

УДК 621.79

**ХАРАКТЕРИСТИКА СУЧАСНИХ МЕТОДІВ НАНЕСЕННЯ ЗАХИСНИХ  
ЦИНКОВИХ ПОКРИТТІВ****Бурделюк Л. І., Крюкова О. А.**

Київський національний університет технологій та дизайну

**Мета.** Дати характеристики сучасних методів нанесення захисних цинкових покриттів. Дослідити залежність якості утворених покриттів від методу нанесення та умов проведення процесу.

**Методика.** Порівняльний аналіз літературних даних щодо технологічних регламентів процесу цинкування та споживчих характеристик утворених осадів.

**Результати.** Встановлено, що розглянуті способи цинкування не є універсальними для всіх умов експлуатації. Всі ці способи в якійсь мірі можуть доповнювати один одного, що дозволить вирішувати різні технічні завдання, які пов'язані із захистом деталей та виробів від корозії, а також наданням їх поверхні необхідних функціональних властивостей.

**Наукова новизна.** Показано, що доцільно поєднувати кілька типів покриттів, що дозволить значно розширити спектр застосування виробів.

**Практична значимість.** Досліджені сучасні методи нанесення захисних цинкових покриттів, особливості кожного методу, виявлені переваги та недоліки, запропоновані практичні рекомендації щодо застосування.

**Ключові слова:** захисні покриття, корозія, цинкування

Процес руйнування металів та їх захист від корозії є однією з найактуальніших та найважливіших науково-технічних та економічних проблем. У багатьох областях промисловості саме технічний прогрес гальмується через невирішеність, а часом і не вирішуваність цілої низки корозійних завдань. Особливо актуальними вони стають саме сьогодні, коли використання металів та їх сплавів в різних галузях виробництва досягло пікового історичного показника.

Найбільш розповсюдженим методом захисту металу від корозії є цинкування. Цинкування – це процес нанесення шару цинку або сплаву цинку на поверхню металевих виробів або процес насичення цинком поверхневих шарів для запобігання корозії. Такі антикорозійні покриття з використанням цинку надають ряд очевидних переваг: стійкість до відшаровування, збільшення терміну служби металу аж до 60 років; покриття всього виробу рівномірним шаром [1].

Гальванічне цинкування застосовується у нафтовидобувній і нафтопереробній промисловості, будівництві, енергетиці, сільському господарстві, в газодобувній промисловості, автомобілебудуванні.

### *Постановка завдання*

Метод захисту від корозії заснований на тому, що цинк, який входить до складу покриття вступає в хімічні реакції корозії першим, при цьому не піддаючи впливу сам метал. Металічний цинк здатний зберегти залізо від іржі, яка буде з'являється в ході експлуатації металевих виробів. Причому, захист це не чисто механічний характер – разом з цим залізо і цинк утворюють гальванічну пару, а в результаті взаємодії цинку з киснем забезпечується ще більший захист – на поверхні цинку утворюється поверхнева кора.

Сучасні технології цинкування передбачають кілька його видів. Кожен з них відрізняється часом проведення операції, хімічними реагентами, що застосовуються, обладнанням і товщиною утвореної цинкової плівки. Від вибору методу нанесення покриття будуть залежати вимоги до захисту, умови нанесення, експлуатаційні чинники та економічні аспекти.

З огляду на вищевказане, було поставлено за мету проаналізувати сучасні методи нанесення захисних цинкових покриттів, порівняти характеристики утворених захисних плівок, встановити переваги на недоліки цих методів, дати рекомендації щодо застосування певних методів для виробів, що використовуються в різних галузях.

### *Результати досліджень*

Суттєвою перевагою цинку є і те, що його навіть самий тонкий його шар здатний захищати поверхню металу від корозії. Товщина і рівномірність покриття, безумовно, мають велике значення для ефективного захисту поверхні виробу. Гальванічне цинкування дозволяє одержувати товщини покриття в межах 5-40 мікрометрів. В умовах сьогоденішнього широкомасштабного промислового виробництва різних деталей товщина захисного шару може бути доведена, навіть, до 500 мікрометрів (1/2 міліметра).

Захисні особливості цинку можна посилити за допомогою спеціальних методик, особливості яких будуть розглянуті нижче.

Термодифузійне цинкування – це покриття виробів цинком, яке здійснюється з парової або газової фази за високих температур (375-850°C). Застосовується цей спосіб для покриття труб, частин конструкцій, що будуть працювати у вологій атмосфері, в гасі, бензині, газових середовищах, та середовищах, що містять сірку. Товщина утвореного дифузійного шару істотно залежить від температури, часу процесу цинкування і становить від 20 до 100 мкм. Термін служби таких виробів складає 10-15 років [1]. Важливою

особливістю термодифузійного методу є можливість одержання рівномірного і суцільного по всій товщині покриття на виробках будь-якої форми складності.

