

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ЗАХИСТУ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ВІД КОРОЗІЇ

¹Вінницький транспортний фаховий коледж;

²Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі проведено комплексний аналіз сучасних методів захисту металевих конструкцій від корозії, з акцентом на їх принцип дії, технічні особливості, переваги та недоліки. Розглянуто як традиційні підходи (лакофарбові системи, гаряче цинкування, катодний захист), так і високотехнологічні рішення (металізація, анодування, нанопокриття). Робота узагальнює актуальні тенденції у виборі ефективних систем антикорозійного захисту з урахуванням умов експлуатації та забезпечення довговічності металевих конструкцій.

Ключові слова: металеві конструкції, корозія, антикорозійний захист, лакофарбові покриття, цинкування, катодний захист, металізація, анодування, нанопокриття.

Abstract

The study presents a comprehensive analysis of modern methods for protecting metal structures from corrosion, focusing on their operating principles, technical features, advantages, and disadvantages. It examines both traditional approaches (paint and coating systems, hot-dip galvanization, cathodic protection) and high-tech solutions (metallization, anodization, nanocoatings). The study summarizes current trends in selecting effective corrosion protection systems, taking into account operating conditions and ensuring the durability of metal structures.

Keywords: metal structures, corrosion, anti-corrosion protection, paint and varnish coatings, galvanizing, cathodic protection, metallization, anodizing, nanocoating.

Вступ

Корозія є одним із ключових факторів, що визначають довговічність та надійність металевих матеріалів у різних галузях промисловості та техніки, зокрема у будівельних конструкціях, машинобудуванні та транспорті. Цей процес, що призводить до руйнування металів внаслідок хімічної або електрохімічної взаємодії з корозійним середовищем, є неминучим. Навіть високолеговані матеріали, такі як нержавіючі сталі, за певних умов експлуатації можуть зазнавати корозійного руйнування, що підкреслює універсальність проблеми [1-3].

Основними чинниками, що впливають на корозійну стійкість металів є: хімічний склад середовища (рН, концентрація агресивних компонентів), вологість, температура, механічні навантаження, а також наявність електрохімічних реакцій, які можуть спричинити локальне розчинення металу [4]. Особливе значення має правильність вибору та взаємодії контактних матеріалів і кріпильних елементів, оскільки гальванічна корозія може суттєво прискорити деградацію конструкцій [5].

Метою дослідження є виявлення та аналіз особливостей сучасних методів захисту металевих конструкцій від корозії, що включає використання передових технологій та матеріалів, з метою забезпечення їх довговічності, надійності та безпеки в різних умовах експлуатації.

Результати дослідження

Сучасні методи захисту металевих конструкцій від корозії включають різноманітні підходи, спрямовані на запобігання або сповільнення процесу руйнування металу під дією навколишнього середовища. Найпоширеніші методи: покриття (фарби, лаки, полімери, металеві покриття), гальванічні методи (катодна та анодна обробка), використання інгібіторів корозії, протекторний захист, а також застосування сплавів, стійких до корозії.

Фізико-механічні та інші властивості сталі залежать від співвідношення різних фаз в її структурі, що визначається кількістю вуглецю. У будівництві застосовують в основному маловуглецеві сталі зі вмістом вуглецю 0,1–0,22 відсотки, і низьколеговані, де вуглецю не більше ніж 0,2 відсотка, а легуючих компонентів до 5-ти відсотків. Як легуючі компоненти до сталі застосовують алюміній, ванадій, вольфрам, кремній, марганець, мідь, молібден, нікель, титан, вуглець, хром та деякі інші. З високолегованих сталей у будівництві поширені високостійкі до корозії хромонікелеві нержавіючі сталі, до складу яких входять 17–20 % хрому, 8–11 % нікелю і 0,1–0,2 % вуглецю.

Металева поверхня з певним характерним для конкретного виду попередньої обробки рельєфом має велику кількість дефектів у вигляді подряпин, тріщин, надрізів, зсувів тощо. Біля таких місць зазвичай і починається розвинення корозійних процесів та руйнування. Речовини, що ініціюють корозію, накопичуються у поглибленнях та впадинах нерівностей поверхні. Розповсюдження цих речовин вглиб металу супроводжується руйнуванням гребінців шорсткості та виникненням нових впадин та виступів. У такий спосіб утворюються нові осередки корозії.

Антикорозійний захист будівельних металоконструкцій передбачається на етапі проектування. Вартість відповідних робіт включається в ціну готового виробу. Будівельні норми і правила передбачають конструктивні способи захисту, суть яких - підібрати підходящий матеріал для обмеження доступу агресивних чинників до металу, а також правильне його нанесення.

Корозія – це процес взаємодії металу з навколишнім середовищем, що спричиняє зміни в його структурі та може негативно вплинути на роботу окремих компонентів або цілої системи. Завдяки сучасним технологіям захисту металу від корозії можна значно збільшити тривалість експлуатації металевих конструкцій і обладнання.

