

DOI: 10.25140/2411-5363-2022-1(27)-38-44

УДК 666.3:621.793

**Юлія Казимиренко<sup>1</sup>, Наталія Лебедєва<sup>2</sup>, Тетяна Макруха<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>доктор технічних наук, доцент, професор кафедри матеріалознавства і технології металів  
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (Миколаїв, Україна)

E-mail: [u.a.kazimirenko@gmail.com](mailto:u.a.kazimirenko@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7120-8226>. ResearcherID: [U-2788-2017](https://orcid.org/0000-0002-7120-8226)

<sup>2</sup>кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри матеріалознавства і технології металів  
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (Миколаїв, Україна)

E-mail: [lebedeva@mksat.net](mailto:lebedeva@mksat.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4006-7889>. ResearcherID: [V-6670-2017](https://orcid.org/0000-0002-4006-7889)

<sup>3</sup>кандидат технічних наук, викладач кафедри матеріалознавства і технології металів  
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (Миколаїв, Україна)

E-mail: [tmakruha@gmail.com](mailto:tmakruha@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8841-1688>. ResearcherID: [57222660526](https://orcid.org/0000-0001-8841-1688)

## КОРОЗИЙНА СТІЙКІСТЬ І ТЕПЛОЗАХИСНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ, НАПОВНЕНИХ ЗОЛЬНИМИ МІКРОСФЕРАМИ

У статті висвітлено доцільність застосування електродугових покриттів з Св-08 і 65Г, наповнених зольними мікросферами алюмосилкатного складу, в технологіях захисту та відновлення деталей і конструкцій хімічного обладнання. Експериментально досліджено корозійну стійкість покриттів до нафталіну; наведено результати теоретичних розрахунків ефективних коефіцієнтів теплопровідності і термічного лінійного розширення для покриттів з різним наповненням мікросферами. Стабільність теплофізичних властивостей експериментально підтверджено дослідженнями термостійкості й термостабільності покриттів, напшених на сталеву підкладку з Ст3, в умовах циклічних навантажень при температурах 570 °С/10 °С.

**Ключові слова:** стійкість до нафталіну; теплозміни; термостійкість; термостабільність; структура; електродугове напшення.

Рис.: 1. Табл.: 1. Бібл.: 11.

**Актуальність теми дослідження.** Сучасні галузі хімічного виробництва, які пов'язані з розвитком продукції легкої промисловості, косметології, фармації, вимагатимуть впровадження нових матеріалів та покриттів із підвищеною корозійною стійкістю і теплозахисними властивостями.

**Постановка проблеми.** Створення нових поліфункціональних матеріалів і покриттів, здатних працювати в умовах корозійно активних середовищ та термоциклічних навантажень, є важливою науково-технічною проблемою сучасного матеріалознавства, шляхи вирішення якої ґрунтуються на впровадженні ресурсозберігаючих технологій. Реалізація цього напрямку полягатиме в пошуку дефіцитної сировинної бази. Перспективним наповнювачем композиційних матеріалів і покриттів вважаються зольні мікросфери – виробничі відходи теплоелектростанцій (ТЕС).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Зольні мікросфери являють собою тонкостінні сферичні оболонки мінералогічного складу, які утворюються за механізмами пилувугільного спалювання твердого палива на вітчизняних ТЕС [1]. Ефективність їх застосування для виготовлення антикорозійних та зносостійких покриттів на епоксидній основі висвітлено авторами роботи [2]. За результатами випробувань епоксикомпозити показали стійкість до атмосферної корозії та в умовах агресивного середовища хлориду натрію, що підтверджує доцільність використання покриттів на об'єктах нафтопереробної і газотранспортної промисловості. Проте суттєвим недоліком епоксидних покриттів є горючість та термодеструкційні процеси при підвищених температурах. У роботі [3] наведено досвід додавання зольних мікросфер до складу тампонажних сумішей для цементування свердловин, де під час експлуатації в гірничо-геологічних умовах спостерігаються низькі та аномально низькі тиски, геостатичні температури в діапазоні 15...250 °С. Цементно-зольні тампонажні суміші з масовим вмістом 40...60 % зольних мікросфер Курахівської ТЕС мають високу термостійкість у температурному діапазоні 50...160 °С і корозійну стійкість в умовах полімінеральної агресії. Позитивний вплив не-

органічних мікросфер на теплоізоляційні властивості композиційних бетонів і їх міцність при руйнівних навантаженнях автори роботи [4] пояснюють формуванням певної комірчастої структури з наявністю чисельних границь розподілу фаз, що сприятиме накопиченню множинних осередків мікронапружень.

