

КОРОЗІЙНА СТІЙКІСТЬ В АТМОСФЕРНИХ УМОВАХ ПАРОФАЗНИХ КОНДЕНСАТІВ (Cu–Y–Zr)–Mo

В.Г. Гречанюк, І.М. Гречанюк

Київський національний університет будівництва і архітектури.
03037, м. Київ, просп. Повітряних Сил, 31

РЕФЕРАТ

Вивчена корозійна стійкість композиційних матеріалів в дистильованій воді, що відповідає умовам вологого середовища. Проведений рентгенографічний аналіз композиційних матеріалів (Cu–Y–Zr)–Mo показав, що корозійні руйнування спостерігаються на ділянках з дефектами структури. Встановлено, що процес окиснення стає інтенсивнішим при збільшенні концентрації молібдену в конденсатах. Бібліогр. 10, табл. 2, рис. 4.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: композиційні матеріали, структура, корозійна стійкість, електронно-променева технологія

ВСТУП

Для створення композиційних матеріалів (КМ) широко використовують різні металургійні процеси, зокрема методи порошкової металургії [1–3]. Досить перспективним є також метод електронно-променевого випаровування металів та їх послідувочої конденсації у вакуумі, розроблений в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона в 50-х роках минулого сторіччя. З використанням цього методу з'являється можливість створювати КМ, в яких можна спрямовано змінювати такі важливі властивості як дисперсність і розмір зерна, регулювати процеси взаємодії матеріалів з підкладкою, забезпечуючи тим самим виконання різноманітних вимог до матеріалів.

Аналіз існуючих матеріалів і закономірностей зміни їх фізико-хімічних властивостей за різних температур та під впливом зовнішніх середовищ показує перспективність використання КМ на основі міді в різних галузях промисловості. Добре витримуючи коливання температур, володіючи порівняно високою корозійною стійкістю, високою електро- і теплопровідністю КМ на основі міді можуть застосовуватись в радіотехнічній та обчислювальній техніці. Порівняно низька їх вартість в порівнянні зі сплавами із благородних металів обумовлює здатність використання цих матеріалів в якості електричних контактів різного призначення. До теперішнього часу накопичений досить великий фактичний матеріал по одержанню й дослідженню КМ на основі міді [4, 5]. Однак ряд важливих у науковому й прикладному відношеннях властивостей цих матеріалів не до кінця з'ясовано. Практично не вивчені такі аспекти як корозійна стійкість, вплив структурних факторів,

дисперсності на фізико-хімічні властивості цих матеріалів. Разом з тим відомо, що без зазначених характеристик не один матеріал не може бути впроваджений у промисловість.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Композиційні матеріали виготовили методом електронно-променевого випаровування і послідувочою конденсацією в вакуумі на підкладку, що обертається на установці УЕ-187 [6, 7]. Для формування розділового шару на підкладку, на яку здійснювалася конденсація парового потоку, використовували штабики із сполуки CaF_2 . Завдяки розділовому шару конденсат легко відокремлювався від підкладки і використовувався для проведення досліджень. Підкладкою, на яку здійснювалася конденсація, служила листовая сталь марки Ст3. Поверхню заготовки (підкладки), на яку проводили конденсацію парового потоку, обробляли до отримання шорсткості $0,63 \dots 1,2R_a$.

Така технологія дала можливість виготовити конденсати з шаруватою структурою, в якій чергуються шари міді, леговані цирконієм та ітрієм, і молібдену. Для дослідження корозійної стійкості використовували конденсати легової міді (Cu–0,05...0,1 % Zr–0,05...0,1 % Y) з різним вмістом молібдену від 7,62 до 46,7 мас. %.

Працездатність будь-яких матеріалів, в тому числі контактних, залежить від зовнішніх факторів. На швидкість корозійних процесів, які можуть протікати на поверхні композиційних матеріалів, впливає перш за все вологість повітря. У зв'язку з цим у роботі були проведені корозійні дослідження КМ (Cu–Zr–Y)–Mo в дистильованій воді, яка відповідає 100 % вологості згідно з ГОСТ 24927–81 [8].

