

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 621.357

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2024.104.0.31

ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
ЛАКОФАРБОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Ненастіна Т. О.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Лакофарбові матеріали використовують у всіх галузях промисловості та в побуті. За допомогою них можна захистити метали від наслідків агресивних середовищ, запобігти негативному впливу корозії, зберегти споживчі властивості, надати поверхні, що обробляється, естетичного вигляду. Досліджено експлуатаційні властивості лакофарбових покриттів емалевого типу: фарби порошкової UD-1028-07040-T та ґрунту ФЛ-03К. Як основні фізико-механічні властивості порівняльних показників якості вивчалися: водопоглинання, пористість, час проникнення агресивних розчинів. За результатами проведених досліджень встановлено, що використання порошкової фарби в умовах, які передбачають контакт з агресивними речовинами, буде більш доцільним. Перевагу порошкової фарби за експлуатаційними властивостями також підтверджують визначені значення мікротвердості.

Ключові слова: експлуатаційні властивості, корозія, фізико-хімічні властивості, лакофарбове покриття порошкового типу, лакофарбове покриття емалевого типу, водопоглинання, пористість, адгезія.

Вступ

Лакофарбові матеріали використовуються в багатьох галузях промисловості та в повсякденному житті. Вони допомагають захистити метали від агресивних середовищ, запобігають негативному впливу корозії, зберігають їх споживчі властивості та надають естетичного вигляду поверхням, які обробляються лаком чи фарбою.

Основна роль лакофарбових матеріалів полягає в захисті матеріалу, що покривається, від руйнування. Корозія металів може завдати значних збитків, особливо коли корозії піддаються складні конструкції, системи та обладнання.

Втрати від корозії поділяються на первинні – спричинені прямим руйнуванням компонентів і частин конструкцій, що є перешкодою для їх подальшої експлуатації; і вторинні втрати – унаслідок зупинки виробництва та випадкових пошкоджень через руйнування конкретних вузлів. Вторинні втрати, як правило, дорого коштують і вимагають значного часу на відновлення пошкодженого обладнання.

Більшість конструкцій і вузлів працюють у високоагресивному середовищі, що значно прискорює процес корозії. Як наслідок, ці конструкції підлягають регулярним і позаплановим оглядам поверхні, вчасному ремонту та

заміні компонентів, що втратили робочі властивості.

Одним із методів захисту металів від корозії є нанесення покриттів, зокрема лакофарбових матеріалів, що утворюють на поверхні металу захисну плівку й запобігають процесу поверхневої корозії [1].

Аналіз публікацій

Асортимент лакофарбової продукції постійно збільшується та змінюється завдяки як вітчизняному, так і закордонному виробництву [2]. В останні роки шкідливі та токсичні лакофарбові матеріали змінюються більш екологічно чистими продуктами.

Створення сучасних полімерних композитів ґрунтується на регулюванні властивостей готового композиту унаслідок зміни його структури та складу. Структура лакофарбових матеріалів визначається характером і ступенем контакту між плівкоутворювальною сполукою та наповнювачем на межі розділу фаз, а також величиною об'ємної концентрації наповнювача [3].

Лакофарбові матеріали – це композиційні суміші, що наносяться на тверді поверхні й утворюють щільну плівку після висихання та затвердіння. Основними компонентами лакофарбових покриттів є фарбоутворювачі, піг-

менти, наповнювачі, пластифікатори, розчинники та інші компоненти, які надають покриттю додаткових властивостей.

Отримане покриття захищає поверхню від вологи, агресивних розчинів і води та частково запобігає контакту з киснем повітря. Оскільки покриття використовуються як бар'єр від вологи, кисню та агресивних розчинів, дуже важливо визначити водопоглинання, пористість і час проникнення агресивних розчинів.

Тому питання захисту металів від корозії має велике значення. Основним методом захисту металів є нанесення лакофарбових матеріалів, що утворюють захисну плівку й запобігають безпосередньому контакту металу з навколишнім середовищем. Різноманітність лакофарбових матеріалів з кожним роком збільшується і дозволяє підібрати матеріали, які відповідають заданим умовам використання. Антикорозійний ефект лакофарбових матеріалів на металах залежить від металу, характеру ерозійного середовища, типу лакофарбового покриття та умов експлуатації. Тому вибір фарби для захисту металів вимагає порівняння основних показників якості (водопоглинання, пористості та часу проникнення агресивного розчину).