Завдяки складному хімічному і фазовому складу зольні мікросфери мають високі фізико-механічні й хімічні властивості. Залежно від ТЕС коефіцієнт теплопровідності мікросфер становить 0,162...0,190 Вт/(м×К), пористість стінок у воді – 38,8...43,5 %; температура початку розм'якшення склофазы – близько 1040 °С [1]. Позитивний вплив зольних мікросфер алюмосилікатного складу на міцнісні та вогнезахисні характеристики експериментально доведено на прикладі водно-дисперсійних лакофарбових покриттів [5]. На підставі вищевикладеного можна стверджувати, що завдяки поєднанню в одному складі зольних мікросфер із металами можна отримати композиції з новими властивостями, що сприятиме ефективній експлуатації в умовах термічного впливу. Теоретичними і практичними передумовами в цьому напрямі є дослідження авторів з електродугового напилення метал-скляних і метал-керамічних покриттів [6; 7], нанесення яких сприятиме підвищенню комплексно-захисних властивостей сталевих конструкцій.

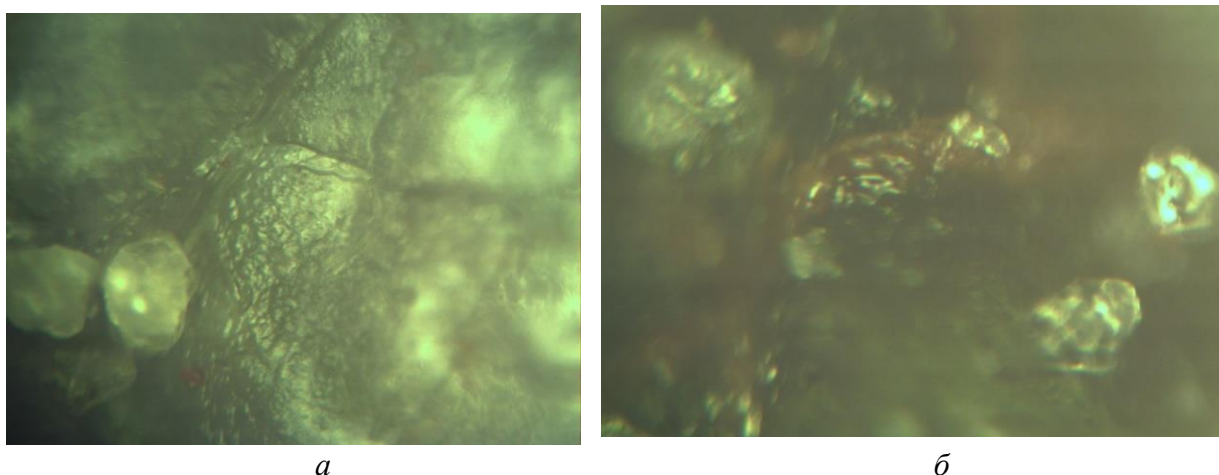
**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Проте фізико-механічні та експлуатаційні властивості електродугових покриттів, наповнених зольними мікросферами, зокрема алюмосилікатного складу, ще не досліджувалися.

**Мета роботи** полягатиме в теоретично-експериментальних дослідженнях корозійної стійкості та теплозахисних властивостей металевих електродугових покриттів, наповнених зольними мікросферами алюмосилікатного складу, нанесених на сталеву поверхню.

**Виклад основного матеріалу.** Для експериментальних досліджень підготовлено зразки електродугових покриттів з Св-08 (ГОСТ 2246-70) та 65Г (ДСТУ 3671-97), напилених товщиною 1 мм на пластинку з Ст3 розміром 140×100×1,5 мм. Як наповнювач (10...25 % об'ємн.) до складу покриттів додано зольні порожні мікросфери алюмосилікатного складу марки МПк 200-400 (ТУ 5717-001-11842486-2006). Режимми напилення покриттів та підготовки поверхні наведено в роботі [7].