Термодифузійний метод цинкування може бути застосований для покриття регенераторів при виробництві бензину, печей, теплообмінників, апаратури для виробництва аміаку, метилового спирту та інших органічних продуктів. Апаратура, яка оцинкована термодифузійним методом, є надійною, стійкою в відновлювальному газовому середовищі, навіть в присутності сірковмісних речовин при температурі до 550°C.

До недоліків термодифузійного методу цинкування можна віднести: громіздкість і складність апаратури, яка використовується для цієї мети, значна тривалість процесу, невисока продуктивність та відсутність декоративних властивостей у цинкового покриття (відсутність блиску, сірі тони).

Гаряче цинкування. Це метод покриття металу шаром цинку проводиться шляхом занурення виробів у ванну з розплавленим цинком при температурі 460°C. В результаті такого антикорозійного захисту строк служби виробу значно збільшується (до 50 років). Під час процесу цинкування між цинком і залізом утворюється стійка сполука, яка навіть при появі подряпин або незначних сколів на поверхні оцинкованого виробу буде перешкоджати впливу іржі, чого не спостерігається при інших способах обробки, наприклад при фарбуванні або нанесенні пластика. Невисока вартість цинку дає цьому методу ще одну перевагу перед іншими методами антикорозійної обробки. Крім того, даний спосіб дозволяє тривалий час обходитись без ремонту і збільшує термін служби металевих виробів. Гарячому цинкуванню піддають вироби будь-якої форми. Залежно від середовища, в якій буде експлуатуватись конструкція, визначається товщина цинку, що наноситься.

Захисний шар цинку утворюється безпосередньо на виробі, яке занурюється в масу розплавленого цинку. Потім відбувається хімічна реакція між цинком і основним металом. В результаті такого процесу вся поверхня конструкції вкривається захисним шаром.

Основною перевагою даного методу в порівнянні з електролітичним, полягає в більш високій корозійній стійкості покриття, тому що гарячий спосіб дозволяє отримати захисні покриття значної товщини (40-200 мкм). Термін служби такого покриття від 50 років. Також до переваг цього методу можна віднести ще й наступні: простота реалізації; висока корозійна стійкість покритого виробу; дешевизна гарячого цинкування; висока продуктивність; простота обслуговування установок; здатність

покриття захищати основний метал навіть після порушення цілісності покриття або механічного пошкодження, а також висока електро- та теплопровідність.

Недоліки методу гарячого цинкування:

- неможливість точного регулювання товщини цього покриття. Цей спосіб не може бути застосований для покриттів виробів з досить точними допусками, а також в тих випадках, коли температура може змінити властивості кріплення;
- в порівнянні з термодифузійним оцинкуванням, існує можливість наводжування, в наслідок якого основний матеріал стає крихким [5].
- деталі, які підлягають гарячому цинкуванню, не повинні мати закритих порожнин, кишень та повітряних мішків.

Область застосування виробів після гарячого цинкування досить обширна. Перш за все це енергетика, зв'язок, дорожнє, промислове та цивільне будівництво, нафтовидобуток і нафтопереробка, комунальне господарство та міська інфраструктура [7].

Холодне цинкування – нанесення на підготовлену поверхню спеціального цинконаповненого складу (цинконаповнені фарби, ґрунти та композиції). Вміст цинкового високодисперсного порошку в складі суміші для холодного цинкування може досягати 95% [4]. В результаті застосування таких складів на виробах утворюється покриття з антикорозійними характеристиками, які майже нічим не поступаються за властивостями покриттям, які одержані гарячим цинкуванням.

Суть методу полягає в нанесенні на поверхню металу спеціальних ґрунтівок або барвників, до складу яких входить до 98% цинкової пудри. В цьому випадку металічний цинк так само, як і при гарячому цинкуванні, стає анодом в гальванічній парі із залізом і забезпечує його катодний захист. Наносити таке покриття прийнято розпилювачем. Товщина покриття визначається кількістю шарів нанесеної композиції і складає: 40 мкм – 1 шар, 120 мкм – 3 шари. Строк експлуатації такого покриття 9-13 років [4].

Нанесене за всіма правилами таке покриття дає споживачеві наступні переваги: гарний зовнішній вигляд; надійний катодний захист від корозії; довговічність і стійкість. Можуть бути оброблені безпосередньо як самі елементи, так і вся конструкція в зборі. В цьому випадку захищаються з'єднання елементів, зварні шви та стики.

До недоліків цинкових покриттів слід віднести:

- відсутність металічного блиску, що може бути легко компенсовано сумісністю практично з усіма видами лакофарбових матеріалів;

- незначна довговічність покриття;
- утворене покриття чутливе до механічних впливів.