Основою проведення досліджень корозійних властивостей КМ (Cu–Zr–Y)–Mo явився структурологічний підхід, оскільки під час перебігу корозійних процесів змінюються склад і структура поверх-

Авторське право © Автор(и)

© Видавець ТОВ «ВИДАВНИЧИЙ ДІМ» ПАТОН», 2026.

Ця стаття у відкритому доступі за ліцензією CC BY-NC-ND
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

невого шару. Мікроструктуру конденсатів вивчали методом електронної растрової мікроскопії за допомогою мікроскопу Cam Scan 4. Мікрошліфи поперечного перерізу зразків у вихідному стані і після корозійних випробувань виготовляли за загальноприйнятою методикою [9] шляхом шліфування на абразивному (або шліфувальному) папері зернистістю 80...2400 мкм. Заключне полірування поверхні шліфа здійснювали алмазною пастою зернистістю 1 мкм та водною суспензією на основі алюмінію оксиду зернистістю 0,3 мкм. Структуру вивчали в режимі відбитих електронів без застосування додаткового травлення поверхні шліфа.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Проведені електронно-мікроскопічні дослідження зразків, які ще не підлягали корозійним випробуванням в дистильованій воді, показали, що на поверхні і у перетині, перпендикулярному поверхні зразків у вихідному стані, відсутня будь-яка плівка (рис. 1, а).

Структура всіх конденсатів шарувата: шари міді, збагачені молібденом (світліші), чергуються з шарами міді, в яких вміст молібдену менший. У перетині, перпендикулярному до поверхні, по всій товщині зразків простежується коливання вмісту міді і молібдену (рис. 1, б, в).

Нерівномірність розподілу міді і молібдену спостерігається не тільки між шарами, а також в середині шарів. Така закономірність характерна для всіх досліджуваних зразків. Рентгенографічний аналіз дозволяє говорити, що у вихідних зразках основна фаза — мідь. В зразках з незначним

вмістом молібдену фіксується чиста мідь, додаткові лінії відображення відсутні. У зразках з вмістом молібдену більше 15 мас. % крім ліній відображення міді є ще одна додаткова лінія з міжплщинною відстанню $d = 2,22 \text{ \AA}$. Це найсильніша лінія відображення молібдену.

Поверхня конденсату після корозійних випробувань в дистильованій воді характеризується пошкодженнями на тих ділянках, на яких є механічні дефекти та дефекти структури, обумовлені розподільчим шаром із CaF_2 і краплями, які викидаються із рідкої ванни в процесі конденсації (рис. 2). Для порівняння на рис. 2 наведені результати структурного аналізу до і після корозійних випробувань. У вихідному стані на поверхні конденсату, яка прилегла до підкладки, спостерігаються певні механічні дефекти, обумовлені шорсткістю підкладки та дефектами, утвореними внаслідок крапельного переносу при випаровуванні розподільчого шару CaF_2 . На протилежній поверхні, з боку ванни-випарника, спостерігаються краплі, утворені викидами твердих частинок з ванни випарника, якими можуть бути оксиди, утворені домішками в технічно чистих міді та молібдені.

У процесі корозії інтенсивніше руйнується поверхня в місцях утворення дефектів (рис. 2). На поверхні з боку ванни-випарника відбувається руйнування на межах крапля-конденсат, де мають місце несучільності між краплями та основою конденсату. По вказаних несучільностях руйнування поширюється вглибину конденсату

