

<https://doi.org/10.15407/dopovidi2026.04.080>

УДК 620.197.3

О.П. Хлопик, <https://orcid.org/0000-0002-5042-7606>

І.М. Зінь, <https://orcid.org/0000-0001-8896-0601>

С.А. Корній, <https://orcid.org/0000-0003-3998-2972>

Б.М. Дацко, <https://orcid.org/0000-0002-9130-4522>

Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Львів, Україна

E-mail: korniy_sergiy@ukr.net

Механохімічно модифікований природний силікат як інгібувальний пігмент для захисту алюмінієвих сплавів від корозії

Представлена членом-кореспондентом НАН України М.С. Хомою

Композиційний протикорозійний пігмент отримано методом твердофазного модифікування у високоенергетичному планетарному млині шляхом механохімічної взаємодії природного силікату (воластоніту) із цинку монофосфатом. Морфологію та фазовий склад пігменту досліджено методами сканувальної електронної мікроскопії та X-променевого фазового аналізу, які підтвердили утворення аморфної фосфатної фази на поверхні воластоніту. Методом електрохімічної імпедансної спектроскопії встановлено, що композиційний пігмент ефективно інгібує корозію алюмінієвого сплаву Д16Т у хлоридному середовищі, що виявляється у підвищенні модуля імпедансу приблизно у 15 разів порівняно з неінгібованим середовищем та у 5 разів порівняно з простою сумішшю вихідних компонентів, а також супроводжується збільшенням опору перенесення заряду і формуванням щільної захисної плівки. Захисна дія зумовлена формуванням на поверхні сплаву щільної та рівномірної плівки, що містить фосфати кальцію, цинку та алюмінію.

Ключові слова: воластоніт, цинку монофосфат, алюмінієвий сплав Д16Т, корозія, протикорозійний пігмент, електрохімічна імпедансна спектроскопія.

Вступ. Використання захисних лакофарбових покриттів є одним із найефективніших способів захисту металевих виробів і конструкцій від корозії [1—4]. Для підвищення довговічності таких покриттів до їх складу традиційно вводять інгібувальні пігменти, зокрема на основі сполук плюмбуму(II) та хрому(VI) [5, 6]. Попри високу протикорозійну ефективність, ці сполуки характеризуються значною токсичністю, що зумовлює необхід-

Ц и т у в а н н я: Хлопик О.П., Зінь І.М., Корній С.А., Дацко Б.М. Механохімічно модифікований природний силікат як інгібувальний пігмент для захисту алюмінієвих сплавів від корозії. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2026. № 4. С. 80—88. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2026.04.080>

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2026. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

ність їх заміни на екологічно безпечніші матеріали. Одними з найпоширеніших замінників хроматних і свинцевих пігментів є фосфатні інгібітори на основі сполук цинку [7—9]. Захисну дію цинку фосфату пов'язують із його здатністю до поступового гідролізу після проникнення агресивного середовища через дефекти покриття до поверхні металу. При цьому на анодних ділянках металу формується фосфатна пасивувальна плівка, тоді як на катодних відбувається осадження малорозчинних гідроксидів [8]. Водночас ефективність цинку фосфату як протикорозійного пігменту обмежується його низькою розчинністю, що ускладнює утворення суцільного захисного шару на поверхні металу [9]. Перспективним підходом до підвищення ефективності фосфатних пігментів є створення композиційних систем на основі цинку фосфатів та функціональних мінеральних наповнювачів. Завдяки компонентам композицій можна не лише посилити протикорозійну дію покриттів, а й зменшити вартість лакофарбових матеріалів. У цьому контексті значний інтерес становлять слаболужні силікатні мінерали, зокрема воластоніт, який характеризується високою хімічною стабільністю, доступністю та здатністю до участі у формуванні захисних поверхневих шарів [10].

Метою дослідження було встановлення інгібувальної дії композиційного пігменту на основі природного силікату та цинку монофосфату, одержаного методом механохімічного модифікування, щодо корозії алюмінієвого сплаву в хлоридному середовищі.