Методом холодного цинкування добре зміцнювати різні металічні конструкції і труби. Добре зарекомендувало себе холодне цинкування при ремонті уже встановлених магістральних трубопроводів.

Газотермічне напилення цинку (цинкова металізація) – це спеціальний технічний процес, який дозволяє наносити на металічні конструкції надійні захисні антикорозійні шари з цинку, алюмінію або інших стійких металів, які не піддаються руйнуванню. Газотермічне напилення може проводитися такими методами, як газополум'яне напилювання, плазмове напилення та електродугова металізація [8].

Процес полягає в тому, що поверхня, яка покривається і захисний шар, який наноситься відіграють роль катода і анода, які обмінюються між собою зарядженими частинками, що і забезпечує максимальне зчеплення захисного шару і повну його непроникність для кисню і вологи. Шари нанесені таким способом мають самовідновлюючу властивість після механічного пошкодження покриття. При металізації поверхню деталі попередньо не нагрівають і при напиленні температура не піднімається вище 180°C [8]. При газотермічному напиленні можуть бути одержані покриття з чистого цинку (> 99,9%) тому, що не відбувається хімічної реакції між матеріалом деталі і покриттям. Плівка утвореного цинкового покриття знаходиться у межах 60-300 мкм [3].

В силу своєї природи газотермічні покриття є пористими, тому для зниження швидкості їх електрохімічного розчинення потрібне просочування лакофарбовими сполуками. Такі комбіновані покриття можуть мати довготривалу захисну здатність, що досягає 30 і більше років. Поряд з цим, вони дуже чутливі до різних механічних впливів і вимагають відновлення лакофарбових покриттів через кожні 5-7 років.

Гальванічне або електролітичне цинкування – найбільш досконалий та раціональний спосіб цинкування, що в даний час набув широкого поширення в промисловості для захисту різноманітних сталевих виробів від корозії. Електролітичне осадження металічного цинку з водних розчинів його солей, не дивлячись на високий потенціал цього металу (- 0,70 В), можливий завдяки тому, що він майже не виділяється на катоді [6].

При гальванічному цинкуванні сталі сплав з залізом основи і цинком не утворюється. Отже, таке цинкове покриття не містить домішок основного металу.

Ступінь чистоти цинкового покриття тим вище, чим чистіше вихідні матеріали, і перш за все матеріал анодів.

Електролітичний спосіб дозволяє точно регулювати кількість металу, що наноситься на поверхню, а також отримувати рівномірні покриття на виробках нескладної конфігурації. Разом з цим витрата цинку на покриття є значно меншою, ніж при інших способах. Суттєвим є економія металу при гальванічному способі нанесення, що у порівнянні з гарячим методом становить 50% і більше [2].

В наш час електролітичне цинкування набуло широкого поширення і застосовується майже у всіх галузях промисловості для захисту деталей та конструкцій від корозії, а також таких виробів як шайби, болти, гайки, кріпильні та конструкційні елементи. Термін служби такого покриття до 40 років. Серед переваг цього поширеного методу цинкування необхідно відмітити високу продуктивність і рівномірність покриття, а також блискучий, декоративний характер поверхні з незмінними розмірами.

Недоліком таких покриттів є низька адгезія. Такому виду цинкуванню доцільно піддавати деталі зі сталей різних марок, які володіють міцністю на розтяг аж до 1500 Н/мм. Не рекомендується проводити електролітичне цинкування в наступних випадках: для деталей та конструкцій, що працюють при температурі вище 250°C; для високо навантажених пружин; для виробів, що експлуатуються в прісній гарячій воді за температури 60°C і вище; в деяких інших випадках, які пов'язані з особливістю умов експлуатації виробів [6].

### ***Висновки***

1. В роботі проаналізовані сучасні методи нанесення захисних цинкових покриттів та встановлені переваги і недоліки кожного методу.
2. Встановлено, що жоден з перерахованих способів цинкування не є універсальним для всіх умов експлуатації виробів. Всі ці способи в якійсь мірі доповнюють один одного і дозволяють вирішувати різні технічні завдання, які пов'язані із захистом виробів та конструкцій від корозії та наданням їх поверхні необхідних захисних властивостей.
3. На сьогоднішній день доцільно в одному виробі поєднувати кілька типів покриттів.