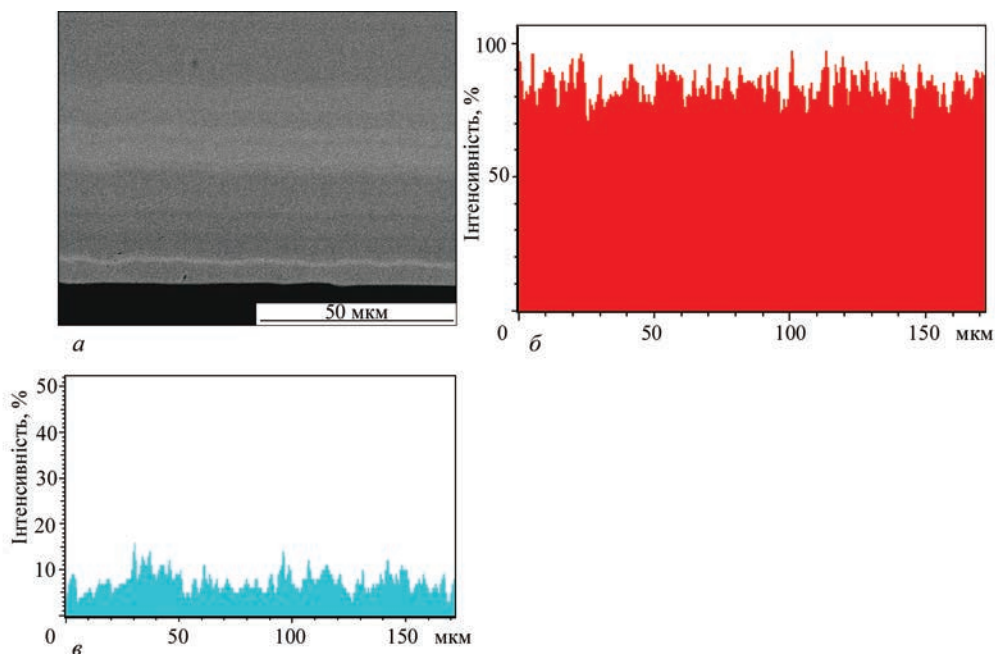


Рис. 1. Шарувата структура (Cu–0,05...0,1 % Zr–0,05...0,1 % Y)–Mo15,36 мас. % КМ (а), розподіл компонентів в міді (б), молібдені (в)