Можливість експлуатації в хімічно активному середовищі визначено шляхом корозійних випробувань у середовищі нафталіну – твердої кристалічної речовини 4 класу небезпеки, яка є продуктом переробки коксу і нафти [8]. Умови випробувань включали в себе занурювання покриттів, відокремлених від підкладки, у контейнери з нафталіном та витримці в них протягом 120...150 днів при температурі (18±2) °С. Дослідження мікроструктури проведено методом оптичної мікроскопії за допомогою мікроскопа БІОЛАМ-І, фазовий склад визначено за допомогою рентгеноструктурного аналізу (РСА), виконаного на установці ДРОН-3.0 у випромінюванні міді; масу зразків визначали на аналітичних важелях GR200. Дослідження показали, що при безпосередньому контакті зразків з корозійно активним середовищем спостерігається зміна кольору з срібло-сірого на зелений: результати РСА підтвердили утворення окисної плівки на поверхні покриттів без зміни фазового складу. Деградаційні ознаки структури полягають у збільшенні розмірів пор на 10...15 %, що є причиною розвитку осередків корозійних пошкоджень, проте викришування та руйнування включень з мікросфер не відбувається (рис. 1). Вимірювання маси зразків не показали суттєвих змін. Таким чином, одержані результати свідчать про корозійну стійкість покриттів з Св-08 і 65Г, наповнених зольними мікросферами алюмосилікатного складу, до нафталінового середовища.

Одержані результати можуть бути корисними для хімічних виробничих технологій, у яких нафталін застосовується для виготовлення парфумерних та фармакологічних засобів або продукції нафтохімічного синтезу, зокрема речовин для розчинення жирів, лаків (таких як тетралін), ненасичених полієфірних та алкідних смол (наприклад, фталієвого ангідриду).



*а* *б*  
 Рис. 1. Оптична мікрофотографія ( $\times 250$ ) поверхні покриттів  
 після 120 діб витримування у нафталіні:  
*а* – Св-08-АСПМ; *б* – 65Г-АСПМ

Джерело: розроблено авторами.

Суттєвим недоліком електродугового напилення є відсутність можливості точного дозування мікросфер через їх високу сипучість. Тому зв'язок між структурою напилених покриттів та здатністю працювати в поле підвищених температур можна описати за допомогою ефективних коефіцієнтів теплопровідності та термічного лінійного розширення, які використовуються для прогнозування характеристик пористих композиційних матеріалів залежно від властивостей та об'ємного вмісту вихідних компонентів. У роботі [9] розглянуто ефективність застосування теоретичних методів досліджень теплофізичних властивостей композиційних матеріалів у порівнянні з постановкою експерименту.

Дослідні електродугові покриття мають полідисперсну структуру (рис. 1), де в пористій металевій матриці рівномірно розташовані дисперсні включення – мікросфери. Ефективний коефіцієнт теплопровідності визначено за формулою Максвелла для бінарного композиту [10]:

$$\lambda_{\text{еф}} = \lambda_1 \left( \frac{\lambda_2 + 2\lambda_1 - 2\vartheta_2(\lambda_1 - \lambda_2)}{\lambda_2 + 2\lambda_1 + \vartheta_2(\lambda_1 - \lambda_2)} \right), \quad (1)$$

де  $\lambda_{\text{еф}}$  – ефективний коефіцієнт теплопровідності композиційної системи;  $\lambda_1$  – коефіцієнт теплопровідності матриці, тобто металевого компонента (без урахування пористості);  $\lambda_2$  – коефіцієнт теплопровідності мікросфер;  $\vartheta_1$ ,  $\vartheta_2$  – об'ємні частки матриці і мікросфер відповідно.