## Список використаних джерел

1. Все о коррозии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.okorrozii.com/holodnoe-zinkovanie.html> (дата обращения: 9.11.2015).
2. Елинек Т. В. Успехи гальванотехники. Обзор мировой литературы за 2003-2004 гг. // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2005. – Т. 13, № 2. – С. 16-20.
3. Кудрявцев В. Н. Покрытия и обработка поверхности. 7-я международная выставка и конференция: тезисы докл. (Москва, 17-19 марта 2010 г.). – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2010. – С. 108.
4. Лобанов С. А. Практические советы гальванику. – СПб.: Питер, Машиностроение, 2001. – С. 257.
5. Михайлов А. А. Обработка деталей с гальваническими покрытиями. – М.: Машиностроение, 2002. – С. 144.
6. Окулов В. В. Цинкование. Техника и технология. / Под редакцией проф. В. Н. Кудрявцева. – М.: Глобус, 2008. – С. 252.
7. Проскуркин Е. В., Горбунов Н. С. Диффузионные цинковые покрытия. – М.: Металлургия, 1972. – С. 248.
8. Толмачев И. Д. Современные технологии получения газотермических покрытий [Электронный ресурс] // ООО «Техносервис ПВП»: сайт. – URL: <http://tservi.com/sovremennye-tehnologii-polucheniya-gazotermicheskikh-pokrytiy> (дата обращения: 9.11.2015).

**Burdelyuk Lilya**

[lburdelyuk@gmail.com](mailto:lburdelyuk@gmail.com)

Kyiv National University of  
Technologies and Design

## References

1. *Vse o korrozii* [All about corrosion]. Retrieved from <http://www.okorrozii.com/holodnoe-zinkovanie.html>
2. Elinek, T.V. (2005). *Uspehi galvanotekhniki. Galvanotekhnika i obrabotka poverhnosti*. [Advances in electroplating]. Moscow [in Russian].
3. Kudryavtsev, V.N. (2010). *Pokryitiya i obrabotka poverhnosti*. [Coatings and surface treatments]. Moscow [in Russian].
4. Lobanov, S.A. (2001). *Prakticheskie sovetyi galvaniku*. [Practical advice for electroplating]. Saint Petersburg [in Russian].
5. Mikhailov, A.A. (2002). *Obrabotka detaley s galvanicheskimi pokryitiyami*. [Processing of parts with electroplated coatings]. Moscow [in Russian].
6. Okulov, V.V. (2008). *Tsinkovanie. Tehnika i tehnologiya*. [Zinc plating. Technique and technology]. Moscow [in Russian].
7. Proskurkin, E.V. (1972). *Diffuzionnyie tsinkovyye pokryitiya*. [Diffusion zinc coatings]. Moscow [in Russian].
8. Tolmachev, I.D. *Sovremennyye tehnologii polucheniya gazotermicheskikh pokryitiy* [Modern technologies for obtaining thermal spray coatings] Retrieved from <http://tservi.com/sovremennye-tehnologii-polucheniya-gazotermicheskikh-pokrytiy>

**Kryukova Olena**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8638-3580>

[lena.krukova@gmail.com](mailto:lena.krukova@gmail.com)

Kyiv National University of  
Technologies and Design

**Характеристика современных методов нанесения защитных цинковых покрытий****Бурделюк Л. И., Крюкова Е. А.***Киевский национальный университет технологий и дизайна*

**Цель.** Дать характеристику современных методов нанесения защитных цинковых покрытий. Исследовать зависимость качества образованных покрытий от метода нанесения и условий проведения процесса.

**Методика.** Сравнительный анализ литературных данных по технологическим регламентам процесса цинкования и потребительским характеристикам образованных осадков.

**Результаты.** Установлено, что рассмотренные способы цинкования не являются универсальными для всех условий эксплуатации. Все они в какой-то степени взаимно дополняют друг друга и позволяют решать разнообразные технические задачи, связанные с защитой изделий от коррозии и приданием их поверхности необходимых функциональных свойств.

**Научная новизна.** Показано, что целесообразно сочетать несколько типов покрытий, что позволит значительно расширить спектр применения изделий.

**Практическая значимость.** Исследованы современные методы нанесения защитных цинковых покрытий, особенности каждого метода, выявлены преимущества и недостатки, предложены практические рекомендации по применению.

**Ключевые слова:** покрытия, коррозия, цинкование

**Characteristics of modern methods of applying protective zinc coatings****Burdelyuk L. I., Kryukova O. A.***Kyiv National University of Technology and Design*

**Purpose.** Characterize modern methods of applying protective zinc coatings. Investigate the dependence of the quality of the formed coatings on the deposition method and process conditions.

**Methodology.** Comparative analysis of literature data on technological regulations of galvanizing process and consumer characteristics of the formed sediments.

**Findings.** It has been established that the considered methods of galvanizing are not universal for all operating conditions. All of them, to some extent, mutually complement each other and allow solving various technical problems related to the protection of products from corrosion and giving their surface the necessary functional properties.

**Originality.** It is shown that it is advisable to combine several types of coatings, which will significantly expand the range of applications.

**Practical value.** The modern methods of applying protective zinc coatings, the features of each method are investigated, the advantages and disadvantages are revealed, and practical recommendations for use are offered.

**Keywords:** protective coatings, corrosion, galvanizing