

В. М. Павленко¹
В. М. Мануйлов²
В. П. Кужель³
С. В. Семенченко²
В. В. Гапула¹

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИПРОБУВАННЯ ЛАКОФАРБОВОГО ПОКРИТТЯ НА СТІЙКІСТЬ ДО КОРОЗІЇ

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

²Національна академія Національної гвардії України

³Вінницький національний технічний університет

Представлена робота спрямована на дослідження методів випробування лакофарбових покриттів, яке використовується для захисту металевих частин автомобілів, з метою визначення їх стійкості до корозійних процесів. Лакофарбові покриття використовуються для захисту металевих поверхонь автомобілів від корозії, у різних кліматичних умовах та під впливом агресивних факторів, як-от атмосферні умови, хімічні речовини на дорозі, забруднене повітря та інші корозійні середовища, тому їх якість та ефективність мають велике значення.

Розглянуті різні методи випробування лакофарбових покриттів: випробування на нейтральний сольовий туман, випробування в сольовому тумані з оцтовою кислотою (з мідним прискоренням та без мідного прискорення), циклічне випробування на корозію. Також була приділена увага таким параметрам: тривалість випробувань, температурні режими, хімічна агресивність середовища. Аналіз випробувань дає змогу встановити, які методи найбільше відповідають вимогам для визначення стійкості лакофарбових покриттів до корозії. Робота також досліджує вплив різних факторів, як-от тип лакофарбового покриття, підготовка поверхні та умови експлуатації, на результати випробувань. Визначено, що належний вибір методів випробувань та адекватна оцінка їх ефективності допомагають у покращенні стійкості лакофарбового покриття до корозії в різних умовах експлуатації.

Робота має важливе практичне застосування в автомобільній промисловості, сприяючи підвищенню якості захисту автомобільних покриттів від корозії та подовженню їх терміну служби в різних умовах експлуатації. Отримані результати дають змогу покращити якість та тривалість захисту лакофарбового покриття, металевих конструкцій та інших виробів від корозії шляхом вибору оптимального методу випробування лакофарбових покриттів. Це наукове дослідження має практичне значення для інженерів і виробників, які займаються розробкою та застосуванням антикорозійних покриттів.

Ключові слова: автомобіль, корозія, лакофарбове покриття, методи випробування, корозійна стійкість, вплив атмосферних умов.

Постановка проблеми

Ця робота присвячена дослідженням методів випробування лакофарбового покриття автомобіля на стійкість до корозії. У сучасному світі дослідники усе частіше звертають увагу на вирішення завдань, пов'язаних із покращенням лакофарбового покриття. Тому розберемо, які методи випробувань на стійкість до корозії існують та як вони проводяться, які компоненти та добавки у складі лакофарбових матеріалів найкраще запобігають корозії. Актуальність теми полягає в тому, що лакофарбове покриття автомобілів є важливим елементом, який визначає їх зовнішність і довговічність. Воно не лише призначене для естетичної привабливості, але й виконує ключову функцію у захисті металевих поверхонь від несприятливих факторів, зокрема корозії.

Корозія є однією з основних проблем лакофарбового покриття автомобіля загалом: вона може серйозно погіршити його зовнішній вигляд, стан, надійність та структурну цілісність.

Корозія – це процес руйнування та пошкодження матеріалів, зазвичай металів, внаслідок хімічних, електрохімічних або фізико-хімічних реакцій з навколишнім середовищем. Механізм корозії полягає в реакції металу з водою і киснем або іншими хімічними речовинами.

Це призводить до утворення корозійних плям і оксидів, які руйнують метал і знижують його міцність. Основними учасниками корозії є металеві деталі, вода, кисень та інші хімічні речовини, які можуть бути наявні в навколишньому середовищі. До основних видів корозії за її механізмом відносять: хімічну, електрохімічну, а також біологічну.