Ефективний термічний коефіцієнт лінійного розширення (ТКЛР) покриттів розраховано за методикою [11] за умовами заміни властивостей скляного компонента на керамічний (алюмосилікатний склад зольних мікросфер), можна визначити як:

$$\alpha^* = \frac{\Delta\alpha \cdot \nu_m \cdot (1 - \rho)}{K_{\text{ме}} / K_{\text{кер}} \cdot (1 - \nu_m) + \rho + \nu_m} + \alpha_{\text{ме}}, \quad (2)$$

де  $\Delta\alpha$  – різниця у значеннях ТКЛР між сталеву матрицею та керамічним наповнювачем;  $\nu_m$  – об'ємний вміст мікросфер у складі покриття;  $\rho$  – щільність покриття;  $\alpha_{\text{ме}}$  – ТКЛР металеві матриці;  $K_{\text{ме}} / K_{\text{кер}}$  – співвідношення значень об'ємного модуля пружності металеві матриці до об'ємного модуля пружності матеріалу керамічних мікросфер.

Результати розрахунків наведено в таблиці, у якій для порівняння вказані значення коефіцієнтів теплопровідності та термічного лінійного розширення для покриттів з Св-08 і 65Г без наповнювача і компактних аналогів цих сталей. Завдяки додаванню до складу зольних мікросфер покриття набувають теплозахисних властивостей.

Таблиця

*Ефективні коефіцієнти теплопровідності і термічного лінійного розширення*

Об'ємний вміст мікросфер (%)	Покриття зСв-08		Покриття з65Г	
	$\lambda$ , Вт/(м×К)	$\alpha^*$ , К <sup>-1</sup>	$\lambda$ , Вт/(м×К)	$\alpha^*$ , К <sup>-1</sup>
15	58,80	$12,30 \times 10^{-6}$	$37,0 \times 10^{-6}$	$10,90 \times 10^{-6}$
20	57,20	$12,25 \times 10^{-6}$	$35,6 \times 10^{-6}$	$10,85 \times 10^{-6}$
25	57,0	$12,15 \times 10^{-6}$	$35,2 \times 10^{-6}$	$10,75 \times 10^{-6}$
Покриття без наповнення	Св-08 (ГОСТ 2246-70)		65Г (ДСТУ 3671-97)	
	47,0	$11,5 \times 10^{-6}$	$37,0 \times 10^{-6}$	$11,1 \times 10^{-6}$
Компактний матеріал	08(ГОСТ 1050-88)		65Г (ГОСТ 14959-79)	
	60,0	$12,5 \times 10^{-6}$	$45,0 \times 10^{-6}$	$11,8 \times 10^{-6}$

Джерело: розроблено авторами.

Результати теоретичних досліджень показали можливість прогнозування коефіцієнтів теплопровідності та термічного лінійного розширення залежно від їх наповнення.

Можливість експлуатації композиційних покриттів в умовах підвищених температур експериментально підкріплена дослідженнями термостійкості та термостабільності. За критерій термостійкості обрана кількість термоциклів у режимі нагрівання/охолодження при температурах  $570 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ }^\circ\text{C}$ , які витримують покриття на сталевій підкладці до руйнування або відшаровування. Для проведення експериментальних робіт застосовано електропіч лабораторну марки СНОЛ-1.6.2.08/9-М1, у яку завантажували сталеві пластинки із Ст3 розміром  $140 \times 100 \times 3,5$  мм з нанесеними з одного боку композиційними покриттями товщиною 1 мм. Зразки охолоджувалися під проточною водою з температурою  $+10 \text{ }^\circ\text{C}$ , а потім просушувалися у сушильній шафі при температурі  $(20 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$  протягом 10 хв. Для оцінки термостабільності розглядали зміни у структурі та фазовому складі, для чого було застосовано методи оптичної мікроскопії (мікроскоп БИОЛАМ-И) та рентгеноструктурного аналізу (установка ДРОН-3).

За результатами встановлено, що зразки з покриттями з Св-08 і 65Г витримують  $(13 \pm 2)$  термоцикли, а покриття з 65Г –  $(15 \pm 2)$  термоцикли. Дослідження структури показали окиснювання підкладки з Ст3 з утворенням окалини та викришування після 9-го термоциклу мікросфер на окремих ділянках, що можна пояснити слабкою поверхнею поділу у сформованих металокомпозитах. Змін у фазовому складі покриттів не відбувається. Таким чином, одержані результати свідчать про термостійкість і термостабільність, а також надають уявлення про максимальний ресурс та структурну стабільність дослідних покриттів.

У роботі вирішено науково-технічну задачу технологічних можливостей захисту сталеві поверхні від корозійного та термічного впливу шляхом нанесення електродугових покриттів з Св-08Г2С і 65Г, наповнених зольними мікросферами алюмосилікатного складу.