Матеріали та методи. Композиційний пігмент отримували механохімічною модифікацією воластоніту цинку монофосфатом у високоенергетичному планетарному млині Retsch PM100 протягом 1 год за швидкості обертання помольного циліндра 200 об/хв. Масове співвідношення воластоніту та монофосфату цинку в помольній суміші становило 3 : 1.

Водні витяжки готували шляхом витримування 1 г пігменту в 1 л дистильованої води протягом 24 год за температури (20 ± 2) °C із періодичним перемішуванням. Після витримування суспензію відстоювали, фільтрували через паперовий фільтр. Отриманий фільтрат використовували для електрохімічних досліджень.

Х-променевиї структурний аналіз отриманих порошків виконували методом рентгенівської дифрактометрії за допомогою дифрактометра ADP 2.0 з Mn-фільтрацією та Fe-випромінюванням за кроком сканування $0,025^\circ 2\theta$ і часом підрахунку 1,5 с.

Вплив водних витяжок воластоніту, монофосфату цинку, їхньої простої суміші та композиційного пігменту “воластоніт/фосфат” (1 г/л) на корозію алюмінієвого сплаву в 0,1%-му розчині NaCl досліджували електрохімічними методами [11]. Імпедансні спектри алюмінієвого сплаву реєстрували за допомогою потенціостата VersaStat 3 (AMETEK Scientific Instruments) за потенціалу вільної корозії в діапазоні частот 10000–0,01 Гц. Амплітуда прикладеного сигналу становила 10 мВ. Для вимірювань використовували триелектродну комірку, яка складалася з електрода порівняння Ag/AgCl, допоміжного платинового електрода і робочого електрода з досліджуваного матеріалу.

Морфологію та хімічний склад поверхні зразків алюмінієвого сплаву Д16Т після експозиції в корозійних середовищах досліджували за допомогою сканувального електронного мікроскопа Zeiss EVO-40XVP, оснащеного системою енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії AZtecLive (Oxford Instruments) на базі детектора Ultim Max 65 (EDX).

Результати досліджень та їх обговорення. Дифрактограма порошку простої суміші, отриманої з попередньо розмелених компонентів воластоніту та цинку монофосфату

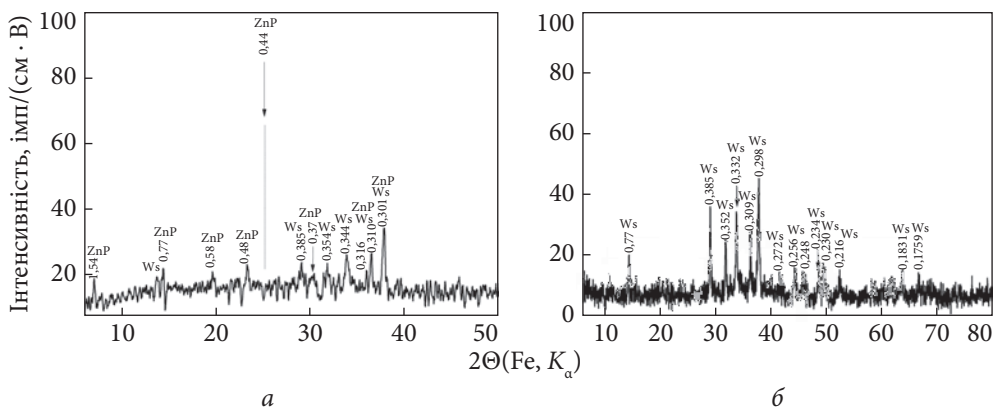


Рис. 1. Дифрактограми порошків: *а* — проста суміш компонентів зі співвідношенням воластоніт / цинку монофосфат 3 : 1; *б* — композиційний пігмент, отриманий методом механохімічного модифікування за співвідношення воластоніт / цинку монофосфат 3 : 1

(рис. 1, *а*), свідчить про наявність кристалічних фаз, рефлекси яких відповідають воластоніту та цинку монофосфату. Водночас за результатами Х-променевого фазового аналізу композиційного пігменту кристалічну фазу цинку монофосфату не виявлено, що може свідчити про утворення на поверхні воластоніту аморфної або нанокристалічної фосфатної фази (див. рис. 1, *б*). При цьому в діапазоні кутів $2\theta = 29\text{—}38^\circ$ спостерігається деяке зростання інтенсивності рефлексів воластоніту.

