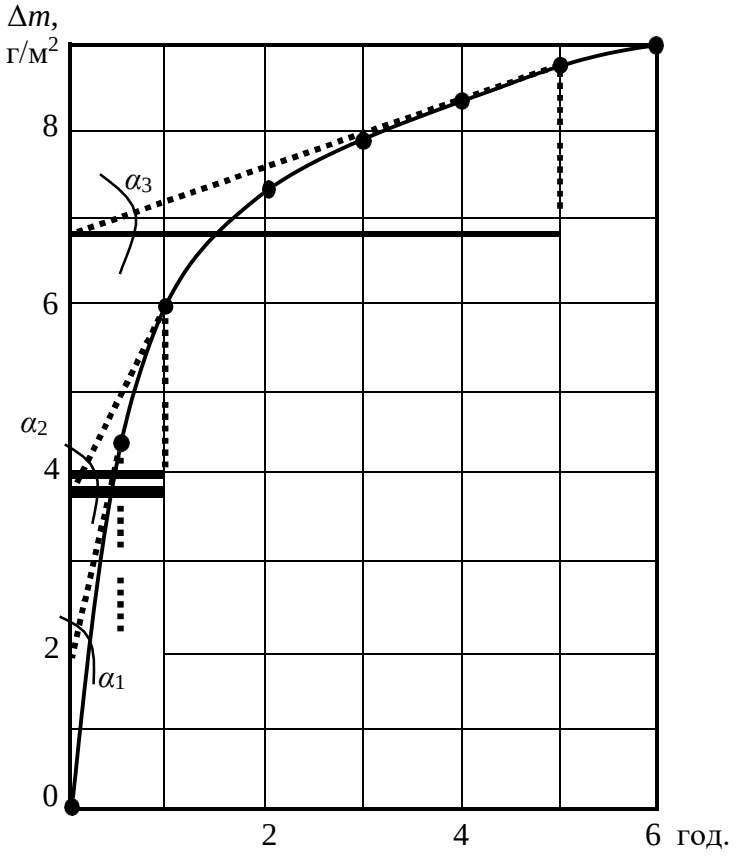


Рис. 2. Окислення латуні в повітрі при 775 °С

Отримані дані зводимо в таблицю 2.

Таблиця 2. Середні й щирі швидкості окислювання латуні при температурі 775 °С у повітрі

$K_m^+, \ \frac{г}{м^2 час}$	*τ, год*		
	0,5	1	5
Середня	8,6	6,0	1,75
Дійсна	3,0	1,4	0,3

Варіанти завдань для практичного заняття № 2

Завдання 1. Оцінити корозійну стійкість металу на повітрі (τ = 180 ч).

№ п\п	ПАРАМЕТРИ					
	Метал	**Оксид металу**	**Площа поверхні зразка S_0, *см***	**Початкова маса зразка m_0, *г***	**Маса зразка із продуктами корозії m_2, *г***	**Щільність металу ρ_{Me}, *г/см*^{3}**
1	**Метал**	Ag_2O	30	25,5565	25,5582	10,50
2	Срібло	UO_2	20	19,2398	19,2416	19,04
3	Уран	BaO	45	32,1211	32,1230	3,76
4	Барій	CaO	50	41,3347	41,3367	1,54
5	Кальцій	V_2O_5	35	28,7891	28,7908	5,96
6	Ванадій	Cr_2O_3	25	22,6321	22,6336	7,19
7	Хром	CuO	15	17,2544	17,2561	8,96
8	Мідь	Fe_2O_3	20	18,1988	19,1001	7,87
9	Залізо	BeO	55	46,2354	46,2370	1,85
10	Берилій	PbO	60	51,2272	51,2288	11,336
11	Свинець	CrO_3	30	27,5556	27,5572	7,19
12	Хром	SnO	40	32,9321	32,9337	5,85
13	Олово	MgO	25	24,1411	24,1432	1,74
14	Магній	FeO	20	20,3321	20,3331	7,87
15	Залізо	Bi_2O_3	45	37,2214	37,2234	9,80
16	Вісмут	NiO	30	25,6327	25,6344	8,91
17	Нікель	PbO_2	15	12,9542	12,9557	11,336
18	Свинець	U_3O_8	55	49,8631	49,8645	19,04
19	Уран	HgO	35	26,6418	26,6434	13,595
20	Ртуть	SnO_2	10	11,7698	11,7713	5,85
21	Олово	Cu_2O	55	53, 4319	53,4332	8,96
22	Мідь	TiO_2	40	32,3719	32,3736	4,505
23	Тітан	Na_2O	25	19,1946	19,1965	0,968
24	Натрій	Fe_3O_4	15	9,9133	9,9148	7,87
25	Залізо	ZnO	10	8,1115	8,1132	7,133
26	Цинк	MoO_2	30	12,3154	12,3166	10,22
27	Молібден	MnO_2	45	28,4532	28,4544	7,44
28	Марганець	Li_2O	25	41,8534	41,8545	0,534
29	Літій	V_2O_3	50	35,2761	35,2780	5,96
30	Ванадій	CdO	15	25,8346	25,8363	8,65

Завдання 2. Визначити об'ємний показник корозії й оцінити корозійну стійкість металу проти окислювання в кисні (τ = 2 ч).