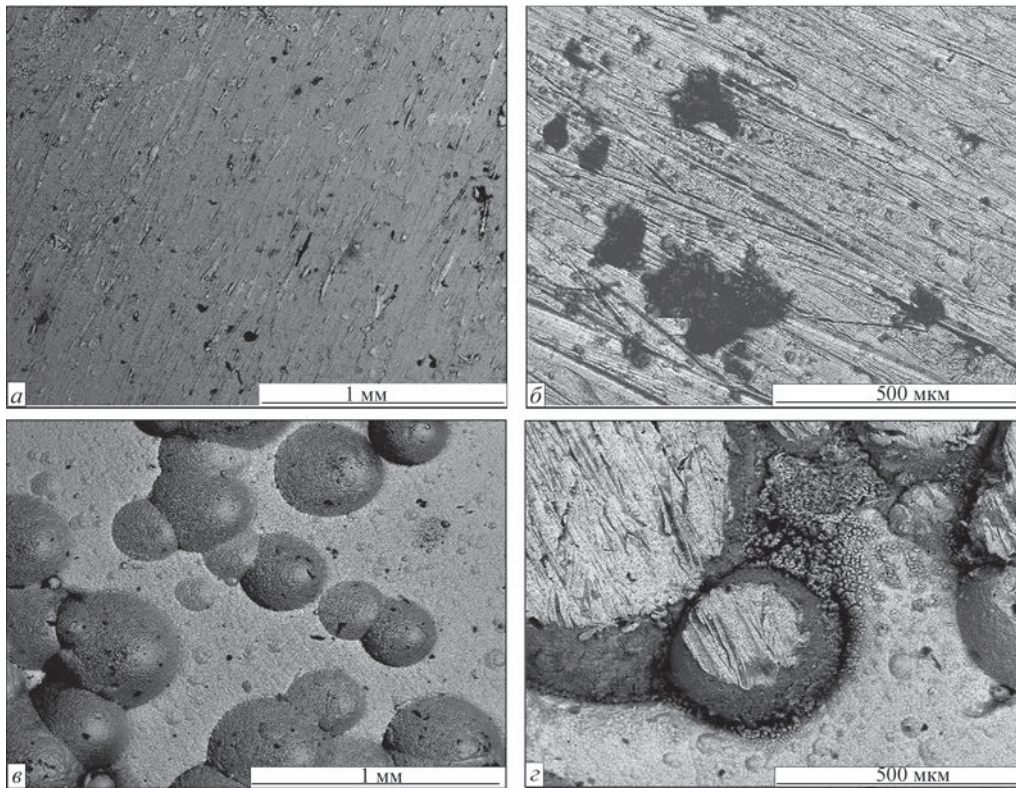


Рис. 2. Вихідний стан поверхні до (а, в) та після (б, г) корозійних випробувань з боку: а, б — підкладки; в, г — ванни-випарника

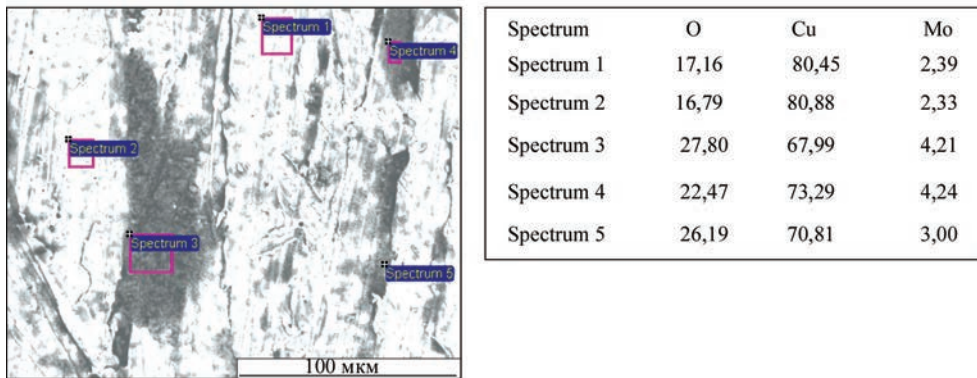


Рис. 3. Розподіл елементів на поверхні конденсату (Cu–0,05...0,1 % Zr–0,05...0,1 % Y)–Mo15,36 мас. % після корозійних досліджень в дистильованій воді

(рис. 2, г). Дослідження хімічного складу поверхні після корозійних випробувань в дистильованій воді показали, що поверхня характеризується наявністю великої кількості міді, кисню та незначної кількості молібдену (рис. 3). Зменшення вмісту молібдену пов'язано з корозійною активністю молібдену і переходом його як більш активного металу в розчин.

Результати рентгенографічних досліджень (рис. 4) підтверджують утворення на поверхні купрум (I) оксиду Cu_2O . Крім того, в зразках спостерігаються слабкі додаткові лінії з $d = 2,22 \text{ \AA}$ і $d = 1,11 \text{ \AA}$, які можуть бути зумовлені присутністю у зразках молібдену та його оксиду MoO_3 .

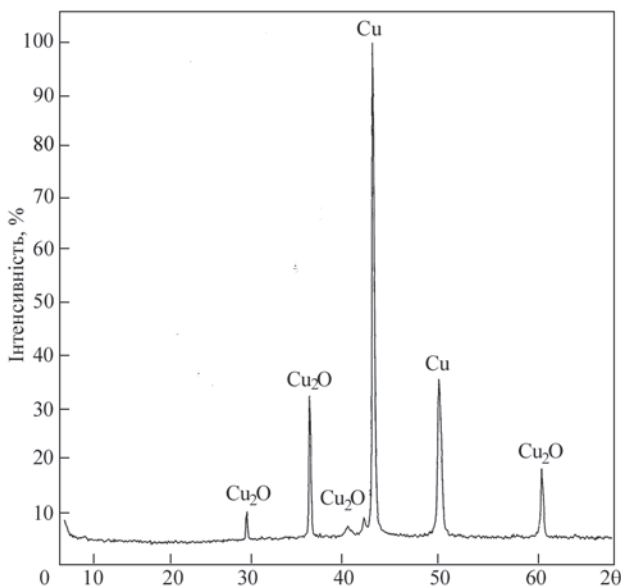
Наведені дані підтверджують механізм корозійних процесів, який характеризується утворенням гальванопари мідь–молібден. Більш активний метал (молібден) дифундує до поверхні, іонізується і при взаємодії з киснем із розчину утворює на поверхні оксидну плівку MoO_3 . Присутність оксиду молібдену (VI) на поверхні зразків зменшує корозійну стійкість, оскільки оксидна плівка молібдену має малу суцільність і не може виконувати захисні функції. У зв'язку з цим процес корозії поширюється вглибину. Корозійна стійкість найменша для матеріалу, який має найбільший вміст молібдену. Про це свідчить найбільша інтенсивність рентгєнівських спектрів.