Результати дослідження корозійної стійкості алюмінієвого сплаву в середовищі з витяжками пігментів методом електрохімічної імпедансної спектроскопії наведено на рис. 2. Встановлено, що додавання до корозійного середовища пігменту воластоніт / цинку монофосфат, отриманого механохімічним методом, спричиняє підвищення модуля імпедансу алюмінієвого сплаву за частоти 0,01 Гц (див. рис. 2, *а*) приблизно в 15 разів порівняно зі значенням $|Z_{0,01}|$ у неінгібованому середовищі та в 5 разів порівняно з розчином, що містить просту суміш воластоніту і цинку монофосфату. Це свідчить про формування на поверхні сплаву суцільного захисного шару з покращеними бар'єрними властивостями. Водночас розширений максимум фазового кута (див. рис. 2, *б*), зміщений в область нижчих частот, досягає найбільшого значення (75°), що також підтверджує утворення на поверхні захисного шару з вираженими бар'єрними властивостями [12].

Для аналізу імпедансних спектрів алюмінієвого сплаву, записаних після 24 год витримування у витяжках протикорозійних пігментів у корозійному середовищі, застосовували моделювання з використанням еквівалентної електричної схеми $R_s(Q_f(R_f(Q_{dl}R_{ct})))$ та програми ZSimpWin. У цій схемі R_s характеризує опір корозійного середовища, Q_f — ємність захисної поверхневої плівки на сплаві, виражену через елемент сталої фази, R_f — опір електролітичного середовища в порах захисної плівки, Q_{dl} — ємність електричного подвійного шару на металі, виражену через елемент сталої фази, R_{ct} — опір перенесення заряду металу

За результатами розрахунків встановлено, що найгіршими бар'єрними властивостями характеризується зразок після експозиції в неінгібованому розчині (таблиця). Опір перенесення заряду (R_{ct}) протягом 24 год витримування в середовищі становив $7,33 \cdot 10^3 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$,

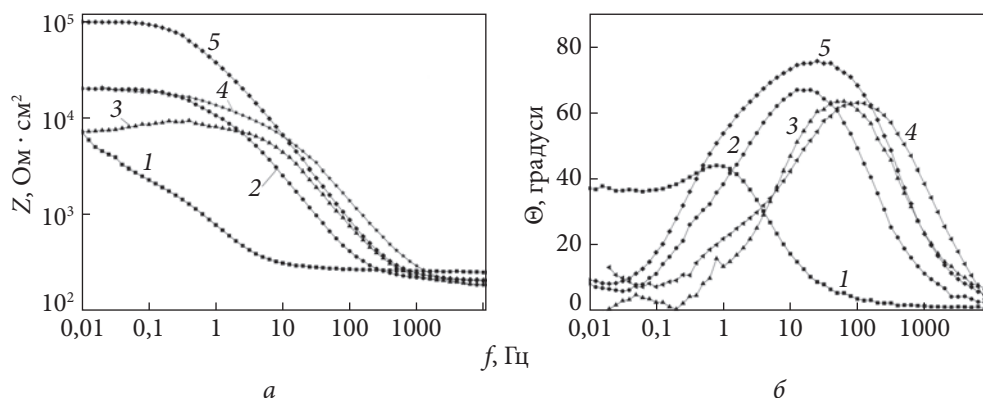


Рис. 2. Залежності Бодє для сплаву Д16Т після 24 год експозиції в 0,1%-му розчині NaCl (1) і з додаванням інгібувальних пігментів у концентрації 1 г/л: воластоніту (2), цинку монофосфату (3), простої суміші воластоніту та цинку монофосфату у співвідношенні 3 : 1 (4), композиційного пігменту (5). *а* — модуль імпедансу; *б* — фазовий кут