№ п\п	ПАРАМЕТРИ					
	Метал	**Оксид металу**	**Температура, °С**	**Площа поверхні зразка S_0, *см***	**Об'єм поглиненого кисню (н.у.) V_0, $см^3$**	**Щільність металу ρ_{Me}, $г/см^3$**
1	Нікель	NiO	700	30	13,6	8,91
2	Свинець	PbO_2	600	20	11,5	11,336
3	Уран	U_3O_8	500	45	12,4	19,04
4	Ртуть	HgO	400	50	8,2	13,595
5	Олово	SnO_2	300	35	7,2	5,85
6	Мідь	Cu_2O	750	25	14,3	8,96
7	Тітан	TiO_2	650	15	13,8	4,505
8	Натрій	Na_2O	550	20	10,7	0,968
9	Залізо	Fe_3O_4	450	55	14,0	7,87
10	Цинк	ZnO	350	60	12,1	7,133
11	Молібден	MoO_2	700	30	13,5	10,22
12	Марганець	MnO_2	600	40	11,9	7,44
13	Літій	Li_2O	500	25	10,2	0,534
14	Ванадій	V_2O_3	400	20	9,4	5,96
15	Кадмій	CdO	300	45	8,8	8,65
16	Срібло	Ag_2O	750	30	13,1	10,50
17	Уран	UO_2	650	15	9,9	19,04
18	Барій	BaO	550	55	15,1	3,76
19	Кальцій	CaO	450	35	13,7	1,54
20	Ванадій	V_2O_5	350	10	7,9	5,96
21	Хром	Cr_2O_3	700	55	14,6	7,19
22	Мідь	CuO	600	40	13,8	8,96
23	Залізо	Fe_2O_3	500	25	12,6	7,87
24	Берилій	BeO	400	15	9,3	1,85
25	Свинець	PbO	300	10	9,0	11,336
26	Хром	CrO_3	700	30	15,4	7,19
27	Олово	SnO	600	45	11,9	5,85
28	Магній	MgO	500	25	10,5	1,74
29	Залізо	FeO	400	50	13,8	7,87
30	Вісмут	Bi_2O_3	300	15	8,7	9,80

Завдання 3. Зіставити на підставі експериментальних даних середню й дійсну швидкості корозії при τ = 0,5; 1 і 5 годин на повітрі.

№	Параметри	Значення							
1	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси срібла за 1 г. Δm, г/м^2 при t = 775 °С	0	12	25	47	75	94	114	136
2	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси урану за 1 г. Δm, г/м^2 при t = 500 °С	0	10	19	35	62	85	101	118
3	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси барію за 1 г. Δm, г/м^2 при t = 650 °С	0	18	34	62	91	112	144	175
4	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси кальцію за 1 г. Δm, г/м^2 при t = 400 °С	0	16	30	58	76	95	121	136
5	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси кадмію за 1 г. Δm, г/м^2 при t = 300 °С	0	12	21	40	68	82	105	118
6	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси хрому за 1 г. Δm, г/м^2 при t = 475 °С	0	19	42	83	123	152	171	199
7	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси міді за 1 г. Δm, г/м^2 при t = 550 °С	0	17	33	46	79	91	106	119
8	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси заліза за 1 г. Δm, г/м^2 при t = 375 °С	0	13	22	38	69	89	111	130
9	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси бериллия за 1 ч. Δm, г/м^2 при t = 775 °С	0	22	40	73	102	119	143	172
10	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси свинцю за 1 г. Δm, г/м^2 при t = 675 °С	0	18	31	59	86	112	139	178
11	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси хрому за 1 г. Δm, г/м^2 при t = 500 °С	0	16	33	71	95	112	128	155
12	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси олова за 1 г. Δm, г/м^2 при t = 475 °С	0	17	30	63	86	102	132	171
13	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси магнію за 1 г. Δm, г/м^2 при t = 350 °С	0	12	28	51	81	119	144	189
14	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси золота за 1 г. Δm, г/м^2 при t = 400 °С	0	23	50	77	95	115	133	165
15	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси натрію за 1 г. Δm, г/м^2 при t = 575 °С	0	19	42	81	106	128	154	192
16	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси нікелю за 1 ч. Δm, г/м^2 при t = 700 °С	0	14	25	47	82	100	129	156
17	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси свинцю за 1 г. Δm, г/м^2 при t = 650 °С	0	23	61	84	112	143	171	198
18	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси урану за 1 г. Δm, г/м^2 при t = 450 °С	0	15	29	62	87	101	128	154
19	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси ртуті за 1	0	25	61	92	118	148	179	205

	г. Δ*m*, *г/м*^{2} при *t* = 775 °С								
20	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси олова за 1 ч. Δ*m*, *г/м*^{2} при *t* = 675 °С	0	18	31	66	91	117	143	177
21	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси міді за 1 ч. Δ*m*, *г/м*^{2} при *t* = 775 °С	0	27	50	86	113	148	182	215
22	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси титану за 1 г. Δ*m*, *г/м*^{2} при *t* = 575 °С	0	14	32	65	94	117	155	185
23	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси натрію за 1 г. Δ*m*, *г/м*^{2} при *t* = 350 °С	0	13	34	57	91	104	132	167
24	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси танталу за 1 г. Δ*m г/м*^{2} при *t* =475 °С	0	18	31	64	118	143	179	196
25	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси цинку за 1 г. Δ*m*, *г/м*^{2} при *t* = 700 °С	0	23	45	84	113	152	189	211
26	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси молібдену за 1 г. Δ*m*, *г/м*^{2} при *t* = 775 °С	0	24	49	92	110	140	178	190
27	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси марганцю за 1 ч. Δ*m*, *г/м*^{2} при *t* = 500 °С	0	11	20	45	88	105	133	159
28	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси літію за 1 ч. Δ*m*, *г/м*^{2} при *t* = 650 °С	0	8	18	34	77	93	117	143
29	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси ванадію за 1 г. Δ*m*, *г/м*^{2} при *t* = 400 °С	0	19	35	71	96	122	149	168
30	**Час, год**	0	0,5	1	2	3	4	5	6
	Збільшення маси кадмію за 1 г. Δ*m*, *г/м*^{2} при *t* = 300 °С	0	16	29	62	85	116	143	174