Щодо автомобілів корозія виникає внаслідок руйнівного впливу таких факторів, як вода, сіль, сонячне випромінювання, хімічні речовини на дорозі та інші зовнішні агенти. Зазвичай спостерігається на металевих частинах: кузов, рама, двері, капот та інші деталі. Лакофарбове покриття на автомобілях є бар'єром, який захищає метал від впливу навколишнього середовища. Ефективність лакофарбового покриття у запобіганні корозії залежить не тільки від якості матеріалів, а ще й від інших факторів, наприклад таких, як процеси нанесення та загальну стійкість до зовнішніх впливів.

Основна частина

Стійкість до корозії є основним показником ефективності лакофарбового покриття на автомобілі. Дослідження охоплюють експерименти із симуляцією умов корозійного середовища, які можуть зустрічатися в різних кліматичних умовах. Ці умови часто складно змодельювати в лабораторії, оскільки більша частина цієї корозії виникає через те, що сіль або інші хімічні речовини залишаються на поверхні фарби протягом тривалого часу – і все це у багатьох випадках у поєднанні з екстремальними погодними умовами.

Хімічний процес корозії є складним і може бути розглянутий як електрохімічне явище. Під час корозії в певній точці на поверхні предмета, який виготовлений із заліза, відбувається окислення. Ця пляма на поверхні предмета діє як анод, внаслідок чого вивільнюються електрони. Ці електрони переміщуються через метал та переходять до іншої точки на металі. У цьому процесі кисень у присутності H^+ (який може утворюватися з H_2CO_3 , утвореного внаслідок розчинення вуглекислого газу з повітря у воді в умовах вологості атмосфери) відновлюється в місці, де відбувається окислення [4]. Крім того, іони водню у воді можуть також бути доступні завдяки розчиненню інших кислотних оксидів з атмосфери. У цьому процесі пляма на поверхні металу діє як катод. Важливим фактором, що впливає на корозію, є рН середовища (рис. 1), який може змінюватися через водневу або кисневу деполяризацію [4].

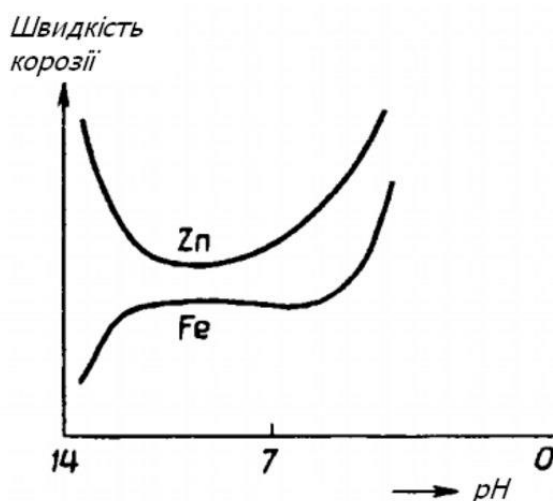


Рис. 1. Графік швидкості корозії за впливом рН середовища

Основні зовнішні агенти, які сприяють корозії автомобілів, наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Зовнішні агенти, які сприяють корозії

Хімічні речовини на дорозі	Різні хімічні речовини, як-от солі, хлориди та інші розсипи для розчищення доріг, можуть потрапляти на автомобіль під час руху і спричиняти корозії металевих деталей
Атмосферні умови	Погані атмосферні умови, як-от дощ, сніг, сильне сонце і вологість, можуть впливати на швидкість корозії
Забруднене повітря	Переносні забруднення та хімічні речовини у повітрі, як-от сірководень та оксиди азоту, можуть викликати корозію на поверхні автомобіля
Механічні uszkodження та подряпини	Подряпини та uszkodження лакофарбового покриття автомобіля можуть робити метал вразливим до впливу корозії, оскільки вони порушують захисний бар'єр

Щоб найкраще відтворити ці типи умов та забруднень, будуть використані такі тести:

1) Випробування на нейтральний сольовий туман.

Випробування сольовим туманом є широко поширеним методом прискорених випробувань на корозію [6].

У цьому методі металеві та неметалеві матеріали піддаються впливу агресивного корозійного середовища протягом тривалого періоду для оцінки їхньої стійкості до корозії в камері сольового туману.