тоді як провідність елемента сталої фази подвійного електричного шару $Q_{dl}(Y_0)$ дорівнювала $1,26 \cdot 10^{-3} \text{ с}^n/(\text{Ом} \cdot \text{см}^2)$. Такі значення свідчать про інтенсивний перебіг локальної корозії алюмінієвого сплаву в цьому середовищі. Для алюмінієвого сплаву, витриманого в корозійному розчині з додаванням суміші воластоніту та цинку монофосфату, значення R_{ct} зросло до $2,55 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$, тоді як $Q_{dl}(Y_0)$ зменшилося до $1,78 \cdot 10^{-6} \text{ с}^n/(\text{Ом} \cdot \text{см}^2)$. Це свідчить про часткове інгібування корозійних процесів і формування більш стабільного захисного шару на поверхні сплаву. У разі додавання до корозійного розчину композиційного пігменту воластоніт / цинку монофосфат значення опору перенесення заряду (R_{ct}) та опору поверхневої плівки (R_f) були найвищими і становили відповідно $6,71 \cdot 10^4$ та $3,82 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$. Це вказує на істотне підвищення захисних властивостей поверхневого шару та найефективніше інгібування корозійних процесів.

На рис. 3 наведено електронно-мікроскопічні зображення поверхні зразків алюмінієвого сплаву та хімічний склад окреслених на рисунку ділянок після тижневого витримування в досліджуваних розчинах. Після експозиції зразків сплаву в 0,1%-му розчині хлориду натрію на поверхні спостерігали значні локальні руйнування, характерні для локальної корозії алюмінієвого сплаву (рис. 3, *а*). Подібні пошкодження фіксували і за наявності воластоніту, проте в цьому випадку поряд з осередками локальної корозії на поверхні металу навколо виразок спостерігали накопичення пухких продуктів корозії, які, згідно з

Параметри еквівалентної електричної схеми, розраховані за даними імпедансної спектроскопії алюмінієвого сплаву після 24 год витримування в досліджуваних розчинах

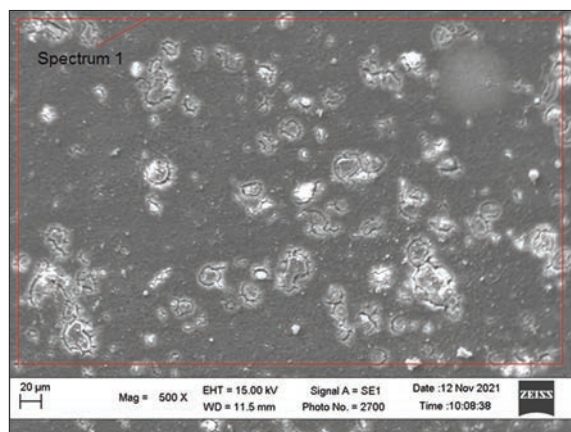
Номер кривої (рис. 2)	$R_{ct}, \text{Ом} \cdot \text{см}^2$	$Q_{dl}(Y_0), \text{с}^n/(\text{Ом} \cdot \text{см}^2)$	$Q_{dl}(n)$	$R_f, \text{Ом} \cdot \text{см}^2$	$Q_f(Y_0), \text{с}^n/(\text{Ом} \cdot \text{см}^2)$	$Q_f(n)$
1	$7,33 \cdot 10^3$	$1,26 \cdot 10^{-3}$	0,80	$2,66 \cdot 10^3$	$3,29 \cdot 10^{-4}$	0,80
2	$1,96 \cdot 10^4$	$1,39 \cdot 10^{-5}$	0,60	$1,14 \cdot 10^3$	$5,24 \cdot 10^{-6}$	0,97
3	$7,01 \cdot 10^3$	$5,49 \cdot 10^{-6}$	0,50	$2,01 \cdot 10^3$	$4,01 \cdot 10^{-6}$	0,90
4	$2,55 \cdot 10^4$	$1,78 \cdot 10^{-6}$	0,90	$6,48 \cdot 10^3$	$1,91 \cdot 10^{-5}$	0,40
5	$6,71 \cdot 10^4$	$4,96 \cdot 10^{-6}$	0,90	$3,82 \cdot 10^4$	$3,16 \cdot 10^{-6}$	0,92

результатами EDX-аналізу, за хімічним складом відповідали алюмосилікатним сполукам (див. рис. 3, б). Наявність невеликої кількості хлору в продуктах корозії може свідчити про участь хлорид-іонів у процесах локальної корозії та їх часткове включення до складу корозійних відкладень.