Практичне заняття № 3

<u>Тема:</u> Вплив температури на швидкість хімічної корозії

<u>Мета:</u> Скласти рівняння температурної залежності

Теоретичні відомості

Залежно від товщини плівки на металі і її захисних властивостей швидкість утворення плівки визначається або швидкістю самого кристалохімічного процесу утворення плівки, або швидкістю дифузії через плівку реагуючих речовин.

Температурна залежність постійної швидкості хімічної реакції утворення плівки може бути представлена рівнянням:

$$k_C = A_1 e^{-Q_1/RT}, \qquad (1)$$

де k_C – постійна швидкості гетерогенної хімічної реакції утворення плівки;

A_1 – постійна;

Q_1 – уявна енергія активації реакції;

R – газова постійна;

T – абсолютна температура.

Допущення про те, що величини A_1 і Q_1 не залежать від температури, не зовсім точно, однак їхня зміна з температурою не грає істотної ролі в порівнянні із впливом температури на величину фактора $e^{-Q_1/RT}$, в показник якого вона входить у явному виді.

Температурна залежність коефіцієнта дифузії може бути виражена подібним рівнянням

$$k_D = A_2 e^{-Q_2/RT}, \qquad (2)$$

де k_D – коефіцієнт дифузії;

A_2 – постійна;

Q_2 – ефективна енергія активації дифузії (енергія розпушення).

Таким чином, температурна залежність швидкості хімічної корозії може бути написана в загальному виді:

$$K_m^+ = Ae^{-Q/RT}, \qquad (3)$$

або, позначаючи $\frac{Q}{R}$ через *b*,

$$K_m^+ = Ae^{-b/T}. \qquad (4)$$

Графічне зображення цієї залежності дане на рис. 3, *а*. Це рівняння гарне виправдується в багатьох випадках хімічної корозії, у тому числі й при газовій корозії металів.

Якщо прологарифмувати рівняння (3) і (4), одержимо:

$$\lg K_m^+ = \lg A - \frac{Q}{2{,}303RT} \text{ і } \lg K_m^+ = \lg A - \frac{b}{2{,}303T}. \qquad (5)$$

Графік у координатах $\lg K_m^+ = f\frac{1}{T}$ дає пряму з кутовим коефіцієнтом $\frac{Q}{2{,}303R}$ (рис. 3, *б)*. Ця залежність надзвичайно зручна для графічного знаходження відсутніх значень швидкості хімічної корозії при яких-небудь температурах, що цікавлять; вона ж може бути використана й для визначення постійних *A* та *Q* з досвідчених даних:

$$\frac{Q}{2{,}303R} = \frac{Q}{4{,}575} = -tg\ \alpha = tg\ \beta;\ \lg A = \lg K_m^+ \text{ (при } \frac{1}{T} = 0), \qquad (6)$$

отже,

$$Q = -2{,}303Rtg\alpha = 2{,}303Rtg\beta, \qquad (7)$$

де α – кут, утворений прямій $\lg K_m^+ = f\frac{1}{T}$ позитивним напрямком осі X;

β – кут, утворений прямій $\lg K_m^+ = f\left(\frac{1}{T}\right)$ негативним напрямком осі X.

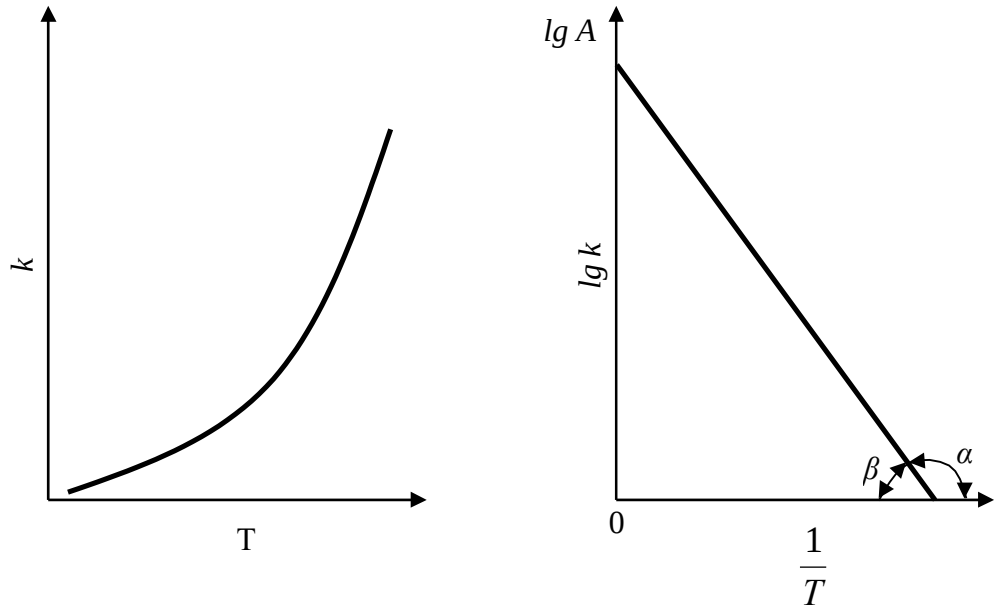


Рис. 3. Температурна залежність швидкості корозії:
а – в координатах $K_m^+ - T$; *б* – в координатах $lg\ K_m^+ - \frac{1}{T}$.