Розв'язанню окресленої проблеми присвячено цю роботу.

Мета та постановка завдання

Метою роботи є порівняння функціональних властивостей лакофарбових покриттів із поліефірної та фенолоформальдегідної смоли, що нанесені на металеву основу.

Методика

Лакофарбові покриття були нанесені на металеві зразки Ст3 розміром 70x30 мм. Після цього витримувалися протягом 48 год.

Для кращої адгезії на сталеві зразки першим шаром наносили лакофарбові покриття, що порівнювались між собою.

1. Фарба порошкова UD-1028-07040-T (матова). Поліефірна порошкова фарба, що є гомогенізованою сумішшю поліефірної смоли, затверджувача, пігментів і різних домішок.

2. Грунт ФЛ-03К ГОСТ 9109-81. Склад ґрунтовки ФЛ-03К – модифікована фенолоформальдегідна смола з додаванням різноманітних наповнювачів і корозійностійких пігментів, органічних розчинників та інших допоміжних сполук і сучасних домішок цільового призначення.

Надалі для надання необхідних експлуатаційних характеристик на всі зразки наносили емаль ХС-5400М ТУ У6-00205452.003-96, що є двокомпонентною системою, яка складається з основи – суспензії та наповнювачів у розчині вінілового сополімеру, модифікованого епоксидною смолою в органічних розчинниках та затверджувачах.

Для попереднього оцінювання властивостей покриттів порівнювали їх експлуатаційні характеристики (табл. 1).

Таблиця 1 – Експлуатаційні характеристики лакофарбових покриттів

Технічні параметри	Норма згідно з ТУ	
	UD-1028-07040-T	ФЛ-03К
Використання	Працює в атмосферних умовах, має високі механічні властивості та стійкість до світла	Захищає поверхню від негативного впливу лугів, солей, кислот, агресивних газів
Методи нанесення	Електростатичний	За допомогою валика, кисті або безповітряним розпиленням
Товщина покриття, мкм	50–70	60–80
Витрати на 1 шар, г/м ²	80–120	100–180
Затвердіння (температура металу), хв	180°C – 15 200°C – 10	20°C – 480 105°C – 35
Підготовка поверхні	Підготовка металевих поверхонь перед нанесенням композитів проводиться відповідно до ДСТУ ISO 12944-4:2015 [4]	

Товщину нанесеного покриття вимірювали за допомогою мікрометра. Установлено, що товщина покриття фарбою ХС-5400М з підшаром із порошкової фарби UD-1028-07040-T становить 55 мкм, тоді як для ХС-5400М разом з ґрунтом – 70 мкм.

Результати та їх обговорення

Вологопоглинання вільної плівки покриття визначали з допомогою ексикаторного методу [5, 6]. Для цього вимірюють зміну маси зразків після витримки у воді.

Результати залежності водопоглинання лакофарбовими покриттями від часу подані в табл. 2.

Таблиця 2 – Результати водопоглинання лакофарбових покриттів

Покриття	Водопоглинання фарбою, X, %				
	24 год	48 год	72 год	96 год	120 год
ФЛ-03К	1,72	5,42	5,14	5,28	5,14
UD-1028-07040-Т	1,34	1,68	2,02	1,86	2,11

Кількісно показник водопоглинання порошковою фарбою UD-1028-07040-Т менший. Причина може полягати в щільній структурі покриття, яка утворюється після затвердіння матеріалу, а також у меншій товщині плівки.

За графіком залежності швидкості водопоглинання від часу (рис. 1) можна зробити висновок, що швидкість водопоглинання ґрунту ФЛ-03К зростає, коли пофарбований зразок залишають у воді на дві доби, після чого швидкість водопоглинання зменшується.