У разі використання цинку монофосфату на поверхні сплаву сформувалася нерівномірна плівка з продуктів взаємодії кислого фосфату з алюмінієм (див. рис. 3, в). Плівка, що утворилася після експозиції сплаву в розчині простої суміші фосфатного та силікатного пігментів, являє собою скупчення псевдокристалів, у складі яких виявлено атоми Al, Si, O, Ca, P і Zn. Сигнал Al може надходити як від металевої матриці сплаву, так і від поверхневої плівки (див. рис. 3, г).

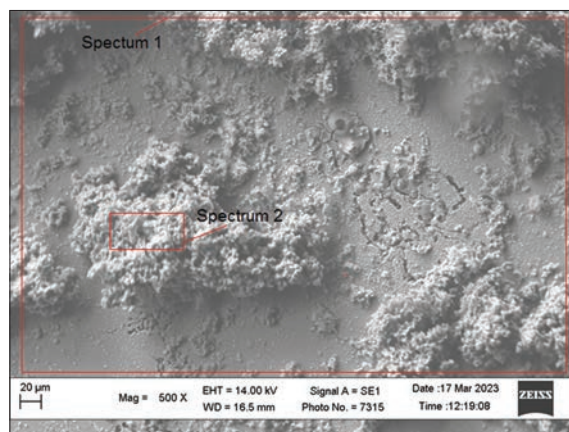
Зразки алюмінієвого сплаву в розчині з витяжкою композиційного пігменту були найменше уражені локальною корозією, при цьому на поверхні сформувалася суцільна рівномірна плівка (див. рис. 3, д).

Підвищену захисну ефективність композиційного пігменту щодо алюмінієвого сплаву можна пояснити утворенням у його складі аморфних фосфатних сполук, які характеризуються підвищеною розчинністю порівняно з кристалічними аналогами, а також спільною участю аморфних фосфатних сполук і силікатної складової у формуванні щільної захисної плівки на поверхні алюмінієвого сплаву. Унаслідок цього композиційний інгібувальний пігмент здатний формувати на поверхні алюмінієвого сплаву ефективну корозійностійку плівку, до складу якої входять фосфати кальцію, цинку та алюмінію.



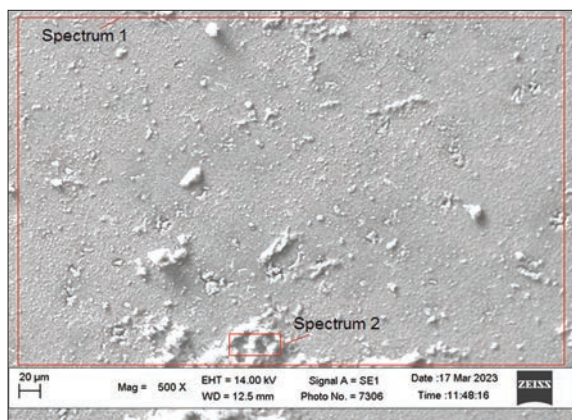
Елемент	мас. %
O	55,56
Al	40,51
Si	0,39
Cl	0,47
Cu	3,07

а



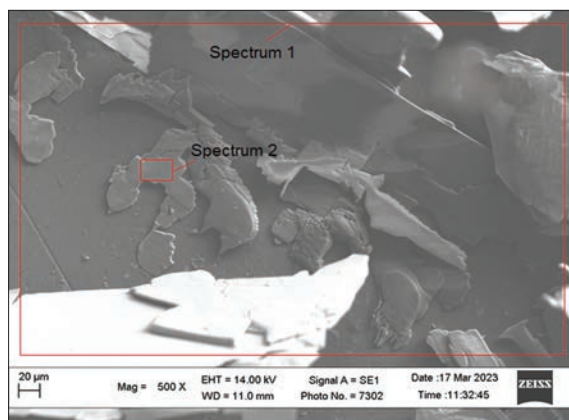
Спектр 1		Спектр 2	
Елемент	мас. %	Елемент	мас. %
O	41,66	O	56,87
Al	47,42	Al	27,27
Si	6,46	Si	12,21
Cl	1,32	Cl	2,88
Cu	3,14	Ca	0,29
		Cu	0,48