Значення Q – може бути знайдене аналітично за допомогою рівняння:

$$\lg \frac{K_{T_2}}{K_{T_1}} = \frac{Q}{2{,}303R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right),$$

де K_{T_2} й K_{T_1} – швидкості корозії при температурах T_2 і T_1.

Наведене співвідношення між швидкістю хімічної корозії й температурою може бути ускладнене або порушено, якщо зі зміною температури відбуваються зміни структури або інших властивостей металу й плівки, що утвориться на ньому.

Вплив температури представляє великий теоретичний і практичний інтерес для процесів, що протікають у часі. Температурний хід коефіцієнта дифузії, що зв'язує рухливість атома з його станом у решітці металу, є одним з основних питань при вивченні процесів дифузії у твердих тілах.

Завдання 1.

Знайти на підставі наведених у таблиці 3 експериментальних даних енергію активації процесу в дослідженому інтервалі температур.

Таблиця 3. Товщина шару оксиду при окислюванні заліза армко в повітрі

Температура, °С	75	100	150	175	200
Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	11	22	48	73	122

Рішення.

Будуємо за дослідними даними графік у координатах $\lg y = f\,\frac{1}{T}$ (рис. 4). Графік являє собою пряму $\lg y = \lg A - \frac{Q}{2{,}303RT}$.

Із графіка знаходимо, з огляду на масштаби

$$\frac{Q}{2{,}303R} = tg\beta = 0{,}84,$$

звідки $Q = 2{,}303Rtg\beta = 2{,}303 \times 8{,}3 \times 0{,}84 = 16{,}056$ *Дж / моль.*

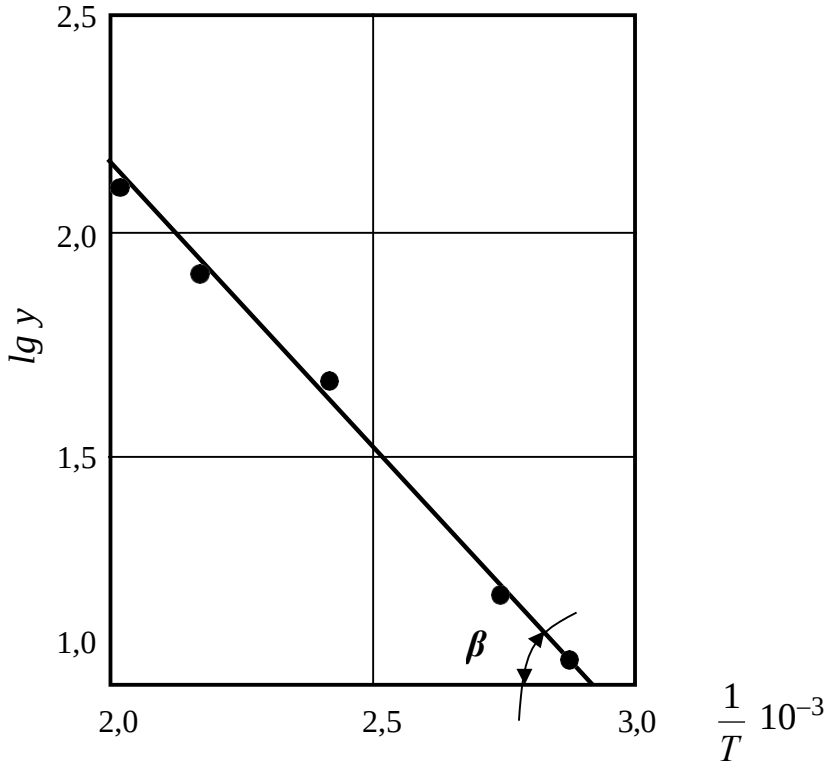


Рис. 4. Температурна залежність окислювання заліза армко (99,87 % Fe) у повітрі

Завдання 2.

Знайти рівняння температурної залежності постійної швидкості окислювання магнію k_1 у чистому кисні по наведеним у табл. 4 даним.

Рішення.

Будуємо за досвідченим даними графік у координатах $\lg k_1 = f\,\frac{1}{T}$, у яких звичайно спрямляється температурна залежність швидкості хімічних реакцій (рис. 5).