Можна виділити такі методи захисту металевих конструкцій від корозії.

Лакофарбові системи (захисне фарбування):

- Захисне фарбування полягає в нанесенні на металеву поверхню полімерних плівок, які виконують бар'єрну функцію - не допускають проникнення води, кисню, хлоридів, сірководню, тощо. У системах використовуються різні типи матеріалів: ґрунти, проміжні шари, фінішні покриття [7 -11].
- Технологія захисту металевих поверхонь від корозії передбачає їхнє попереднє абразивне очищення, після чого фарбувальні покриття - епоксидні, поліуретанові, алкідні чи хлоркаучукові - наносяться валиком, пульверизатором або методом гарячого розпилення для забезпечення оптимального рівня адгезії та довготривалої експлуатаційної стійкості.
- Переваги даного методу : естетичність (декоративна функція), висока ремонтпридатність, великий вибір за кольорами, фактурами, можливість застосування в польових умовах [12-15].

Недоліки: обмежений термін служби (від 5 до 25 років), чутливість до технології нанесення та потреба у постійному технічному обслуговуванні.

Гаряче цинкування:

- Цинкове покриття створюється шляхом занурення сталевих виробів у розплав цинку (від 530 °C до 560 °C). Цинк утворює захисний шар, що поєднує бар'єрний та електрохімічний захист - при пошкодженні цинк кородує замість сталі.
 - Перед гарячим цинкуванням кріпильні вироби з високою твердістю (≥ 320 HV) необхідно піддати зняттю напруження та очищенню, зокрема з використанням інгібованих кислот або лужної/механічної обробки для мінімізації поглинання водню й уникнення крихкого руйнування. У разі потреби здійснюють відпалювання та флюсування, після чого проводиться цинкування при температурі 455–480 °C, з подальшим центрифугуванням і охолодженням. Для гайок наріз виконується після оцинкування. Додаткове обробляння (наприклад, хромування або фосфатування) застосовується лише за вимогою для покращення антикорозійної стійкості та підготовки до фарбування [6].
 - Переваги методу: термін служби до 50 років (у сільських і міських умовах), повна герметичність навіть у порожнистих конструкціях, не потребує обслуговування.
- Недоліки: не придатне для алюмінію, нержавіючої сталі, висока температура процесу (ризик деформацій), вартість обладнання для масового виробництва.

Катодний захист:

- Суть катодного методу захисту від корозії полягає у перетворенні поверхні металевої

конструкції, яку необхідно захистити, на катод електрохімічної системи. Це досягається шляхом подачі зовнішнього постійного струму або приєднання до неї менш електропозитивного металу (протектора), який виконує роль анода і "жертвує" собою, кородуючи замість захищованого металу. В результаті, струм спрямовується до захищованої конструкції, запобігаючи її розчиненню та ефективно зупиняючи або значно уповільнюючи процеси корозії.

- Переваги: надійність у тривалому використанні (до 50 років), можливість дистанційного контролю, зниження витрат на обслуговування металу.

Недоліки: складність проектування та розрахунків, вартість обладнання, енергозалежність (для імпресованих систем).

Металізація (термічне напилення):

- Суть методу полягає в нанесенні тонкого шару розплавленого або сильно нагрітого матеріалу (найчастіше металу або сплаву) на поверхню металевої конструкції для створення захисного, функціонального або декоративного покриття. Цей процес здійснюється шляхом розплавлення матеріалу в джерелі тепла (наприклад, електрична дуга, плазма, газове полум'я) і подальшого розпилення його дрібних частинок на підготовлену поверхню за допомогою потоку газу (повітря, інертний газ). При зіткненні з поверхнею частинки швидко охолоджуються та тверднуть, утворюючи міцний шар, що захищає основний метал від корозії, зносу або інших агресивних впливів.

- Переваги: можливість обробки великих поверхонь, висока зносостійкість, сумісність з фарбуванням (змішана система).

Недоліки: не повністю герметичне покриття (можливість проникнення вологи), необхідне професійне обладнання, висока енергомідкість.

Анодування (анодне окиснення):

- Суть методу полягає у формуванні на поверхні металевого виробу (найчастіше алюмінію та його сплавів) захисного оксидного шару шляхом електрохімічного окислення. В процесі анодування оброблюваний метал виступає в ролі анода в електролітичній ванні, де під дією електричного струму відбувається контрольоване утворення щільного, пористого або герметизованого оксидного покриття. Цей шар значно підвищує корозійну стійкість, зносостійкість та декоративні властивості металу, слугуючи ефективним бар'єром проти агресивного впливу навколишнього середовища.

- Переваги: можливість обробки великих поверхонь, висока зносостійкість, сумісність з фарбуванням (змішана система).

Недоліки: обмеження по матеріалах (не застосовується до сталі), не ремонтується без повного видалення шару.