б



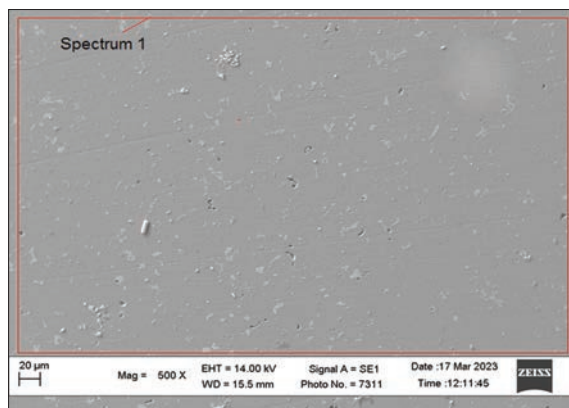
Спектр 1		Спектр 2	
Елемент	мас. %	Елемент	мас. %
O	21,84	O	39,51
Al	69,96	Al	52,02
Zn	1,34	P	0,16
Cu	5,55	Cu	4,61
Mg	1,31	Zn	2,46
		Mg	1,24

б



Спектр 1		Спектр 2	
Елемент	мас. %	Елемент	мас. %
O	22,90	O	39,36
Al	48,41	Si	0,41
Si	0,53	P	14,42
Zn	19,11	Ca	1,35
Ca	0,71	Zn	44,46
P	8,34		

в



Елемент	мас. %
O	8,64
Al	84,53
Si	0,55
Cu	4,38
Zn	0,16
Mg	1,42
Ca	0,32

г

Рис. 3. Електронно-мікроскопічні зображення поверхні та результати EDX-аналізу зразків алюмінієвого сплаву після 7-добової експозиції в 0,1%-му розчині NaCl (а) і з додаванням 1 г/л воластоніту (б), цинку монофосфату (в), суміші воластоніту / цинку монофосфату (г), композиційного пігменту (д)

Висновки. Методом механохімічного модифікування воластоніту цинку монофосфатом отримано композиційний пігмент з дисперснішою структурою та підвищеною реакційною здатністю порівняно з простою сумішшю вихідних компонентів. Встановлено, що використання протикорозійного композиційного пігменту сприяє істотному підвищенню корозійної стійкості алюмінієвого сплаву Д16Т у хлоридному середовищі: модуль імпедансу зростає приблизно у 15 разів порівняно з неінгібованим розчином і у 5 разів – порівняно із середовищем із простою сумішшю компонентів.

Показано, що дія композиційного пігменту забезпечує формування на поверхні сплаву щільної рівномірної захисної плівки з високими бар’єрними властивостями, що підтверджується даними сканувальної електронної мікроскопії.