Таблиця 4. Постійна швидкості окислювання магнію в чистому кисні

Температура, °С	503	526	551	575
k_1, *г²/м година*	0,26	0,86	2,13	5,71

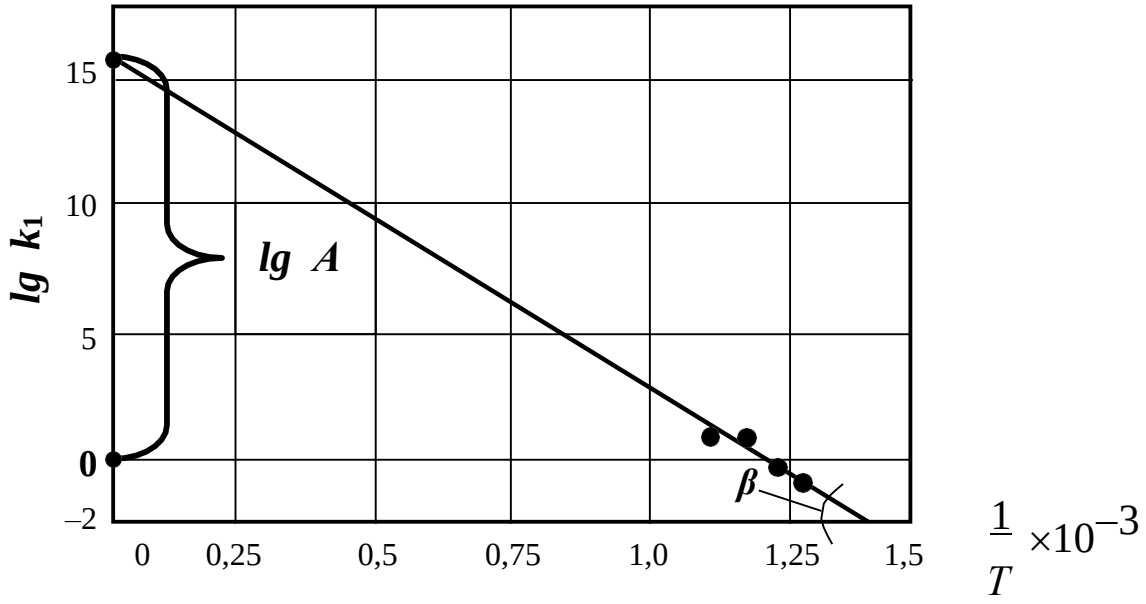


Рис. 5. Температурна залежність окислювання магнію в кисні (визначення постійних *A* и *Q*)

Графік являє собою пряму $\lg k_1 = \lg A - \dfrac{Q}{2{,}303RT}$.

Із графіка знаходимо $\lg A$ по точці перетинання прямій $\lg k_1 = f\ \dfrac{1}{T}$ з віссю $\lg k_1$ на побудованому графіку:

$$\lg A = 15{,}5; \qquad \frac{Q}{2{,}303R} = tg\beta\ = 0{,}67,$$

звідки $Q = 2{,}303Rtg\beta\ = 2{,}303 \times 8{,}3 \times 0{,}67 = 12{,}807$ *Дж / моль*.

Таким чином, рівняння температурної залежності постійної швидкості окислювання магнію в чистому кисні можна представити в такий спосіб:

$$\lg k_{_1} = 15{,}5 - \frac{12{,}807}{2{,}303RT} \text{ або } \lg k_1 = 15{,}5 - \frac{0{,}67}{T}.$$

Варіанти завдань для практичного заняття № 3

Завдання 1. Знайти на підставі наведених в експериментальних даних енергію активації процесу в дослідженому інтервалі температур.

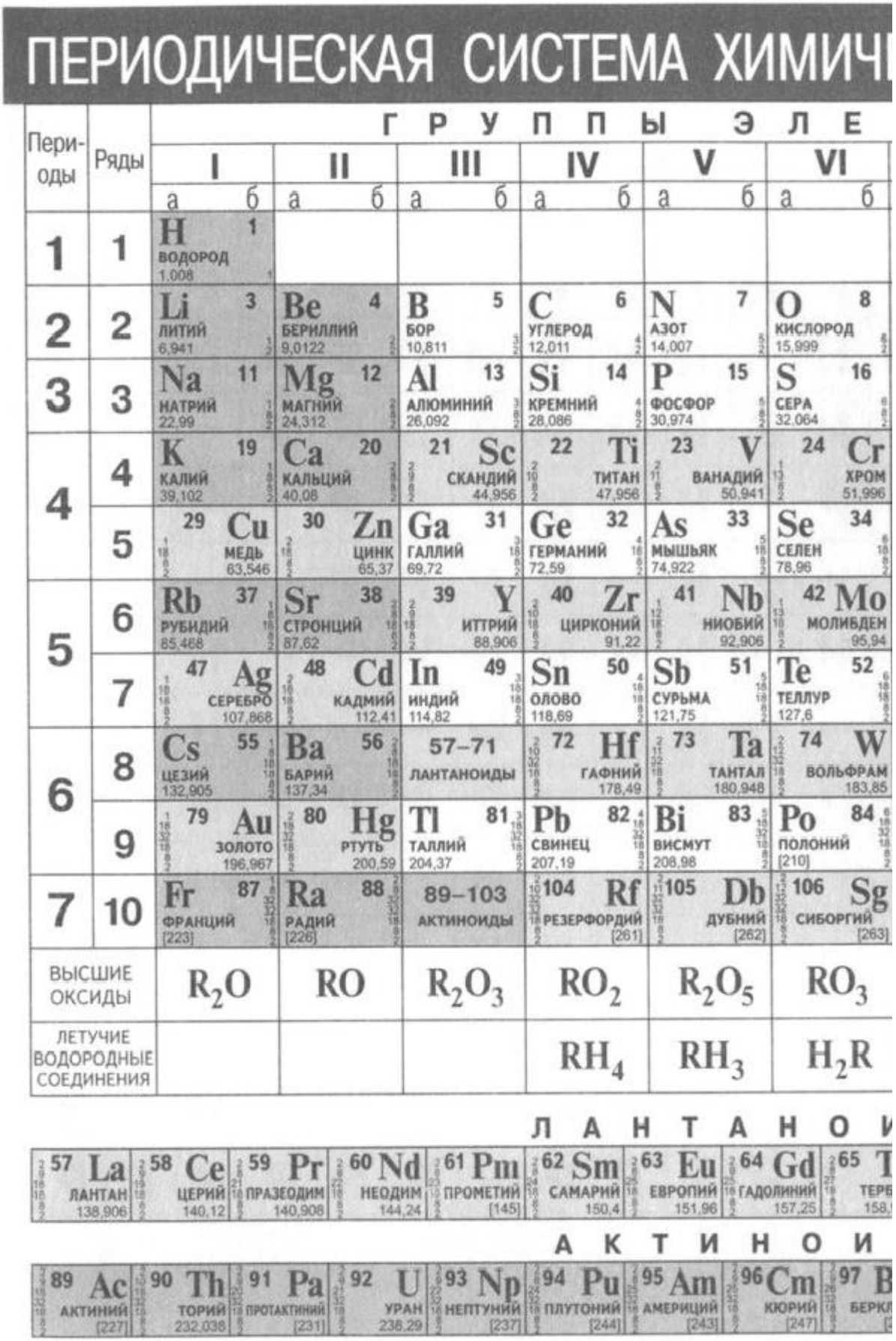
№	Параметри	Значення					№	Параметри	Значення				
1	Температура, °С	75	100	150	175	200	**16**	Температура, °С	75	100	150	175	200
	Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	10	20	36	88	173		Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	9	20	44	68	107
2	Температура, °С	75	100	150	175	200	**17**	Температура, °С	75	100	150	175	200
	Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	14	29	55	96	201		Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	20	40	85	132	211
3	Температура, °С	75	100	150	175	200	**18**	Температура, °С	75	100	150	175	200
	Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	16	33	59	101	184		Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	13	28	60	111	199
4	Температура, °С	75	100	150	175	200	**19**	Температура, °С	75	100	150	175	200
	Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	13	26	55	92	188		Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	16	35	74	93	146
5	Температура, °С	75	100	150	175	200	**20**	Температура, °С	75	100	150	175	200
	Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	12	23	51	99	169		Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	18	40	88	108	182
6	Температура, °С	75	100	150	175	200	**21**	Температура, °С	75	100	150	175	200
	Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	11	20	42	80	141		Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	14	31	66	91	131
7	Температура, °С	75	100	150	175	200	**22**	Температура, °С	75	100	150	175	200
	Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	17	35	77	118	173		Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	10	22	49	90	164
8	Температура, °С	75	100	150	175	200	**23**	Температура, °С	75	100	150	175	200
	Товщина шару	14	32	69	123	191		Товщина шару	19	41	85	147	212