Нанопокриття та смарт- матеріали:

- Суть використання нанопокриттів і смарт-матеріалів у боротьбі з корозією полягає у застосуванні передових технологій для створення вискоєфективних та адаптивних захисних бар'єрів. Нанопокриття, завдяки своїй ультратонкій структурі на атомно-молекулярному рівні, забезпечують виняткову адгезію, герметичність та стійкість до агресивних середовищ, тоді як смарт-матеріали можуть самостійно реагувати на зовнішні зміни (наприклад, пошкодження або зміну pH), виділяючи інгібітори корозії або відновлюючи захисний шар, що забезпечує пролонгований та "інтелектуальний" захист металевих конструкцій.

- Переваги: висока адгезія, тонкий шар покриття, забезпечуючи ефективний захист, підвищена твердість та стійкість до зношування, можливість додавання наночастинок з додатковими властивостями, здатність змінювати колір або інші властивості, сигналізуючи про початок корозійного процесу.

Недоліки: висока вартість, складність нанесення, потенціальний вплив на здоров'я та навколишнє середовище.

Висновки

В даній роботі було проаналізовано сучасні методи захисту металевих конструкцій від корозії, серед яких найбільш поширеними є лакофарбові покриття, гаряче цинкування, катодний захист, термічна металізація, анодування та інноваційні нанопокриття. Кожен із методів має свої переваги, сферу

застосування та обмеження, а вибір конкретного способу залежить від агресивності середовища, типу конструкції, техніко - економічних обґрунтувань та нормативних вимог. Комплексний або комбінований підхід із врахуванням сучасних тенденцій - таких як застосування самовідновлювальних чи гідрофобних матеріалів - забезпечує не лише ефективний захист металів, а й суттєве продовження терміну служби конструкцій, зниження витрат на їх обслуговування, підвищення безпеки експлуатації та екологічної стійкості об'єктів у промисловості, будівництві та інфраструктурі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 3830-98. Корозія металів і сплавів. Терміни та визначення основних понять.
2. Захист металу від корозії: ефективні методи та сучасні рішення. URL: <https://kompositstal.com.ua>
3. Корозія металів. URL: <https://dinmark.com.ua/blog/scho-take-korozija-metaliv>
4. ДСТУ 4219-2003. Трубопроводи сталеві магістральні. Загальні вимоги до захисту від корозії.
5. ДСТУ 2367-94. Єдина система захисту від корозії та старіння. Метали, сплави, покриття жаростійкі.
6. ДСТУ ISO 10684. Покриття гарячоцинковані. Технічні вимоги та методи випробування.
7. ДСТУ ISO 12944-6:20XX. Фарби та лаки. Захист від корозії сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами.
8. Ковальський В. П. Використання нанофарби в будівництві [Текст] / В. П. Ковальський, С. В. Риндюк, С. Ю. Зузяк // Матеріали III міжнародної науково-практичної конференції "Прикладні науково-технічні дослідження", 3-5 квітня 2019 р. – Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2019. – С. 182.
9. Theoretical aspects of modern engineering: collective monograph / Hnes L., – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2020. 356 p.
10. Kalafat, K., L. Vakhitova, and V. Drizhd. "Technical research and development." International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 616 p. (2021)
11. Theoretical aspects of modern engineering: collective monograph / Hnes L., – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2020. 356 p.
12. Zhemchuzhkina, T. V., Nosova, T. V., Kostin, D. O., Prisyach, O. Y., Palii, I. K., Kovalskiy, V. P., ... & Kozbakova, A. (2021, November). Electromyographic complex with goniometric tracking of the degree of muscle. In Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2021 (Vol. 12040, pp. 46-53). SPIE.
13. Khrebtii, H. et al. "Innovative ways of improving medicine, psychology and biology: collective monograph." Boston: Primedia eLaunch. (2023): 305.
14. Korniylo, I., O. Gnyp, and M. Lemeshev. "Scientific foundations in research in Engineering." (2022).
15. Постолатій М.О. Використання ЛСТК для реконструкції мансардного поверху. Переваги та недоліки використання ЛСТК у будівництві [Текст] / М.О. Постолатій, В. П. Ковальський // Енергоефективність в галузях економіки України. Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції 12-14 листопада : збірник матеріалів. – Вінниця: ВНТУ, 2019. – С. 215 – 217.

Тарнавський Володимир Вікторович – завідувач відділення спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист, Вінницький транспортний фаховий коледж. Email: tarnavsky@vintk.ukr.education

Кацага Марія Михайлівна — студентка групи БМ-23б, факультет будівництва та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: mashakacaga2005@gmail.com

Ковальський Віктор Павлович — канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, email: kovalskiy@vntu.edu.ua

Tarnavskiy Volodymyr - Head of the Department of the specialty 192 Construction and Civil Engineering, specialist of the highest category, teacher-methodologist, Vinnytsia Transport Professional College. Email: tarnavsky@vintk.ukr.education

Kacaga Mariia – student of the BM-23b group, Faculty of Construction and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa, e-mail: mashakacaga2005@gmail.com

Kovalsky Viktor – PhD, Associate Professor of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, e-mail: kovalskiy@vntu.edu.ua