Типова камера сольового туману (рис. 2) має башту насичення повітрям, яка стабілізує концентрацію солі, резервуар для самого розчину, розпилювальну форсунку для створення туману, що підтримують механізми для утримання деталей, спосіб розподілу тепла всередині камери та регулятор температури [7].

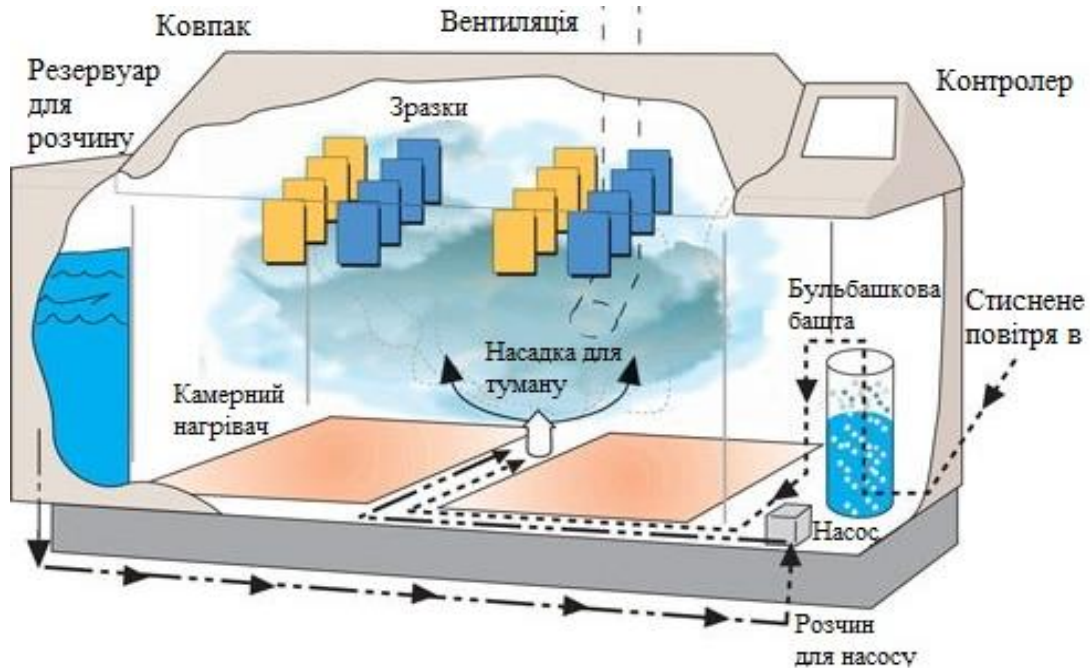


Рис. 2. Типова камера сольового туману

Цей метод використовується для визначення ефективності фарб та покриттів, призначених для захисту матеріалів від корозії. Зазвичай випробування в сольовому тумані проводять відповідно до стандарту ASTM B117 [2] і вміщують у себе піддавання матеріалів впливу нейтрального сольового туману протягом періоду часу, який може становити від 24 до 1000 годин [2]. У цьому процесі використовується 5%-ий розчин натрію хлориду (NaCl) [7], який розпорошується в герметичній камері, створюючи туман солоної води. Це сприяє швидшому розвитку корозії на випробуваних матеріалах. Під час випробування регулярно перевіряють стан зразків через певні інтервали часу, щоб моніторити та фіксувати будь-які зміни в їх стані. Випробування може завершитися, коли спостерігається початок корозії або після завершення визначеного часу.

Додатково випробування в сольовому тумані може виконуватися паралельно з іншими електрохімічними методами, як-от імпедансна електрохімічна спектроскопія і потенціодинамічна поляризація, для отримання більш глибокого розуміння корозійних характеристик матеріалу та системи.

2) Випробування в сольовому тумані з оцтовою кислотою (з мідним прискоренням та без мідного прискорення).