	оксиду за одну годину Δm в A^0							оксиду за одну годину Δm в A^0					
9	Температура, °С	75	100	150	175	200	**24**	Температура, °С	75	100	150	175	200
	Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	15	30	62	106	184		Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	15	33	69	137	234
10	Температура, °С	75	100	150	175	200	**25**	Температура, °С	75	100	150	175	200
	Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	11	25	54	91	166		Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	9	20	43	80	139
11	Температура, °С	75	100	150	175	200	**26**	Температура, °С	75	100	150	175	200
	Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	18	36	78	124	206		Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	17	35	76	133	207
12	Температура, °С	75	100	150	175	200	**27**	Температура, °С	75	100	150	175	200
	Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	14	30	64	115	198		Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	8	18	44	80	149
13	Температура, °С	75	100	150	175	200	**28**	Температура, °С	75	100	150	175	200
	Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	12	25	53	96	147		Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	11	28	51	94	162
14	Температура, °С	75	100	150	175	200	**29**	Температура, °С	75	100	150	175	200
	Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	19	38	80	115	169		Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	14	30	57	101	183
15	Температура, °С	75	100	150	175	200	**30**	Температура, °С	75	100	150	175	200
	Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	10	22	51	78	123		Товщина шару оксиду за одну годину Δm в A^0	15	31	62	110	173

Завдання 2. Знайти рівняння температурної залежності постійної швидкості окислювання магнію k_1 у чистому кисні по наведеним експериментальним даним.