Наукова значущість роботи полягає в розширенні уявлень про корозійні процеси в дисперсно наповнених неорганічними мікросферами металоматричних покриттях та про їхній максимальний ресурс в умовах термоциклічних навантажень. Практичне значення одержаних результатів полягає в теоретично-експериментальному обґрунтуванні доцільності застосування електродугових покриттів із Св-08Г2С і 65Г, наповнених зольними мікросферами, для ефективного захисту конструкцій в умовах

підвищених температур, термоциклічних навантажень і хімічно активних речовин. Соціально-економічний ефект роботи включає в себе експериментальну проробку питання застосування виробничих відходів теплових електростанцій в технологіях створення нових композиційних покриттів.

**Висновки.** Експериментально досліджено корозійну стійкість електродугових покриттів з Св-08 і 65Г, наповнених зольними мікросферами алюмосилікатного складу, у середовищі нафталіну: в результаті занурювання протягом 120...150 днів спостерігається зміна кольору з утворенням окисної плівки та збільшенням розміру поверхневої пористості на 10...15 %.

Результати теоретично-експериментальних досліджень ефективних коефіцієнтів теплопровідності та термічного коефіцієнту лінійного розширення, термостійкості і термостабільності покриттів показали ефективність їх використання в умовах короточасних теплозмін при температурах 570 °С /10 °С без суттєвих змін у структурі й фазовому складі.

На підставі проведених досліджень можна зробити висновки щодо доцільності застосування електродугових покриттів з Св-08 і 65Г, наповнених зольними мікросферами алюмосилікатного складу, в технологіях захисту та відновлення деталей і конструкцій хімічного обладнання. Перспективи подальших досліджень пов'язано з розробкою практичних рекомендацій з їх експлуатації.

#### Список використаних джерел

1. Демченко В. О. Дослідження мінералогічного складу, структури і властивості поверхні зольних мікросфер України / В. О. Демченко, О. І. Сім'ячко, В. А. Свідерський // Технологічний аудит і резерви виробництва : науч. журн. – 2017. – № 6. – С. 28-34.
2. Редько О. І. Дослідження складу і технології формування захисних покриттів з підвищеними антикорозійними характеристиками і зносостійкістю / О. І. Редько, Р. Г. Редько // Наукові нотатки : міжвуз. зб. – Луцьк, 2018. – № 64. – С. 179-183.
3. Орловський В. М. Розроблення термостійких полегшених і легких тампонажних матеріалів / В. М. Орловський, А. М. Похилко, В. І. Дмитренко // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ : всеукраїнський щоквартальний науково-технічний журнал. – 2016. – № 3(60). – С. 79-84.
4. Прогнозна оцінка теплозахисних і механічних властивостей конструкційно-теплоізоляційних керамічних матеріалів / Л. П. Щукіна, Я. О. Галушка, Л. О. Ященко, С. Л. Лігезін // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – 2021. – № 1(5). – С. 68-74.
5. Демідов Д. В. Вивчення впливу мінеральних наповнювачів на вогнезахисні характеристики водно-дисперсійних лакофарбових покриттів / Збірник наук. праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2018. – № 182. – С. 37-43.
6. Казимиренко Ю. О. Дослідження технологічних можливостей підвищення зносостійкості електродугових покриттів з 65Г / Ю. О. Казимиренко, Н. Ю. Лебедева // Матеріали X міжнар. наук.-техн. конф. «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». – Миколаїв : НУК, 2019. – С. 300-304.
7. Формирование электродуговых покрытий с повышенной прочностью, демпфирующей способностью и коэффициентом поглощения излучений / Ю. А. Казимиренко, Н. Ю. Лебедева, А. А. Карпеченко, А. А. Жданов // Наукові нотатки : міжвуз. зб. – Луцьк : ЛНТУ, 2013. – № 41, ч. 1. – С. 117-121.
8. Сіренко Г. О. Термотривкі полімери : [підручник] / Г. О. Сіренко, І. Б. Складнюк. – Івано-Франківськ: Супрун В. П., 2021. – 401 с.
9. Шутчинська К. С. Способи дослідження теплопровідності композиційних матеріалів / К. С. Шутчинська, І. Г. Ткаченко, Ю. В. Морозов // Physics and mathematics : Colloquium-Journl. – Czēść, Warszawa, Polska, 2021. – № 24 (100). – С. 40-41.