Випробування на сольовий туман із прискореною міддю та оцтовою кислотою (CASS) – це метод, відкритий у 1945 році, який містить додавання оцтової кислоти до розчину, де наявна сіль, що використовується у випробуваннях на сольовий туман. Цей метод набагато агресивніший за звичайний метод тестування сольовим туманом. Порівняно зі звичайним методом солоного розпилення, цей метод є набагато більш корозійним і дає змогу швидше виявити вразливість матеріалів на корозію. Це випробування є формою прискореного корозійного випробування, яке призводить до корозивної дії на покритті зразка для прогнозування придатності захисного покриття.

Такі корозійні продукти, як оксиди, оцінюються після певного періоду. Тривалість випробування залежить від типу антикорозійного покриття. Отже, чим вища стійкість до корозії покриття, тим довше треба чекати до появи ознак корозії. Проте є лише невеликий взаємозв'язок між тривалістю випробування та очікуваним терміном служби покриття, особливо в разі оцинкованої сталі, де вимагаються додаткові цикли висушування для збільшеної тривалості.

Для проведення CASS-тесту використовується 95 частин води на 5 вагових частин солі [8] для приготування стандартного розчину ASTM B 117. Потім у реактив додають хлористої міді кваліфікації, який зневоднює з розрахунку 1 г на 4 л розчину. Розчин атомізується після змішування, і в камері підтримують температуру 490 °C (1200 °F) [3]. Туман потім збирається, тестується і розчин вирівнюється до рівня рН між 3.1 і 3.3. Це робиться шляхом додавання хімічно чистої кислоти льодяної (реагентного класу). Зразки мають багатшарові оцинковані або покриті кромки, на які нанесено покриття для запобігання корозії країв. Коли випробувальна камера готова, металеві зразки і зразки з металевим покриттям очищаються за допомогою відповідного розчину для очищення. Органічні та неметалеві зразки не очищаються. Зразки розміщують під кутом 15 градусів від вертикального положення. Компоненти, що використовуються в автомобільній або аерокосмічній промисловості, розміщуються в положенні «як використовується». Під час тестування зразки можуть бути повернуті на 180 градусів. Тривалість тесту становить 24 години, але час може бути доданий. Ідеальний варіант – оцінювати зразки в будь-який інтервал часу і потім повертати їх до камери.

3) Циклічне випробування на корозію.

Циклічне корозійне випробування призначене для більш реалістичного проведення тестів на солоний туман порівняно з традиційними, сталими випробуваннями. Метод випробування ґрунтується на реальних корозійних умовах [5]. Оскільки фактичні атмосферні впливи зазвичай містять як вологі, так і сухі умови, має сенс відтворювати прискорені лабораторні випробування за цими природними циклічними умовами. Дослідження показують, що випробування на циклічну корозію відтворює більш схожі результати відносно швидкості корозії, структури і морфології з тими, що спостерігаються на вулиці, виставляючи зразки на послідовність різних середовищ у повторюваному циклі. Це випробування має на меті забезпечити швидку процедуру для оцінки корозійної стійкості компонентів та захисних покриттів. Зразки для випробування розташовуються в закритій камері (рис. 3) під кутом 65–75° до горизонту, випробуваною стороною вгору.

Фаза солоного туману виконується з використанням 1%-г розчину натрію хлориду (рН 6,5–7,2) і осідає на зразках зі швидкістю 2,0–4,0 мл/80 см²/год.

Повний цикл тесту триває 7 днів і містить цикли А, В і С, які складаються з кількох кроків і мають різний діапазон температур: від –15 °C до +50 °C і вологості – від 50 % до 95 %. Типова тривалість тесту – шість повних циклів випробування (6 тижнів).

Після завершення випробувань аналіз зразків за допомогою мікроскопа з нескінченним фокусом може бути використаний для докладного вивчення явищ локальної корозії, як-от пітинг у металевих матеріалах. Цей аналіз дає змогу визначити глибину проникнення корозії і допомагає оцінити серйозність пошкоджень.



Рис. 3. Камера для випробування на циклічну корозію з тестовими зразками всередині

Мікроскоп із нескінченним фокусом (IFM) [1] є спеціальним пристроєм для швидкого та безконтактного оптичного 3D-вимірювання (рис. 4).