№	Параметри	Значення					№	Параметри	Значення				
1	Температура, °С	400	500	550	575	650	**16**	Температура, °С	450	500	600	700	800
	k_1, *г²/м·год*	0,81	1,28	1,51	2,29	3,38		k_1, *г²/м·год*	1,03	1,54	3,09	7,52	21,22
2	Температура, °С	450	550	650	750	850	**17**	Температура, °С	400	500	550	575	650
	k_1, *г²/м·год*	1,01	1,52	3,98	12,6	45,8		k_1, *г²/м·год*	0,98	1,42	1,73	2,49	3,28
3	Температура, °С	400	500	600	700	800	**18**	Температура, °С	450	550	650	750	850
	k_1, *г²/м·год*	1,12	1,86	4,16	11,5	56,6		k_1, *г²/м·год*	1,42	2,10	3,12	6,06	64,7
4	Температура, °С	450	500	650	750	800	**19**	Температура, °С	400	500	600	700	800
	k_1, *г²/м·год*	1,28	1,97	6,09	13,3	44,9		k_1, *г²/м·год*	0,63	1,15	2,69	5,55	19,11
5	Температура, °С	450	500	600	700	850	**20**	Температура, °С	450	500	650	750	800
	k_1, *г²/м·год*	1,24	1,93	5,46	16,2	67,1		k_1, *г²/м·год*	0,98	1,42	3,22	6,33	19,4
6	Температура, °С	400	550	600	750	850	**21**	Температура, °С	450	500	600	700	850
	k_1, *г²/м·год*	0,72	1,26	5,76	14,5	75,95		k_1, *г²/м·год*	1,20	1,93	5,19	12,13	51,2
7	Температура, °С	400	500	600	750	800	**22**	Температура, °С	400	550	600	750	850
	k_1, *г²/м·год*	0,79	1,18	5,53	18,1	63,22		k_1, *г²/м·год*	1,31	1,88	2,68	10,5	48,2
8	Температура, °С	450	500	600	700	800	**23**	Температура, °С	400	500	600	750	800
	k_1, *г²/м·год*	1,13	1,95	4,96	15,8	49,95		k_1, *г²/м·год*	0,68	1,12	2,75	4,65	15,1
9	Температура, °С	400	500	550	575	650	**24**	Температура, °С	450	500	600	700	800
	k_1, *г²/м·год*	1,21	1,73	2,05	2,39	3,451		k_1, *г²/м·год*	0,85	1,24	3,02	5,45	16,33
10	Температура, °С	450	550	650	750	850	**25**	Температура, °С	450	500	650	750	800
	k_1, *г²/м·год*	0,99	1,52	4,86	13,4	43,17		k_1, *г²/м·год*	0,97	1,39	2,41	5,10	17,5
11	Температура, °С	400	500	600	700	800	**26**	Температура, °С	450	500	600	700	850
	k_1, *г²/м·год*	1,30	1,87	6,32	16,7	54,28		k_1, *г²/м·год*	0,76	1,32	2,88	5,02	12,3
12	Температура, °С	450	500	650	750	800	**27**	Температура, °С	400	550	600	750	850
	k_1, *г²/м·год*	1,02	1,46	4,05	12,6	32,59		k_1, *г²/м·год*	0,55	1,11	2,63	4,95	16,12
13	Температура, °С	450	500	600	700	850	**28**	Температура, °С	400	500	650	750	800
	k_1, *г²/м·год*	1,14	1,55	5,11	14,89	44,44		k_1, *г²/м·год*	1,14	2,44	4,05	9,35	23,2
14	Температура, °С	400	550	600	750	850	**29**	Температура, °С	450	550	650	700	800
	k_1, *г²/м·год*	0,95	1,35	3,55	16,2	61,32		k_1, *г²/м·год*	0,82	1,39	2,87	4,93	14,9
15	Температура, °С	400	500	600	750	800	**30**	Температура, °С	400	500	550	575	650
	k_1, *г²/м·год*	0,81	1,16	2,70	4,32	14,81		k_1, *г²/м·год*	1,09	1,81	4,95	6,55	8,01

ДОДАТОК 1



ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧ

Периоды	Ряды	ГРУППЫ ЭЛЕ					
		I	II	III	IV	V	VI
		а б	а б	а б	а б	а б	а б
1	1	1 H ВОДОРОД 1,008					
2	2	3 Li ЛИТИЙ 6,941	4 Be БЕРИЛЛИЙ 9,0122	5 B БОР 10,811	6 C УГЛЕРОД 12,011	7 N АЗОТ 14,007	8 O КИСЛОРОД 15,999
3	3	11 Na НАТРИЙ 22,99	12 Mg МАГНИЙ 24,312	13 Al АЛЮМИНИЙ 26,092	14 Si КРЕМНИЙ 28,086	15 P ФОСФОР 30,974	16 S СЕРА 32,064
4	4	19 K КАЛИЙ 39,102	20 Ca КАЛЬЦИЙ 40,08	21 Sc СКАНДИЙ 44,956	22 Ti ТИТАН 47,956	23 V ВАНАДИЙ 50,941	24 Cr ХРОМ 51,996
	5	29 Cu МЕДЬ 63,546	30 Zn ЦИНК 65,37	31 Ga ГАЛЛИЙ 69,72	32 Ge ГЕРМАНИЙ 72,59	33 As МЫШЬЯК 74,922	34 Se СЕЛЕН 78,96
5	6	37 Rb РУБИДИЙ 85,468	38 Sr СТРОНЦИЙ 87,62	39 Y ИТТРИЙ 88,906	40 Zr ЦИРКОНИЙ 91,22	41 Nb НИОБИЙ 92,906	42 Mo МОЛИБДЕН 95,94
	7	47 Ag СЕРЕБРО 107,868	48 Cd КАДМИЙ 112,41	49 In ИНДИЙ 114,82	50 Sn ОЛОВО 118,69	51 Sb СУРЬМА 121,75	52 Te ТЕЛЛУР 127,6
6	8	55 Cs ЦЕЗИЙ 132,905	56 Ba БАРИЙ 137,34	57–71 ЛАНТАНОИДЫ	72 Hf ГАФНИЙ 178,49	73 Ta ТАНТАЛ 180,948	74 W ВОЛЬФРАМ 183,85
	9	79 Au ЗОЛОТО 196,967	80 Hg РТУТЬ 200,59	81 Tl ТАЛЛИЙ 204,37	82 Pb СВИНЕЦ 207,19	83 Bi ВИСМУТ 208,98	84 Po ПОЛОНИЙ [210]
7	10	87 Fr ФРАНЦИЙ [223]	88 Ra РАДИЙ [226]	89–103 АКТИНОИДЫ	104 Rf РЕЗЕРФОРДИЙ [261]	105 Db ДУБНИЙ [262]	106 Sg СИБОРГИЙ [263]
ВЫСШИЕ ОКСИДЫ		R_2O	RO	R_2O_3	RO_2	R_2O_5	RO_3
ЛЕТУЧИЕ ВОДОРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ					RH_4	RH_3	H_2R

ЛАНТАНОИ

57 La ЛАНТАН 138,906	58 Ce ЦЕРИЙ 140,12	59 Pr ПРАЗЕОДИМ 140,908	60 Nd НЕОДИМ 144,24	61 Pm ПРОМЕТИЙ [145]	62 Sm САМАРИЙ 150,4	63 Eu ЕВРОПИЙ 151,96	64 Gd ГАДОЛИНИЙ 157,25	65 T ТЕРБ 158,