Дослідження виконано в рамках проекту № 2025.07/0048 “Розробка нових екологічно безпечних інгібувальних композицій для захисту від трибокорозії та корозійної втоми конструкцій з алюмінієвих сплавів” Національного фонду досліджень України.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Bhat S.I., Mobin M., Islam S., Zehra S., Shahid-ul-Islam. Recent advances in anticorrosive coatings based on sustainable polymers: Challenges and perspectives. *Surf. Coat. Technol.* 2024. **480**. 130596. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2024.130596>
2. Korniy S., Danyliak M.-O., Lavrys S. Preparation and properties of modified montmorillonite by zinc-phosphate for anticorrosion applications in protective coatings. *Mater. Chem. Phys.* 2025. **335**. 130537. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2025.130537>
3. Lyon S.B., Bingham R., Mills D.J. Advances in corrosion protection by organic coatings: What we know and what we would like to know. *Prog. Org. Coat.* 2017. **102**. P. 2—7. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2016.04.030>
4. Gad S.M., Zhou X., Lyon S.B., Emad S. Inhibition mechanism of anticorrosion pigments leached from organic coatings: Comparison between salt spray and immersion testing. *Prog. Org. Coat.* 2023. **174**. 107266. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2022.107266>
5. Peltier F., Thierry D. Review of Cr-free coatings for the corrosion protection of aluminum aerospace alloys. *Coatings*. 2022. **12**, № 4. 518. <https://doi.org/10.3390/coatings12040518>
6. Vaghefinazari B., Wierzbicka E., Visser P., Posner R., Arrabal R., Matykina E., Mohedano M., Blawert C., Zheludkevich M., Lamaka S. Chromate-free corrosion protection strategies for magnesium alloys — A review: Part I — Pre-treatment and conversion coating. *Materials*. 2022. **15**, № 23. 8676. <https://doi.org/10.3390/ma15238676>
7. Korniy S.A., Zin I.M., Danyliak M.-O.M., Khlopyk O.P., Datsko B.M. Corrosion inhibition of low-alloy steel by a composite pigment based on zeolite and monocalcium phosphate. *Mater. Sci.* 2022. **58**. P. 261—267. <https://doi.org/10.1007/s11003-022-00658-y>
8. Hao Y., Liu F., Han E.-H., Anjum S., Xu G. The mechanism of inhibition by zinc phosphate in an epoxy coating. *Corros. Sci.* 2013. **69**. P. 77—86. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2012.11.025>
9. Griffiths C.M., Wint N., Williams G., McMurray H.N. The contribution of Zn(II) and phosphate anions to the inhibition of organic coating cathodic disbondment on galvanised steel by zinc phosphate pigment. *Corros. Sci.* 2022. **198**. 110111. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2022.110111>
10. Somtürk S.M., Emek İ.Y., Senler S., Eren M., Kurt S.Z., Orbay M. Effect of wollastonite extender on the properties of exterior acrylic paints. *Prog. Org. Coat.* 2016. **93**. P. 34—40. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2015.12.014>
11. Simões A., Battocchi D., Tallman D., Bierwagen G. Assessment of the corrosion protection of aluminium substrates by a Mg-rich primer: EIS, SVET and SECM study. *Prog. Org. Coat.* 2008. **63**, № 3. P. 260—266. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2008.02.007>
12. Li S., Hu S., Wang F., Zhang F., Hu W., Zhao X., Tang Y., Zuo Y. Study on correlation between the protection performance of coatings and phase angles. *Electrochim. Acta*. 2024. **480**. 143887. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2024.143887>

Надійшла до редакції 22.06.2026

REFERENCES

1. Bhat, S. I., Mobin, M., Islam, S., Zehra, S. & Shahid-ul-Islam (2024). Recent advances in anticorrosive coatings based on sustainable polymers: Challenges and perspectives. *Surf. Coat. Technol.*, 480, 130596. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2024.130596>
2. Korniy, S., Danyliak, M.-O. & Lavrys, S. (2025). Preparation and properties of modified montmorillonite by zinc-phosphate for anticorrosion applications in protective coatings. *Mater. Chem. Phys.*, 335, 130537. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2025.130537>
3. Lyon, S. B. Bingham, R. & Mills, D. J. (2017). Advances in corrosion protection by organic coatings: What we know and what we would like to know. *Prog. Org. Coat.*, 102, pp. 2-7. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2016.04.030>
4. Gad, S. M., Zhou, X., Lyon, S. B. & Emad, S. (2023). Inhibition mechanism of anticorrosion pigments leached from organic coatings: Comparison between salt spray and immersion testing. *Prog. Org. Coat.*, 174, 107266. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2022.107266>
5. Peltier, F. & Thierry, D. (2022). Review of Cr-free coatings for the corrosion protection of aluminum aerospace alloys. *Coatings*, 12, No. 4, 518. <https://doi.org/10.3390/coatings12040518>
6. Vaghefinazari, B., Wierzbicka, E., Visser, P., Posner, R., Arrabal, R., Matykina, E., Mohedano, M., Blawert, C., Zheludkevich, M. & Lamaka, S. (2022). Chromate-free corrosion protection strategies for magnesium alloys — A review: Part I — Pre-treatment and conversion coating. *Materials*, 15, No. 23, 8676. <https://doi.org/10.3390/ma15238676>
7. Korniy, S. A., Zin, I. M., Danyliak, M.-O. M., Khlopyk, O. P. & Datsko, B. M. (2022). Corrosion inhibition of low-alloy steel by a composite pigment based on zeolite and monocalcium phosphate. *Mater. Sci.*, 58, pp. 261-267. <https://doi.org/10.1007/s11003-022-00658-y>
8. Hao, Y., Liu, F., Han, E.-H., Anjum, S. & Xu, G. (2013). The mechanism of inhibition by zinc phosphate in an epoxy coating. *Corros. Sci.*, 69, pp. 77-86. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2012.11.025>
9. Griffiths, C. M., Wint, N., Williams, G. & McMurray, H. N. (2022). The contribution of Zn(II) and phosphate anions to the inhibition of organic coating cathodic disbondment on galvanised steel by zinc phosphate pigment. *Corros. Sci.*, 198, 110111. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2022.110111>
10. Somtürk, S. M., Emek, İ. Y., Senler, S., Eren, M., Kurt, S. Z. & Orbay, M. (2016). Effect of wollastonite extender on the properties of exterior acrylic paints. *Prog. Org. Coat.*, 93, pp. 34-40. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2015.12.014>
11. Simões, A., Battocchi, D., Tallman, D. & Bierwagen, G. (2008). Assessment of the corrosion protection of aluminium substrates by a Mg-rich primer: EIS, SVET and SECM study. *Prog. Org. Coat.*, 63, No. 3, pp. 260-266. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2008.02.007>
12. Li, S., Hu, S., Wang, F., Zhang, F., Hu, W., Zhao, X., Tang, Y. & Zuo, Y. (2024). Study on correlation between the protection performance of coatings and phase angles. *Electrochim. Acta*, 480, 143887. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2024.143887>