10. Поплавко Ю. М. Фізика твердого тіла : [підручник : в 2-х томах] / Ю. М. Поплавко. – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – Том 1: Структура, квазічастинки, метали, магнетики, 2017. – 415 с.

11. Kazymyrenko Y. The Effective Mechanical Properties of Metal-Glass Materials / Y. Kazymyrenko // The advanced science journal. – 2016. – Iss. 1. – Pp. 90–94.

### References

1. Demchenko, V.O., Simiachko, O.I., & Sviderskyi, V.A. (2017). Doslidzhennia mineralohichnoho skladu, struktury i vlastyvoli poverkhni zolnykh mikrosfer Ukrainy [Research of mineralogical composition, structure and surface properties of ash microspheres of Ukraine]. *Tekhnolohichniy audyt i rezervy vyrobnytstva – Technological audit and production reserves*, (6), 28–34.

2. Redko, O.I., & Redko, R.H. (2018). Doslidzhennia skladu i tekhnolohii formuvannia zakhysnykh pokryttiv z pidvyshchenymy antykorozijnymy kharakterystykamy i znosostiikistiu [Research of composition and technology of formation of protective coatings with increased anti-corrosion characteristics and wear resistance]. *Naukovi notatky – Scientific notes*, (64), 179–183.

3. Orlovskiy, V.M., Pokhylko, A.M., & Dmytrenko, V.I. (2016). Rozroblennia termostiikykh polehshenykh i lehkykh tamponazhnykh materialiv [Development of heat-resistant lightweight and light grouting materials]. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i khazovykh rodovyshch – Exploration and development of oil and gas fields*, (60), 79–84.

4. Shchukina, L.P., Halushka, Ya.O., Yashchenko, L.O., & Lihezin, S.L. (2021). Prohnozna otsinka teplozakhysnykh i mekhanichnykh vlastyvolei konstruktsiino-teploizoliatsiynykh keramichnykh materialiv [Prognostic assessment of heat-protective and mechanical properties of structural and heat-insulating ceramic materials]. *Visnyk natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Seriya: Khimiia, khimichna tekhnolohiia ta ekolohiia – Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Chemistry, chemical technology and ecology*, (1(5)), 68–74.

5. Demidov, D.V. (2018). Vychennia vplyvu mineralnykh napovniuvachiv na vohnezakhysnik harakterystyky vodno-dyspersiynykh lakofarbovykh pokryttiv [Study of the influence of mineral fillers on the fire-retardant characteristics of water-dispersion paints]. *Zbirnyk nauk. prats Ukrainського derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Collection of Sciences. Proceedings of the Ukrainian State University of Railway Transport*, (182), 37–43.

6. Kazymyrenko, Yu.O., & Lebedieva, N.Yu. (2019). Doslidzhennia tekhnolohichnykh mozhlyvosti pidvyshchennia znosostiikosti elektroduhovykh pokryttiv z 65H [Research of technological possibilities of increasing the wear resistance of electric arc coatings with 65G]. *Materialy X mizhnar. nauk.-tekhn. konf. «Innovatsii v sudnobuduvanni ta okeanotekhnitsi» – Materials of X International. scientific and technical conf. "Innovations in shipbuilding and ocean engineering"* (pp. 300–304).

7. Kazymyrenko, Yu.A., Lebedeva, N.Yu., Karpechenko, A.A., & Zhdanov, A.A. (2013). Formyrovanye elektroduhovykh pokrytyi s povyshennoi prochnosti, dempfyruishchei sposobnostiu y kotffytsyentom pohloshchennia yzlucheniya [Formation of electric arc coatings with increased strength, damping ability and absorption coefficient of radiation]. *Naukovi notatky – Scientific notes*, 41(1), 117–121.

8. Sirenko, H.O., & Skladaniuk, M.B. (2021). *Termotryvki polimery [Heat-resistant polymers]*. Suprun V. P.

9. Shutchynska, K.S., Tkachenko, I.H., & Morozov, Yu.V. (2021). Sposoby doslidzhennia teploprovidnosti kompozytsiynykh materialiv [Methods of research of thermal conductivity of composite materials]. *Physics and mathematics – Physics and mathematics*, (24(100)), 40–41.