АКТИНОИ

89 Ac АКТИНИЙ [227]	90 Th ТОРИЙ 232,038	91 Pa ПРОТАКТИНИЙ [231]	92 U УРАН 238,29	93 Np НЕПТУНИЙ [237]	94 Pu ПЛУТОНИЙ [244]	95 Am АМЕРИЦИЙ [243]	96 Cm КЮРИЙ [247]	97 B БЕРКЛ [

ЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА

М Е Н Т О В

VII		VIII		Энергетические уровни
а	б	б	а	
			He 2 ГЕЛИЙ 4,003	K
F 9 ФТОР 18,998			**Ne** 10 НЕОН 20,179	L K
Cl 17 ХЛОР 35,453			**Ar** 18 АРГОН 39,948	M L K
25 Mn МАРГАНЕЦ 54,938		**26 Fe** ЖЕЛЕЗО 55,849	**27 Co** КОБАЛЬТ 58,933	**28 Ni** НИКЕЛЬ 58,7	N M L K
Br 35 БРОМ 79,904			**Kr** 36 КРИПТОН 83,8	N M L K
43 Tc ТЕХНЕЦИЙ [99]		**44 Ru** РУТЕНИЙ 101,07	**45 Rh** РОДИЙ 102,906	**46 Pd** ПАЛЛАДИЙ 106,4	O N M L K
I 53 ИОД 126,905			**Xe** 54 КСЕНОН 131,3	O N M L K
75 Re РЕНИЙ 186,207		**76 Os** ОСМИЙ 190,2	**77 Ir** ИРИДИЙ 192,22	**78 Pt** ПЛАТИНА 195,09	P O N M L K
At 85 АСТАТ [210]			**Rn** 86 РАДОН [222]	P O N M L K
107 Bh БОРИЙ [262]		**108 Hn** ХАНИЙ [265]	**109 Mt** МЕЙТНЕРИЙ	**110**	Q P O N M L K
R_2O_7		RO_4		
HR				

И Д Ы

Tb БИЙ ,926	**66 Dy** ДИСПРОЗИЙ 162,5	**67 Ho** ГОЛЬМИЙ 164,93	**68 Er** ЭРБИЙ 167,26	**69 Tm** ТУЛИЙ 168,934	**70 Yb** ИТТЕРБИЙ 173,04	**71 Lu** ЛЮТЕЦИЙ 174,97	P O N M L K

Д Ы

Bk ЛИЙ [247]	**98 Cf** КАЛИФОРНИЙ [251]	**99 Es** ЭЙНШТЕЙНИЙ [254]	**100 Fm** ФЕРМИЙ [257]	**101 Md** МЕНДЕЛЕВИЙ [258]	**102 No** НОБЕЛИЙ [259]	**103 Lr** ЛОУРЕНСИЙ [260]	Q P O N M L K



Д.И. Менделеев
1834–1907



s-элементы

p-элементы

d-элементы

f-элементы

ISBN 5-17-016643-5

9 785170 166435

ДОДАТОК 2

ДЕСЯТИБАЛЬНА ШКАЛА КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ МЕТАЛІВ

№	Група стійкості	Швидкість корозії, *мм/рік*	Бал
1	Зовсім стійкі	Менш 0,001	1
2	Досить стійкі	Понад 0,001 до 0,005	2
		Понад 0,005 до 0,01	3
3	Стійкі	Понад 0,01 до 0,05	4
		Понад 0,05 до 0,1	5
4	Знижено-стійкі	Понад 0,1 до 0,5	6
		Понад 0,5 до 1,0	7
5	Малостійкі	Понад 1,0 до 5,0	8
		Понад 5,0 до 10,0	9
6	Нестійкі	Понад 10,0	10

Література
Науково-технічна бібліотека ОНМУ:

1. Морська корозія металів в напруженому стані. А.В. Кобзарук. Одеса – Херсон, 2014, 255с.
2. Хімічна корозія та захист металів : навчальний посібник. П. І. Стоєв, С. В. Литовченко, І. О. Гірка, В. Т. Грицина. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2019. – 216 с.
3. Корозія металів і засоби захисту від корозії. Підручник. Хохлачова Н.М., Ряховська О.В., Романова Т.Г. Вид-во Інфа-М, 2018 р., 118 с.
4. Матеріали сучасної техніки та захист від руйнування : навчальний посібник / Ю. В. Борисенко. – К. : КНУТД, 2016. – 111 с..
5. Романова Н. В. Загальна та неорганічна хімія : практикум. Київ : Либідь, 2003. 205 с. URL: http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28898 (дата звернення: 25.07.2023)
6. НАН України фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка. Фізико-хімічна механіка матеріалів. Міжнародний науково-технічний журнал. том 58, № 3, 2022 травень – червень
7. Сиза О.І. Захист від корозійних ушкоджень озброєння та військової техніки / О.І. Сиза, О.М. Савченко, О.О. Корольов, С.С. Гута // Збірник наукових праць Державного науково- дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. – 2022. –Вип. 2(12). – С. 119–126.
8. Савченко О. М. Інгібітори корозії для захисту поверхні обладнання військової техніки. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2022): матеріали тез доповідей XII міжнародної науково-практичної конференції (26–27 травня). 2022 р., м. Чернігів). – Чернігів: ЧНТУ, 2022. – С. 223–224.