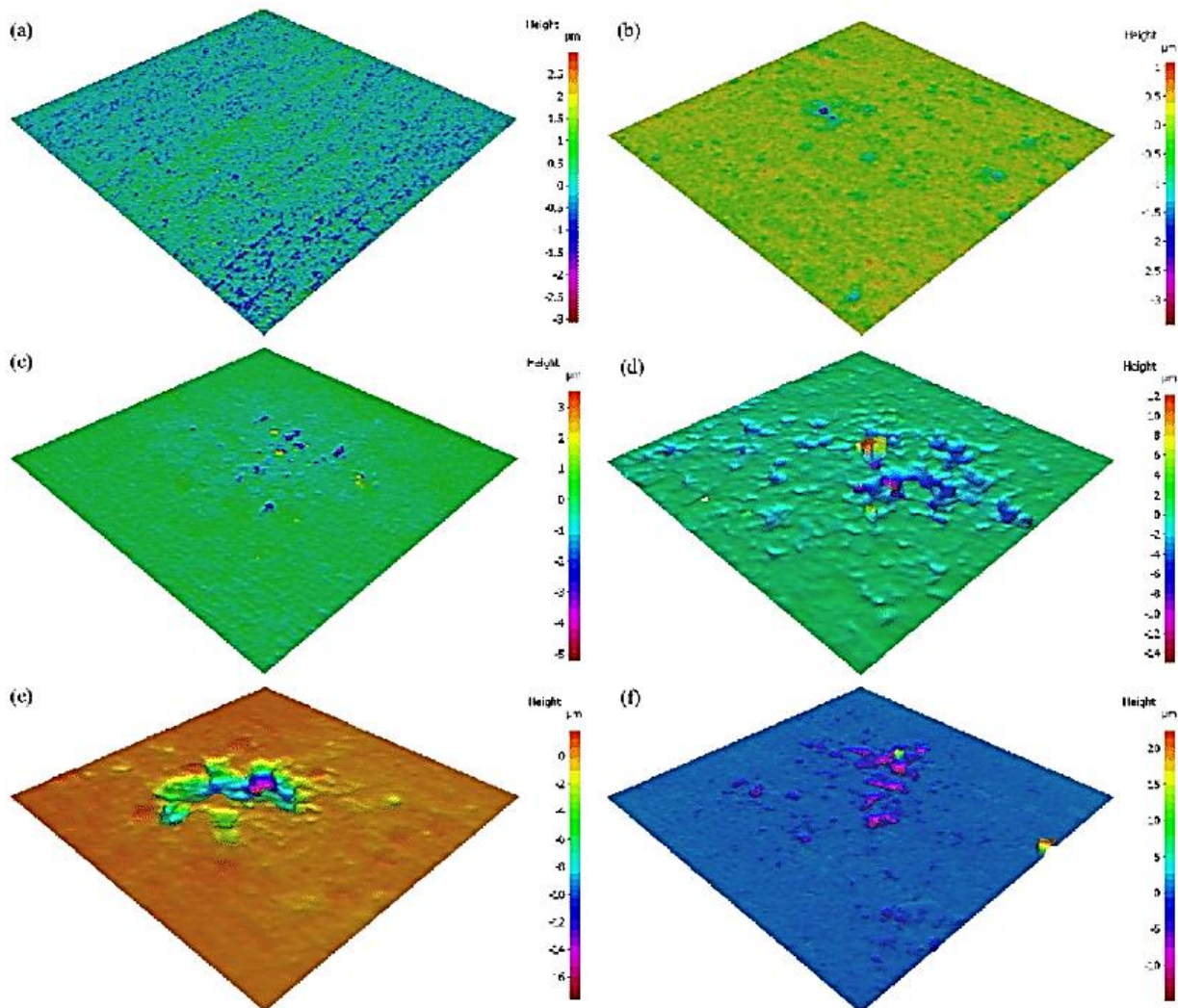


Рис. 4. Нескінченно фокусний мікроскоп (IFM) 3D-зображення пітінгу, протягом: (a) 0 днів, (b) 2 днів, (c) 7 днів, (d) 14 днів, (e) 21 дня та (f) 30 днів