10. Poplavko, Yu.M. (2017). *Fizyka tverdoho tila [Physics of a solid body]* (Vol. 1. Structure, quasiparticles, metals, magnets). KPI im. Ihoria Sikorskoho, Vyd-vo «Politekhnik».

11. Kazymyrenko, Y. (2016). The Effective Mechanical Properties of Metal-Glass Materials. *The advanced science journal*, 1, 90–94.

Отримано 25.01.2022

UDC 666.3:621.793

**Yuliia Kazymyrenko<sup>1</sup>, Nataliia Lebedeva<sup>2</sup>, Tetiana Makruha<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Materials Science and Technology of Metals  
Admiral Makarov National University of Shipbuilding (Mykolaiv, Ukraine)

**E-mail:** [u.a.kazymyrenko@gmail.com](mailto:u.a.kazymyrenko@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7120-8226>. **ResearcherID:** [U-2788-2017](https://orcid.org/0000-0002-7120-8226)

<sup>2</sup>Associate Professor Department of Materials Science and Technology of Metals Dept Admiral Makarov National University  
of Shipbuilding (Mykolaiv, Ukraine)

**E-mail:** [lebedeva@mksat.net](mailto:lebedeva@mksat.net). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4006-7889>. **ResearcherID:** [V-6670-2017](https://orcid.org/0000-0002-4006-7889)

<sup>3</sup>Associate Professor Department of Materials Science and Technology of Metals Dept  
Admiral Makarov National University of Shipbuilding (Mykolaiv, Ukraine)

**E-mail:** [tmakruha@gmail.com](mailto:tmakruha@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8841-1688>. **ResearcherID:** [57222660526](https://orcid.org/0000-0001-8841-1688)

## **CORROSION RESISTANCE AND HEAT PROTECTIVE PROPERTIES OF COMPOSITE COATINGS FILLED WITH ASH MICROSPHERES**

*Modern branches of chemical production, which are associated with the development of light industry, cosmetology, pharmacy, will require the introduction of new materials and coatings with increased corrosion resistance and thermal protection properties. Possible ways to solve this important scientific and technical problem include finding resource-saving technologies, for which the authors consider the use of promising raw materials to create new composite coatings. These promising materials include ash microspheres of aluminosilicate composition, which are waste from thermal power plants operation. The coating is applied by electric arc method on a steel substrate with carbon steel grade A284Gr.D (Cm3) (GOST 380-2005). For their formation, continuously stretched welding wires of ferrite-perlite structure of brand 1066 (65Г) (GOST 14959-79) and low-carbon welding wire of brand ER346 (C6-08) (GOST 2246-70) were used. The aim of the work is the theoretical and experimental studies of corrosion resistance and heat-protective properties of coatings.*

*The corrosion resistance of coatings in naphthalene medium has been experimentally studied: as a result of immersion for 120... 150 days there is a change in color with the formation of an oxide film and an increase in the size of the surface pores by 10... 15%. The results of theoretical calculations of effective coefficients of thermal conductivity and thermal linear expansion for different filling with microspheres are given. The stability of thermophysical properties was experimentally confirmed by studies of heat resistance and thermal stability of coatings sprayed on a steel substrate with carbon steel grade A284Gr.D (Cm3) (GOST 380-2005), under cyclic loads at temperatures of 570 °C / 10 °C. The obtained results highlight the feasibility of using electric arc coatings with ferrite-perlite structure of brand 1066 (65Г) (GOST 14959-79) and low-carbon welding wire of brand ER346 (C6-08) (GOST 2246-70), filled with ash microspheres of aluminosilicate composition in technologies for protection and restoration of parts and structures of chemical equipment. The scientific significance of the work includes the expansion of ideas about corrosion processes in dispersed metal-matrix coatings dispersed with inorganic microspheres and about their maximum resource under conditions of thermocyclic loads.*

**Key words:** naphthalene resistance; heat exchange; heat resistance; thermal stability; structure; electric arc spraying.

*Fig.: 1. Table: 1. References: 11.*