Received 22.06.2026

O.P. Khlopyk, <https://orcid.org/0000-0002-5042-7606>

I.M. Zin, <https://orcid.org/0000-0001-8896-0601>

S.A. Korniy, <https://orcid.org/0000-0003-3998-2972>

B.M. Datsko, <https://orcid.org/0000-0002-9130-4522>

Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

E-mail: korniy_sergiy@ukr.net

MECHANOCHEMICALLY MODIFIED NATURAL SILICATE AS AN INHIBITING PIGMENT FOR PROTECTING ALUMINUM ALLOYS FROM CORROSION

A composite anticorrosive pigment was synthesized by mechanochemical modification of wollastonite with zinc monophosphate. X-ray diffraction analysis showed the disappearance of zinc monophosphate crystal peaks after treatment, indicating the formation of an amorphous or nanocrystalline phosphate phase on the surface of the wollastonite particles. This transformation is expected to enhance both the pigment's reactivity and its corrosion-inhibiting performance. The corrosion protection provided by aqueous extracts of wollastonite, zinc monophosphate, their physical mixture, and the mechanochemically modified composite pigment was evaluated for D16T aluminum alloy in a 0.1 wt.% NaCl solution using electrochemical impedance spectroscopy. The composite pigment exhibited significantly higher protective efficacy than any of its individual components or a simple physical mixture of them. In particular, the impedance modulus at a frequency of 0.01 Hz increased approximately fifteenfold compared to a chloride solution without an inhibitor and approximately fivefold compared to a solution containing a physical mixture of wollastonite and zinc monophosphate. Equivalent circuit analysis revealed a significant increase in both charge transfer resistance and surface film resistance, accompanied by a decrease in double-layer capacitance, indicating the formation of an effective protective barrier on the alloy's surface. Scanning electron microscopy combined with energy-dispersive X-ray spectroscopy confirmed the formation of a homogeneous protective layer enriched with calcium, zinc, aluminum, and phosphorus. The enhanced protective performance of the composite pigment is due to the increased solubility and reactivity of the amorphous phosphate compounds formed during mechanochemical treatment, as well as their synergistic interaction with the silicate components. These results indicate that the composite pigment based on wollastonite and zinc monophosphate is a promising and environmentally safe corrosion inhibitor for organic coatings on aluminum alloys.

Keywords: wollastonite, zinc monophosphate, aluminum alloy, corrosion, anticorrosive pigment, electrochemical impedance spectroscopy.