Він поєднує в собі низьку глибину різкості оптичного мікроскопа з вертикальним скануванням, що перетинає поверхню зразка, забезпечує високу роздільну здатність та велику глибину різкості для отримання детальних топографічних зображень з великим полем зору. Мікроскоп із нескінченним фокусом реконструює 3D-зображення з ряду 2D-зображень, отриманих між найнижчою та найвищою фокальною площиною. Він компілює області, що перебувають у фокусі, для отримання відтворених, чітких, кольорових зображень та точної реконструкції поверхні зразка.

Додатково аналіз за допомогою скануючої електронної мікроскопії (SEM) та рентгенівської дисперсійної спектроскопії (EDX) може бути використаний для оцінки ефективності корозійних інгібіторів, що містяться у фарбах та покриттях, а також для отримання зображень із високим збільшенням та елементного аналізу.

Якщо потрібно провести кількісне визначення продуктів корозії, можна використовувати рентгенівську дифракцію для визначення виду корозійних з'єднань, що утворилися. Аналіз руйнування фарб та покриттів, нанесених на основний матеріал, наприклад, через утворення пухирів, може визначити шляхи поліпшення рецептури цих матеріалів.

Спеціалісти з антикорозійного захисту і матеріалознавці розробляють лакофарбові матеріали, які містять у своєму складі спеціальні компоненти і добавки, спрямовані на запобігання корозії та збереження металевих поверхонь. Основні компоненти, що додаються до лакофарбових матеріалів – антикорозійні пігменти. Це речовини, як-от цинковий оксид, фосфати і хромати, які мають здатність

створювати захисний бар'єр на металевій поверхні, запобігаючи проникненню вологи та агресивних речовин, що сприяють корозії. Також додавання таких інгібіторів корозії, як бензотріазол або фосфати, може значно зменшити окислення металу та сповільнити процес корозії. Ці речовини можуть діяти як катоди й аноди, змінюючи хімічні реакції, які призводять до корозії. Ще один із найефективніших методів захисту металу – це нанесення тонкого шару цинку на металеву поверхню перед фарбуванням.

Дослідження компонентів та добавок, які використовують у складі різних лакофарбових матеріалів, дає змогу розробникам лакофарбових матеріалів створювати більш ефективні засоби захисту металу від корозії. Тому важливо використовувати високоякісні фарби та правильно наносити їх на металеву поверхню. В таких фарбах роблять все, щоб вони мали властивості, які допомагають утримувати вологу та агресивні середовища подалі від металу. Але навіть із використанням найкращих матеріалів і добавок корозія може виникнути з часом. Тому регулярні огляд та обслуговування поверхонь, які піддаються впливу агресивного середовища, допоможуть вчасно виявляти й усувати ознаки корозії, попереджуючи її подальше поширення.

Висновки

Досліджено різні методи випробувань на стійкість до корозії лакофарбових покриттів, включно з такими параметрами, як тривалість випробувань, температурні режими, хімічна агресивність середовища та методи аналізу цих випробувань, а також розглянуто зовнішні агенти, які сприяють корозії, та компоненти і добавки в складі лакофарбових матеріалів, що використовуються для захисту від корозії. Все це вказує на те, що належний вибір методів випробувань та правильна оцінка їх ефективності допомагають покращити стійкість лакофарбового покриття до корозії в різних умовах експлуатації, що своєю чергою може бути корисними для автомобільної промисловості з метою підвищення якості та тривалості автомобільних покриттів, забезпечуючи надійний захист від корозії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Мікроскоп нескінченного фокусу (IFM). URL: <https://www.shu.ac.uk/research/specialisms/materials-and-engineering-research-institute/facilities/infinite-focus-microscope>
- [2] Випробування нейтральним сольовим спреєм (ASTM B117). URL: <https://www.shu.ac.uk/research/specialisms/materials-and-engineering-research-institute/facilities/neutral-salt-spray-testing>
- [3] Випробування мідним прискореним сольовим спреєм (тест CASS). URL: <https://www.corrosionpedia.com/definition/326/copper-accelerated-salt-spray-test-cass-test>
- [4] Корозія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B7%D1%96%D1%8F>
- [5] Випробування на циклічну корозію. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Cyclic_corrosion_testing
- [6] Тест із сольовим туманом. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Salt_spray_test
- [7] Розуміння корозії та сольовий спрей. URL: <https://www.pfonline.com/articles/understanding-corrosion-and-salt-spray>
- [8] Що робить послуги тестування CASS революційними? URL: <https://infinitalab.com/product-testing-service/copper-accelerated-salt-spray-cass-test/>