Таблиця 1. Зменшення маси зразків МК (Cu–0,05...0,1 % Zr–0,05...0,1 % Y)–Mo в дистильованій воді

Хімічний склад зразків, мас. %		Час випробувань, год				
Cu	Mo	20	40	60	80	100
Решта	7,62	0,75	0,05	0,20	0,05	0,50
→→	15,36	0,95	0,25	0,95	0,90	0,85
→→	28,90	1,50	1,25	1,35	1,70	1,20
→→	46,70	1,95	1,55	1,65	1,80	1,30

Таблиця 2. Масові і глибинні показники корозії КМ (Cu–0,05...0,1%Zr–0,05...0,1%Y)–Mo в дистильованій воді

Хімічний склад зразків, мас. %		$K_{\text{вип}}$, г/м ² ·год	П, мм/рік	Бал корозійної стійкості
Cu	Mo			
Решта	7,62	0,004	0,00343	Досить стійкі 2
→→	15,36	0,050	0,0429	Стійкі 4
→→	28,90	0,080	0,0687	Стійкі 5
→→	46,70	0,090	0,0770	→→

**Рис. 4.** Фрагмент рентгенограми (Cu–0,05...0,1 % Zr–0,05...0,1 % Y)–Mo 15,36 мас. % після випробування в дистильованій воді

Гравіметричні дослідження проводили протягом 100 год з визначенням зміни маси через кожні 20 год. Як показали результати досліджень, втрати маси помітно збільшуються для зразків з більшим вмістом молібдену (табл. 1).

Масові і глибинні показники корозії, розраховані за результатами гравіметричних залежностей, свідчать про зменшення корозійної стійкості КМ від концентрації молібдену 7,62 до 46,7 мас. %. Бал корозійної стійкості за 10-бальною шкалою

відповідно до ДСТУ 13819-68 [10] становить 2 при концентрації молібдену 7,62 мас. % та зменшується до 4...5 при збільшенні концентрації молібдену до 46,7 мас. % (табл. 2).

ВИСНОВКИ

1. Проведені дослідження показали, що на поверхні і у перетині, перпендикулярному поверхні зразків композиційних матеріалів (Cu–0,05...0,1%Zr–0,05...0,1%Y)–Mo у вихідному стані, відсутня будь-яка плівка.

2. Структура всіх конденсатів шарувата: шари міді, збагачені молібденом, чергуються з шарами міді, в яких вміст молібдену менший.

3. Після корозійних випробувань в дистильованій воді поверхня конденсату характеризується пошкодженнями на тих ділянках, на яких є механічні дефекти та дефекти структури.

4. Встановлено, що із збільшенням концентрації молібдену корозійна стійкість всіх зразків у дистильованій воді зменшується. Бал корозійної стійкості найвищий для КМ з вмістом молібдену 7,62 мас. %.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ/REFERENCES

1. Baglyuk, G.A., Grypachevskiy, O.M., Volfman, V.I., Uskova, N.O. (2009) Thermal synthesis of powder master alloy Fe–Mn–C–Cu. *Metaloznavstvo ta Obrobka Metaliv*, 3, 43–47 [in Ukrainian].
2. Konoval, V.P., Umanskiy, O.P., Bondarenko, O.A. et al. (2024) Technology of producing and properties of composite powders based on titanium-chrome diboride for coating deposition. *Poroshkova Metalurhiya*, 1–2, 3–16 [in Ukrainian].
3. Kulikov, L.M., Ragulya, A.V., Pozniy, A.P. et al. (2023) Influence of air humidity on dielectric properties of micron pow-