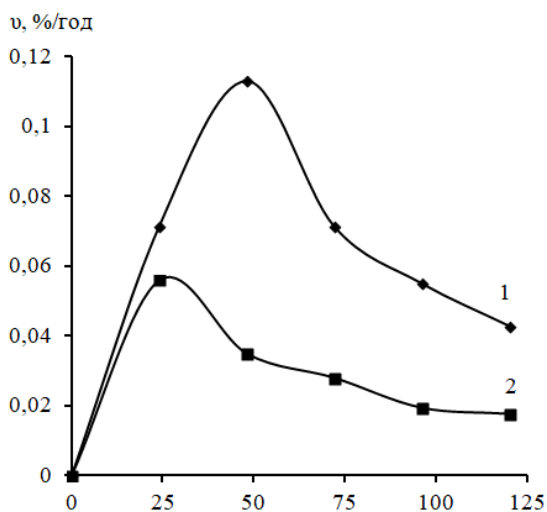


Рис. 1. Графік залежності швидкості водопоглинання порошковою фарбою UD-1028-07040-Т (1) та ґрунтом ФЛ-03К (2) від часу

Це можна пояснити тим, що якщо покриття тривалий час перебуває під впливом води, воно розбухає настільки, що більше не може поглинати воду. Щодо порошкової фарби UD-1028-07040-Т, то швидкість її водопоглинання менша та коротша в часі, порошкова фарба набухає поступово до певних меж, а потім швидкість набухання врівноважується.

Пористість лакофарбової плівки проявляється у вигляді розривів та порушення суцільності покриття. Визначення показника пористості проводили з огляду на утворення плям тіосечовинних солей калію під час реакції взаємодії іонів Fe^{2+} з калій гексаціанофератом (III) $K_3[Fe(CN)_6]$. Такі плями з'являються внаслідок того, що реагент просочується крізь лакофарбове покриття та виникає корозія сталі.

В оцінюванні стану поверхні зразків із нанесеною порошковою фарбою UD-1028-07040-Т та з ґрунтом ФЛ-03К одразу після промокання пластин, покритих лакофарбовим покриттям, встановлено, що на поверхні плівки не спостерігаються точки «турнбулевої сині», тобто пори відсутні, що відповідає першому пункту (1 бал) відповідно до п'ятибальної шкали пористості лакофарбового покриття [7]. Після 48 год з'явилися поодинокі точки «турнбулевої сині» на пластині, обробленої ґрунтом ФЛ-03К. Це свідчить про те, що розчин індикатора просочується безпосередньо до металеві пластинки крізь пори в покритті. Така пористість належить до двобальної за п'ятибальною шкалою відповідно до контролю якості лакофарбових матеріалів [8]. Проте на зразку, пофарбованому порошковою фарбою, точок «турнбулевої сині» досі не спостерігалось, що свідчить про значну густину лакофарбового покриття, рівномірність нанесення та незначну пористість.

Для визначення часу, необхідного для проходження агресивного розчину крізь лакофарбові матеріали та проникнення в метал, використовувався електрохімічний метод. Він полягає у вимірюванні зміни електрохімічного потенціалу досліджуваного об'єкта під час проходження агресивного розчину крізь плівку покриття та проникнення в метал. Коли агресивне середовище досягає металеві підкладки, різко змінюється потенціал у вимірювальній електрохімічній системі. Отримані значення потенціалів додавали до табл. 3.

На зразку, пофарбованому ґрунтом ФЛ-03К, стрибок спостерігається раніше, ніж на зразку з порошковою фарбою UD-1028-07040-Т. Це дає змогу визначати UD-1028-07040-Т як більш стійке до проникнення агресивних розчинів.

Мікротвердість – це властивість покриття чинити опір впровадженню чужорідного тіла, яке є важливим показником якості лакофарбових матеріалів.

Таблиця 3 – Виміряні значення електродного потенціалу (В) лакофарбових покриттів (щодо хлорсрібного елемента)

Покриття	Час, години					
	0	24	48	96	144	192
ФЛ-03К	0,8	0,8	0,6	0,6	-0,5	-0,5
UD-1028-07040-T	0,13	0,12	0,12	0,13	0,12	-0,6

Дослідження твердості лакофарбових покриттів проводили методом статичного вдавлювання відповідно до ДСТУ EN ISO 4516:2022 для визначення твердості покриттів на деталях і виробках з використанням мікротвердоміра ПМТ-3 за умови навантаження $P = 20$ г і часу витримки 15 с. Дослідження проводили після 24-годинного старіння покриттів за кімнатної температури. Значення H_v обчислювали за формулою [9]

$$H_v = \frac{1854 \cdot P}{d^2}, \quad (1)$$

де d – діагональ вдавнення піраміди, мкм.

Вимірювання проводили мінімум у трьох точках із подальшим усередненням показників, довірчий інтервал становив ± 10 .

Розрахована твердість для покриття UD-1028-07040-T становила $78,0$ МН/м², тоді як для ґрунту ФЛ-03К це значення становить $46,8$ МН/м².

Висновки

Результати досліджень показали перевагу порошкового лакофарбового покриття UD-1028-07040-T проти ґрунту ФЛ-03К, що можна пояснити такими факторами, як структура лакофарбового матеріалу, пористість поверхні, адгезійні явища між фарбою та поверхнею металу, на яку вона наноситься.

Порошкова фарба UD-1028-07040-T значно менше поглинає воду (до 2,12 %) порівняно з ґрунтом ФЛ-03К (до 5,14 %). Це свідчить про більшу пористість ґрунту ФЛ-03К, що підтверджують результати визначення пористості матеріалу, яка належить до I групи. Вимірювання часу, необхідного для проникнення агресивного середовища крізь плівку лакофарбового матеріалу, показало, що ґрунт ФЛ-03К швидше пропускає агресивні речовини крізь свою поверхню (за 144 год) порівняно з порошковою фарбою (192 год). Це сві-

дчить про те, що порошкові покриття, на відміну від ґрунту, більш придатні для використання в умовах, що передбачають контакт з агресивними речовинами. Перевагу порошкової фарби за експлуатаційними властивостями також підтверджують визначені значення мікротвердості.

Література

- Nenastina T.A., Ved' M.V., Zyubanova S.I., Proskurina V.O. Electrochemical deposition of Co-Mo-W and Co-Mo-Zr coatings from complex electrolytes. *Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry*. KNUTD. 2019. P. 60–66.
- Яремчук Л.А. Дослідження товщини лакофарбових плівок залежно від технологічного процесу. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України* 2021. Вип. 21. № 5. С. 110–117.
- Werner R. Effect of extenders with narrow and broad particle sizedistributions on the properties of coatings. *Journal of coatings technology*. 1998. Vol. 72. № 903. P. 71–76.
- ДСТУ ISO 12944-4:2019. Фарби та лаки. Захист від корозії сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами. Частина 4. Типи поверхні та її готування (ISO 12944-4:2017, IDT).
- ДСТУ Б В.2.7-170:2008. Будівельні матеріали. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності.
- Tsapko Yu., Gorbachova A.Yu., Mazurchuk S.N., Bondarenko O. Optimization of protective coating components of thermomodified wood to the exposure of water. *Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*. 2021. No. 84. P. 101–109.
- ДСТУ ISO 12944-9:2019. Фарби та лаки. Захист від корозії сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами. Частина 9. Захисні лакофарбові системи та лабораторні методи випробувань для офшорних і подібних конструкцій (ISO 12944-9:2018, IDT).
- Контроль якості лакофарбових матеріалів: підручник / С.В. Іванов, С.В. Тітова, В.В. Трачевський, З.В. Грушак. Київ: НАУ, 2019. 452 с.
- Nenastina T.A., Ved' M.V., Sakhnenko N.D. et al. Effect of Electrolysis Conditions on the Composition and Microhardness of Ternary Cobalt Alloy Coatings. *Surf. Engin. Appl. Electrochem.* 57. 2021. P. 59–66. <https://doi.org/10.3103/S1068375521010099>

References

- Nenastina T.A., Ved' M.V., Zyubanova S.I., Proskurina V.O. Electrochemical deposition of Co-Mo-W and Co-Mo-Zr coatings from complex electrolytes. *Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry*. Kyiv: KNUTD, 2019. P. 60–66.

- Iaremchuk L.A. Doslidzhennia tovshchyny lakofarbovykh plivok zalezno vid tekhnolohichnoho protsesu. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. 2021. p. 21.5. P. 110–117.
- Werner R. Effect of extenders with narrow and broad particle sizedistributions on the properties of coatings. *Journal of coatings technology*. 1998. Vol. 72. Is. 903. P. 71–76.
- DSTU ISO 12944-4:2019. Farby ta laky. Zakhyst vid korozii stalevykh konstruktsii zakhysnymy lakofarbovymy systemamy. Chastyna 4. Typy poverkhni ta yii hotuvannia (ISO 12944-4:2017, IDT).
- DSTU B V.2.7-170:2008. Budivelni materialy. Metody vyznachennia serednoi hustyny, volohosti, vodopohlynannia, porystosti i vodonepronyknosti.
- Tsapko Yu., Gorbachova A.Yu., Mazurchuk S.N., Bondarenko O. Optimization of protective coating components of thermomodified wood to the exposure of water. *Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*. 2021. No. 84. P. 101–109.
- DSTU ISO 12944-9:2019. Farby ta laky. Zakhyst vid korozii stalevykh konstruktsii zakhysnymy lakofarbovymy systemamy. Chastyna 9. Zakhysni lakofarbovi systemy ta laboratorni metody vyprobuvan dlia ofshornykh i podibnykh konstruktsii (ISO 12944-9:2018, IDT).
- Kontrol yakosti lakofarbovykh materialiv: pidruchnyk / S.V. Ivanov, S.V. Titova, V.V. Trachevskiy, 3.V. Hrushak. Kyiv: NAU, 2019. 452 s.
- Nenastina, T.A., Ved', M.V., Sakhnenko, N.D. *et al.* Effect of Electrolysis Conditions on the Composition and Microhardness of Ternary Cobalt Alloy Coatings. *Surf. Engin. Appl. Electrochem.* 2021. 57. P. 59–66 <https://doi.org/10.3103/S1068375521010099>

Ненастіна Тетяна Олександрівна, д.т.н., проф. каф. хімії та хімічної технології, тел. (057) 707-36-52, chemistry@khadi.kharkov.ua. Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Determination of operational properties of paint coating materials

Abstract. Problem. *Varnishes are used in all branches of industry and economy. With their help, you can*

protect metals from the effects of aggressive environment, prevent from the negative effects of corrosion, preserve consumer properties, and give the treated surface an aesthetic look. One of the methods of protecting metal from corrosion is the application of coatings, including paints and varnishes, which form a protective film on the surface of the metal and prevent corrosion processes on the surface.

Methodology. *The research was conducted on the operational characteristics of enamel-type paint coatings: paint powder UD-1028-07040-T and soil FL-03K. Determination of moisture absorption of the free coating film was carried out using the desiccator method. In order to determine the penetration time of aggressive solutions through the paint coating film, an electrochemical method was used, whose purpose is to determine the change in the electrochemical potential of the object under study during the penetration of aggressive solutions through the paint coating film to the metal. The study of the hardness of paint coatings was carried out by the method of static indentation, respectively, using a microhardness meter.*

Originality. *The research results showed the advantage of the UD-1028-07040-T powder paint coating over the FL-03K soil, which can be explained by such factors as the structure of the paint coating, the porosity of the surface, and the phenomenon of adhesion between the paint and the surface on which it is applied.* **Practical value.** *Powder paint UD-1028-07040-T absorbs water much less (up to 2.12%) compared to FL-03K soil (up to 5.14%), this indicates a relatively higher porosity of FL-03K soil; it is confirmed by the results of porosity determination, which was 1 point. When determining the penetration time of aggressive solutions through the paint film, it was found that FL-03K soil quickly passes aggressive solutions through its surface (in 144 hours) compared to powder paint (192 hours). This indicates that the use of powder paint in conditions involving contact with aggressive substances will be more appropriate.*

Keywords: *operational properties, corrosion, physical and chemical properties, powder coating, enamel coating, water absorption, porosity, adhesion*

Nenastina Tetiana, Dr. Sci., prof., The department of Chemistry and Chemical Technology, tel. (057) 707-36-52, chemistry@khadi.kharkov.ua. Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.