Павленко В'ячеслав Миколайович – канд. техн. наук, доцент кафедри технічної експлуатації та сервісу автомобілів, e-mail: vp.khadi@gmail.com

Гапула Віталій Вадимович – студент-магістрант кафедри технічної експлуатації та сервісу автомобілів, e-mail: gapula1310@ukr.net

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

Мануйлов Володимир Миколайович – підполковник, начальник відділення підготовки водіїв центру перепідготовки та підвищення кваліфікації, e-mail: pchelka2501@gmail.com

Семенченко Сергій Володимирович – старший викладач кафедри автобронетанкової техніки, e-mail: ssv4055@ukr.net

Національна академія Національної гвардії України, м. Харків

Кужель Володимир Петрович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: kuzhel_v@vntu.edu.ua

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

V. Pavlenko¹
V. Manuylov²
V. Kuzhel³
S. Semchenko²
V. Hapula¹

Research on testing methods for the corrosion resistance of paint coatings

¹Kharkiv National Automobile and Road University

²National Academy of the National Guard of Ukraine

³Vinnitsia National Technical University

This scientific work is aimed at researching the testing methods of paint coatings used for protecting the metal parts of automobiles in order to determine their resistance to corrosion processes. Paint coatings are used to protect the metal surfaces of automobiles from corrosion in various climatic conditions and under the influence of aggressive factors such as atmospheric conditions, chemical substances on the road, polluted air, and other corrosive environments, making their quality and effectiveness of great significance.

Different methods of testing paint and varnish coatings are considered, such as neutral salt spray test, acetic acid salt spray test (with and without copper acceleration), and cyclic corrosion testing. Attention is also given to parameters such as test duration, temperature regimes, and chemical aggressiveness of the environment to establish the effectiveness of these methods. The analysis of the tests allows determining which methods best meet the requirements for assessing the corrosion resistance of paint coatings. The work also investigates the impact of various factors, such as the type of paint coating, surface preparation, and operating conditions, on the test results. It was determined that the proper selection of test methods and adequate assessment of their effectiveness help in improving the corrosion resistance of the paint coating in various operating conditions.

The work has important practical applications in the automotive industry by enhancing the quality of protection for automotive coatings against corrosion and extending their service life in various operating conditions. The obtained results will help improve the quality and durability of paint coatings, metal structures, and other products against corrosion by choosing the optimal method for testing paint coatings. This scientific work has practical significance for engineers and manufacturers involved in the development and application of corrosion-resistant coatings.

Key words: automobile, corrosion, paint coating, testing methods, corrosion resistance, influence of atmospheric conditions.

Pavlenko Viacheslav – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of Technical operation and service of cars department, e-mail: vp.khadi@gmail.com

Manuylov Volodymyr – Lieutenant-colonel, Head of drivers instructors section, Advanced training center, e-mail: pchelka2501@gmail.com

Kuzhel Volodymyr – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of Automobiles and transport management department, e-mail: kuzhel_v@vntu.edu.ua

Semchenko Serhii – Senior Lecturer of the Department of Automotive Tank, e-mail: ssv4055@ukr.net

Hapula Vitalii – student of Technical operation and service of cars department, e-mail: gapula1310@ukr.net