- ders of 2D molybdenum disulphide. *Poroshkova Metalurhiya*, 9–10, 3–20 [in Ukrainian].
4. Artyukh, Ya.Yu., Grechanyuk, V.G. (2006) Corrosion resistance of composite materials based on copper and molybdenum produced by electron beam technology in the temperature range of 20–800 °C. *Electrical contacts and electrodes. Series Composite Materials*. Kyiv, 267–272.
 5. Grechanyuk, I.N., Artyukh, Ya.Yu., Grechanyuk, V.G. et al. (2005) Study of corrosion and erosion resistance of composite materials based on copper and molybdenum. *Naukovi Visti NTUU KPI*, 6, 46–50.
 6. Grechanyuk, N.I., Kucherenko, P.P. (2005) *Unit for electron beam deposition of coatings*. Pat. 2265078 RF. Publ. 12.07.2005.
 7. Grechanyuk, N.I., Mamuzic, I., Bukhanovskii, V.V. (2007) Production technology and physical, mechanical and performance characteristics of Cu–Zr–Y–Mo finely-dispersed microlayer composite materials. *Metallurgiya*, 46(2), 125–28.
 8. (1980) *Unified procedure of laboratory tests of effectiveness of corrosion inhibitors in water systems*. Riga, Institute of Inorg. Chemistry, AS Lithuanian SSR.
 9. Zagorodnii, V.V. (2019) *Local methods of investigations: Manual for students of speciality 105 "Applied Physics and Nanomaterials"*. Kyiv, KPI.
 10. (1969) GOST 13819–68: *Corrosion of metals. Ten-point scale of corrosion resistance*.

CORROSION RESISTANCE OF VAPOR-PHASE CONDENSATES (Cu–Y–Zr)–Mo IN ATMOSPHERIC CONDITIONS

V.G. Grechanyuk, I.M. Grechanyuk

Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture.
Ukraine, Kyiv, Air Force Avenue, 31

ABSTRACT

The corrosion resistance of composite materials in distilled water, which corresponds to the conditions of a humid environment, was studied. The X-ray analysis of composite materials (Cu–Y–Zr)–Mo showed that corrosion damage is observed in areas with structural defects. It was established that the oxidation process becomes more intense with increasing molybdenum concentration in the condensates. 10 Ref., 2 Tabl., 4 Fig.

KEYWORDS: composite materials, structure, corrosion resistance, electron beam technology

ORCID

V.G. Гречанюк — <https://orcid.org/0009-0008-8771-3092>, I.M. Гречанюк — <https://orcid.org/0000-0001-7341-3170>

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів

АВТОР ДЛЯ ЛИСТУВАННЯ

V.G. Гречанюк

Київський національний університет будівництва і архітектури.

03037, м. Київ, просп. Повітряних Сил, 31. E-mail: eltechnic777@ukr.net.

E-mail: eltechnic777@ukr.net

РЕКОМЕНДОВАНЕ ЦИТУВАННЯ

V.G. Гречанюк, I.M. Гречанюк (2026) Корозійна стійкість в атмосферних умовах парофазних конденсатів (Cu–Y–Zr)–Mo. *Сучасна електрометалургія*, 01, 3–10. DOI: <https://doi.org/10.37434/sem2026.01.06>

ГОЛОВНА СТОРІНКА ЖУРНАЛУ

<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/sem>

Отримано 06.01.2026

Отримано у переглянутому вигляді 18.02.2026

Затверджено до друку 31.03.2026

Оприлюднено 14.04.2026




**Aluminium
Tech expo**

PREMIERE EDITION

16 – 18 | 06 | 2026

TRADE FAIR FOR **ALUMINIUM
TECHNOLOGY IN INDUSTRY
AND CONSTRUCTION**

WARSAW | PTAK WARSAW EXPO

FAIR PARTNERS:



