

КОРОЗІЙНА ТРИВКІСТЬ ПОКРИТТЯ КАРКАСА ШТАНГИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ОБПРИСКУВАЧА

Р. Л. ЛЕЩАК¹, А. В. БАБІЙ², Р. А. БАРНА¹,
М. В. БАБІЙ², Р. С. ГІРЯК¹, А. М. СИРОТЮК¹

¹ Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів;

² Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя

Наведено результати імпедансних випробувань захисного покриття каркаса штанги сільськогосподарського обприскувача термопластичними порошковими фарбами в умовах виробництва, які підтверджують його високу якість та довговічність. Проте внаслідок механічних пошкоджень, проникнення рідких робочих середовищ чи хімічної деструкції в покритті можуть утворюватись наскрізні дефекти, через що доступ води, кисню та корозійно-активних іонів до металеві поверхні суттєво полегшується. У місці пошкодження розвиватиметься локальна корозія, а бар'єрні властивості покриття погіршуються.

Ключові слова: порошкове покриття, рідкі робочі середовища, імпедансні випробування, ємність покриття, корозійна тривкість, штангові обприскувачі.

The results of impedance tests of the agricultural sprayer bar frame protective coating by thermoplastic powder paints under production conditions, which confirm high quality and durability of the coating, are given. However, due to mechanical damages, penetration of liquid working environments or chemical fracture, the through defects can be formed in the coating. Thus, the access of water, oxygen and corrosive ions to the metal surface is significantly facilitated. At the place of damage local corrosion develops, and the coating barrier properties deteriorate.

Keywords: powder coating, liquid working environments, impedance testing, coating capacity, corrosion resistance, boom sprayer.

Вступ. Сільськогосподарські обприскувачі використовують для оброблення рідкими мінеральними добривами чи хімічними речовинами культурних рослин, які корозійно-активні, попри те, що до їх складу вводять різноманітні інгібітори. Корозія завдає значної шкоди сільськогосподарській техніці [1–4], викликаючи на металевих поверхнях корозійні виразки та пітинги, які є ефективними концентраторами механічних напружень [5]. В експлуатаційних умовах за дії статичних та циклічних навантажень вони є потенційними місцями зародження та подальшого розвитку тріщиноподібних дефектів, що в решті-решт може спричинити руйнування елемента конструкції чи вихід з ладу всього механізму. На сьогодні ресурс роботи обприскувача повинен складати не менше 1800 h роботи за річної завантаженості не менше 300 h. Але вимоги до обприскувачів зростають, оскільки кількість хімічних оброблень у технологіях вирощування культур значно збільшилася. В оновлених документах для них встановлено нормативне річне напруження 550 h.

У сільськогосподарській практиці антикорозійний захист сталевих елементів конструкцій машин є незамінний [4, 6], особливо обприскувачів, що працюють з рідкими мінеральними добривами чи хімічними речовинами. Тому зусилля вироб-

ників спрямовані на виготовлення техніки, що відповідатиме вимогам категорії корозійної тривкості C5 згідно зі стандартом ISO 12944 [7].

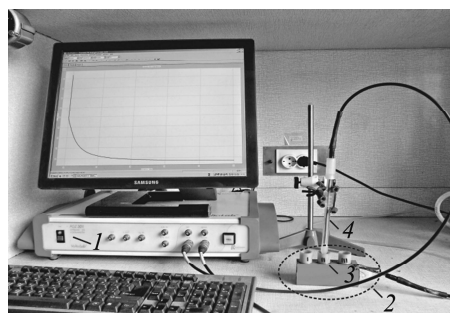
Мета дослідження – порівняльно оцінити імпедансні характеристики (ємність та опір) захисного покриття каркаса штанги сільськогосподарського обприскувача термопластичними порошковими фарбами у робочих корозивно-активних середовищах (демінералізованій воді та насичених розчинах інсектициду і рідкого комплексного добрива).

Імпедансні випробування. Вимірювання імпедансних характеристик (ємності та опору) – найефективніший метод пришвидшених досліджень властивостей захисних фарбових покриттів на металічних поверхнях у різних корозивних середовищах [8–10], який охоплює широкий діапазон частот прикладеного струму та інформує про стан і властивості міжфазної поверхні фарба–метал. Опір діелектриків, зокрема порошкових покриттів, послаблюється зі збільшенням частоти струму, що пов'язано зі зростанням діелектричних втрат внаслідок дипольної поляризації [11]. Отже, покриття з високими бар'єрними характеристиками повинно зберігати суттєву залежність активного опору від частоти. Його електричний опір знижується через сорбцію корозивного середовища та утворення у ньому мікропор, а частотна залежність стає менш чіткою. Після утворення наскрізних дефектів опір покриття практично перестає залежати від частоти струму, а його інтегральне значення складається з опорів корозивного середовища, електроліту в порах покриття та перенесення заряду на поверхні металу в місцях дефектів. За низьких частот струму появу дефектів можна передбачити задовго до їх виявлення візуально.

Досліджували зразки, вирізані з каркаса штанги обприскувача з захисним покриттям термопластичними порошковими фарбами, в умовах виробництва. Перед фарбуванням поверхню сталевого гнучого зварного замкнутого профілю готують хімічними та механічними способами і завершують фосфатуванням для підвищення адгезії з покриттям. Далі сухий порошок напилюють на профіль у спеціальній камері, використовуючи електростатичний ефект, коли порошкова фарба та профіль мають протилежні електричні заряди. Фарбування закінчують спіканням при 190...200°C. Покриття формують без хімічних реакцій, лише сплавленням частинок під час нагрівання. У результаті на поверхні профілю утворюється гладке покриття товщиною 50...60 μm, яке підвищує корозійну тривкість штанги та збільшує термін експлуатації обприскувача.

Рис. 1. Лабораторний комплекс для імпедансних випробувань: 1 – динамічна електрохімічна лабораторія VoltaLab40; 2 – електрохімічна комірка; 3, 4 – робочий та допоміжний платиновий електроди.

Fig. 1. Laboratory complex for impedance tests: 1 – dynamic electrochemical laboratory VoltaLab40; 2 – electrochemical cell; 3, 4 – working and additional platinum electrodes.



Імпедансні випробування реалізували (рис. 1) за допомогою динамічної електрохімічної лабораторії VoltaLab40 [12], яка в реальному часі фіксує зміну ємності та опору покриття за дії різних корозивних середовищ, у спеціально виготовленій електрохімічній комірці. Робочі поверхні (електроди) – ділянки покриття розміром 2,54 cm², які були дном приклеєних пластмасових циліндрів Ø 1,8 cm, допоміжний – платиновий електрод. Всі вимірювання виконали за кімнатної температури.

Експерименти здійснювали за фіксованих частот струму 0,1; 0,2; 1; 10; 25; 50 і 100 kHz. Для подання результатів вибрали частоту 0,2 kHz, що відповідає корозійним процесам на межі поділу покриття–метал. Досліджували у трьох характерних робочих середовищах: демінералізованій воді, що моделювала конденсат або дощівку, а також насичених водних розчинах інсектициду Нурел Д (Nurelle D) та рідкого комплексного добрива КАС-32 (UN-32) заводського приготування, що містило як інгібітор корозії вуглецевих сталей фосфати амонію.

Результати та їх обговорення. Незахищена поверхня сталі Ст3пс швидко кородує [13, 14]. За локального порушення пасивності поверхні металу інтенсивно утворюються корозійні пітинги, що небезпечно через можливий подальший їх розвиток та зародження у конструкції тріщиноподібних дефектів. Захисні фарбові покриття підвищують ресурс каркаса, однак, за наскрізного їх пошкодження і проникнення агресивного корозивного середовища під покриття сталь активно кородуватиме.

Часові залежності імпедансу (частота 0,2 kHz) фарбового покриття на сталі (рис. 2a) засвідчують стабільність його бар'єрних характеристик під час випробувань у досліджуваних корозивних середовищах упродовж 120 днів. Всі системи покриття–корозивне середовище мають співмірні характеристики, а їх опір знаходиться на рівні 2...15 $M\Omega \cdot cm^2$. Кращі параметри імпедансу спостерігали (рис. 2a) для системи покриття–комплексне добриво; далі розміщувалась система покриття–демінералізована вода і дещо нижче – покриття–насичений розчин інсектициду.

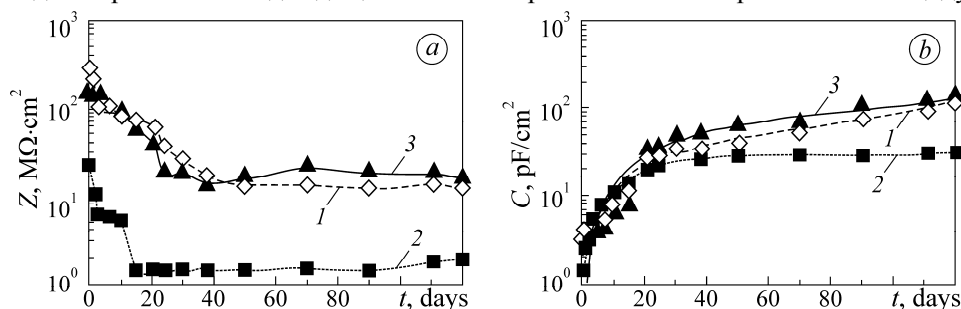


Рис. 2. Кінетика імпедансу (a) та ємності (b) захисного фарбового покриття на сталі Ст3пс у корозивних середовищах за частоти змінного струму $f = 0,2$ kHz:

1 – демінералізована вода; 2 – інсектицид Нурел Д; 3 – рідке добриво КАС-32.

Fig. 2. The kinetics of impedance (a) and capacity (b) of protective paint coating on Ст3пс steel in corrosive environments for the alternating current frequency $f = 0.2$ kHz:

1 – demineralized water; 2 – Nurelle D (insecticide); 3 – UN-32 (liquid fertilizer).

Тут слід зауважити, що опір зразків за перші 20 днів випробувань різко, практично на порядок, знижується. Це притаманно багатьом захисним покриттям і вказує на набухання шару фарби у водному середовищі. Упродовж 20–120 днів опір покриття змінному струму залишається практично на тому самому рівні, що свідчить про відсутність їх пошкоджень під час тривалої експозиції за контакту з корозивним середовищем. Незважаючи на незначні відмінності у цьому проміжку, для всіх трьох систем покриття–середовище опір залишається сталим, що підтверджує поліпшені захисні властивості покриття.

Підтверджено [9, 10, 15], що ємність суцільного бездефектного покриття в середовищі інформативніша, ніж електролітичний опір, і корелює зі ступенем проникнення водного середовища у покриття та його деструкцію. Про високі захисні характеристики покриття термопластичними порошковими фарбами в умовах виробництва свідчать і кінетичні залежності (рис. 2b) ємності за контакту з демінералізованою водою та насиченими розчинами інсектициду та рідкого комплексного добрива.

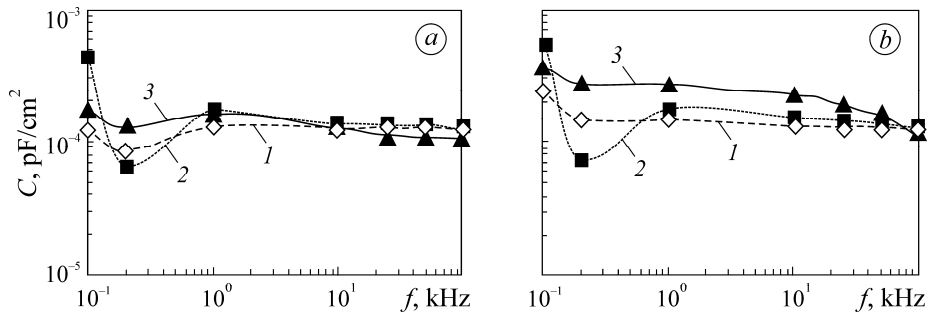
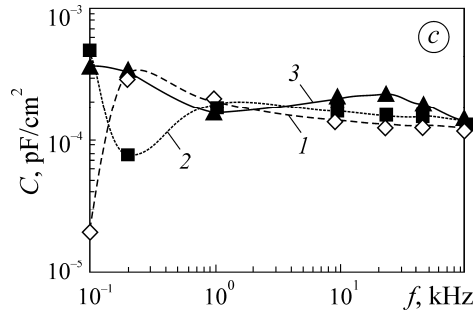


Рис. 3. Частотні залежності ємності захисного фарбового покриття після експозиції 30 (а), 90 (б) та 120 (с) днів у корозивних середовищах (позначення див. рис. 2).

Fig. 3. Frequency dependences of the protective paint coating capacity after 30 (a), 90 (b) and 120 (c) days exposure to corrosive environments (designation in Fig. 2).



У перші 20 днів ємність зразків інтенсивно зростає, що спричинено проникненням складників середовища в мікропори покриття. Далі стабілізується з тенденцією до незначного приросту. Вищі її значення має захисне покриття у рідкому комплексному добриві, дещо нижчі – у демінералізованій воді, а найнижчі – у насиченому розчині інсектициду.

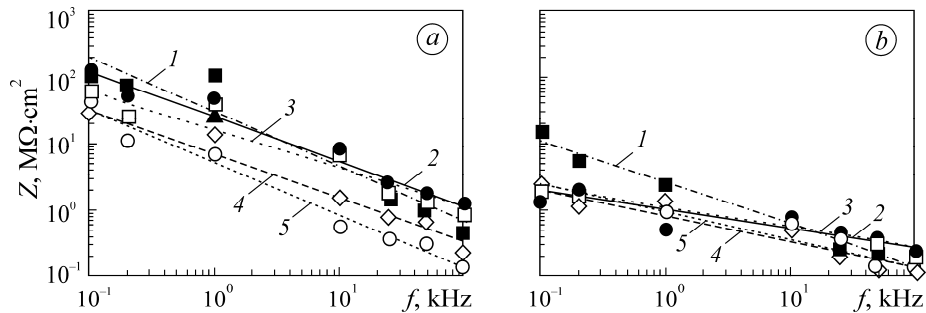


Рис. 4. Частотні залежності опору змінному струму захисного покриття сталі каркаса обприскувача після 10 (1); 21 (2); 30 (3); 90 (4) та 120 (5) днів експозиції у демінералізованій воді (а), середовищах Нурел Д (б) та КАС-32 (с);
 а: 1 – $R^2 = 0,92$; 2 – $0,98$; 3 – $0,92$; 4 – $0,96$; 5 – $0,98$; б: 1 – $0,98$; 2 – $0,97$; 3 – $0,94$; 4 – $0,91$; 5 – $0,91$; с: 1 – $0,93$; 2 – $0,95$; 3 – $0,91$; 4 – $0,98$; 5 – $R^2 = 0,93$.

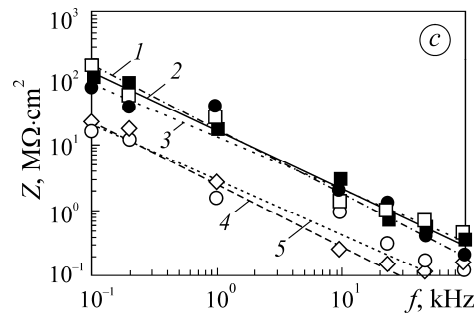


Fig. 4. Frequency dependences of protective coating alternating current resistance for sprayer frame steel after 10 (1); 21 (2); 30 (3); 90 (4) and 120 (5) days exposure to demineralized water (a), Nurelle D (b) and UN-32 (c) environments;
 а: 1 – $R^2 = 0,92$; 2 – $0,98$; 3 – $0,92$; 4 – $0,96$; 5 – $0,98$;
 б: 1 – $0,98$; 2 – $0,97$; 3 – $0,94$; 4 – $0,91$; 5 – $0,91$;
 с: 1 – $0,93$; 2 – $0,95$; 3 – $0,91$; 4 – $0,98$; 5 – $R^2 = 0,93$.

Смність покриття практично не залежить від частоти змінного струму (рис. 3) впродовж 120 дБ, що є основною вимогою до них [4, 7]. Довготривалі імпедансні дослідження підтверджують поліпшені захисні властивості захисних покриттів у досліджуваних корозивних середовищах.

Встановили (рис. 4) чітку обернено пропорційну залежність опору захисного фарбового покриття від частоти, що свідчить про його високі захисні характеристики. Пористість покриття незначна, тому середовище практично не проникає до металевої поверхні. У подвійних логарифмічних координатах ці залежності лінійні з вірогідністю апроксимації R^2 у межах 0,91...0,98, що вказує на задовільний збіг математичного опису з експериментальним.

ВИСНОВКИ

Результати імпедансних випробувань захисного покриття каркаса штанги сільськогосподарського обприскувача термопластичними порошковими фарбами в умовах виробництва засвідчують його якість та довговічність. Водночас, у ньому внаслідок механічних пошкоджень, проникнення рідких робочих середовищ чи хімічної деструкції утворюються наскрізні дефекти, через що доступ води, кисню та корозійно-активних йонів до металевої поверхні значно полегшується. У місці пошкодження розвивається локальна корозія, а бар'єрні властивості покриття перестають бути визначальними для його захисної дії.

1. Oki M. and Anawe P. A. L. A review of corrosion in agricultural industries // *Physical Sci. Int. J.* – 2015. – 5, № 4. – P. 216–222.
2. Eker B. and Yuksel E. Solutions to corrosion caused by agricultural chemicals // *Trakia J. of Sci.* – 2005. – 3, № 7. – P. 1–6.
3. *Corrosion-fatigue* failure of tractor trailers metal materials in aggressive environments / P. Popovych, L. Poberezhny, O. Shevchuk, I. Murovanyi, L. Poberezhna, A. Hrytsanchuk & Y. Koval // *Koroze a Ochrana Materialu.* – 2020. – 64, № 2. – P. 45–51. DOI:10.2478/kom-2020-0007
4. Zubrzycki B., and Roguska N. Protective coatings used in the production of agricultural machinery // *Ochrona Przed Korozja.* – 2020. – 63, № 4. – P. 122–125.
5. Dmytrakh I. M., Akid R., and Miller K. J. Electrochemistry of deformed smooth surfaces and short corrosion fatigue crack growth behaviour // *British Corr. J.* – 1997. – 32, № 2. – P. 138–144. DOI:10.1179/bcj.1997.32.2.138
6. Votava J., Kumbár V., and Polcar A. Degradation processes in anticorrosive coatings for machinery designed for fertiliser application // *Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelianae Brunensis.* – 2016. – 64, № 4. – P. 1257–1265. DOI:10.11118/actaun201664041257
7. *ISO 12944-5:2019.* Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems – Part 5: Protective paint systems, 2019. – 30 p.
8. Bilyi L. M., and Zin' Y. I. Inhibited protective coatings based on polyurethane // *Materials Science.* – 2012. – 48, № 2. – P. 162–170. DOI:10.1007/s11003-012-9486-x
9. Сахненко Н. Д., Ведь М. В. Мониторинг и прогнозирование защитных свойств органических покрытий. – Харьков: Новое слово, 2012. – 288 с.
10. Schweitzer P. A. *Paint and Coatings Applications and Corrosion Resistance.* – London (UK): CRC Press., 2005. – 672 p.
11. Panda H. *The Testing Manual of Paints, Varnish and Resins.* – Delhi: Asia Pacific Business Press. Inc., 2011. – 592 p.
12. *VoltaLab 40 (PGZ301 & VoltaMaster 4).* Dynamic Electrochemical Laboratory. Instruction. – Radiometer Analytical, 2009. – 126 p.
13. *Corrosion* resistance of steel of the frames of boom sprayers / R. L. Leshchak, A. V. Babii, R. A. Barna, and A. M. Syrotyuk // *Materials Science.* – 2020. – 56, № 3. – P. 425–431. DOI:10.1007/s11003-020-00446-6
14. *Corrosion-fatigue* crack-growth resistance of steel of the frame of a sprayer boom / A. M. Syrotyuk, A. V. Babii, R. A. Barna, R. L. Leshchak, and P. O. Marushchak // *Materials Science.* – 2021. – 56, № 4. – P. 466–471. DOI:10.1007/s11003-021-00452-2
15. *Corrosion* Preventive Materials and Corrosion Testing / S. K. Dhawan, H. Bhandari, G. Ruhi, B. M. S. Bisht, and P. Sambyal. – London (UK): CRC Press., 2020. – 268 p. <https://doi.org/10.1201/9781315101217>.

Одержано 27.01.2022