

УДК 669.587

## ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ЦИНКУВАННЯ СТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ

Шевченко А. А., Крюкова О. А.

Київський національний університет технологій та дизайну

**Мета.** Провести літературний огляд вітчизняних та закордонних джерел інформації за тематикою присвяченою процесу цинкування сталевих деталей.

**Методика.** Аналіз відкритих літературних джерел методом порівняльної характеристики.

**Результати.** Встановлено, що для покриття цинком сучасні електрохімічні виробництва застосовують в переважній більшості гарячий та електролітичний способи цинкування.

**Наукова новизна.** Проаналізовано сучасний ринок надання гальванічних послуг на прикладі цинкування сталевих деталей.

**Практична значимість.** Узагальнено напрацювання вчених-практиків та їх рекомендацій щодо способів нанесення цинкових покриттів, що дозволило краще зрозуміти розглянуту проблему.

**Ключові слова:** цинкування, захисні покриття, електроліти, гальваніка

Захист металу від виникнення і розвитку корозії є дуже актуальним питанням, вирішення якого дозволяє значно продовжити термін служби металевих виробів, а також зробити їх експлуатацію більш надійною. Найпоширенішим способом, що дозволяє забезпечити такий захист, є цинкування, що має на увазі нанесення на поверхню металу покриття, в хімічному складі якого може міститися до 95% цинку. Цинкування металу можна виконувати за різними технологіями, кожна з яких застосовується в певних ситуаціях і має як переваги, так і недоліки [1].

Цинкові покриття широко застосовуються для захисту від корозії деталей машин, кріпильних деталей, сталевих листів, дроту, деталей широкого вжитку та інших, що працюють у зовнішній атмосфері різних кліматичних районів, в атмосфері, забрудненою SO<sub>2</sub>, а також у закритих приміщеннях з помірною вологістю та у приміщеннях, забруднених газами та продуктами згоряння. Крім того, цинкові покриття застосовуються для захисту від корозії водопровідних труб, резервуарів, предметів домашнього вжитку (з чорного металу), що мають контакт з прісною водою при температурі не вище 60-70°C, а також для захисту виробів з чорного металу від бензину і масла (бензобаки, бензино- та мастилопроводи) та ін. Блиск цинкових покриттів в умовах експлуатації виробів (особливо в зовнішній атмосфері) зберігається недовго; поверхня їх швидко тьмяніє і покривається плямами брудно-сірого кольору. Тому

блискучі цинкові покриття без додаткової обробки їх поверхні для декоративних цілей непридатні і з точки зору надійності захисту від корозії не відрізняються від матових. З метою збереження декоративного вигляду і підвищення корозійної стійкості покриття з блискучим цинком обробляють спеціальними пасивуючі розчинами, які містять в основному сполуки хрому [2].

### ***Постановка завдання***

Цинкове покриття по відношенню до сталі є анодним покриттям до температури +70°C. При більш високій температурі електродний потенціал цинку зміщується в позитивну сторону і цинкове покриття по відношенню до сталі стає вже катодним покриттям.

Якість гальванічних покриттів багато в чому визначається типом електроліту і режимом осадження. Для цинкування використовуються електроліти як на основі простих гідратованих іонів цинку, так і комплексних іонів.

До електролітів на основі простих гідратованих іонів цинку відносять сульфатні, борфторидні, хлоридні електроліти. Сульфатні кислі електроліти прості за складом, стабільні в роботі, не вимагають спеціальної вентиляції і підігрівання. Вихід за струмом в цих електролітах становить 96-98%. Осади мають порівняно грубокристалічну структуру, їх розсіювальна здатність низка, тому в сульфатних електролітах покривають лише деталі простої форми.

З борфторидних електролітів цинк осаджується при високих густинах струму. З них отримують задовільні покриття на чавуні. Розсіювальна здатність борфторидного електроліту низька, і майже така ж, як у сульфатного електроліту.

Хлоридний електроліт використовують для покриття деталей з середнім рельєфом. Розсіювальна здатність цього електроліту вище, ніж у сульфатного. Покриття в цьому електроліті отримують напівблискучими.

Серед комплексних електролітів цинкування найбільш поширені ціаністі, пірофосфатні, цинкатні.

В ціаністих електролітах отримують дрібнокристалічні, рівномірні по товщині плівки цинку. Їх використання потребує індивідуальної вентиляції, спеціальних заходів щодо скиду та знешкодження стічних вод, в яких промиваються деталі після покриття цинком, і особливої обережності в експлуатації. Розсіювальна здатність ціаністих електролітів висока, вона залежить від складу електроліту та режиму електролізу. При невисокій концентрації ціаністого натрію розсіювальна здатність ціаністого

електроліту більше, ніж у кислих електролітів. Вона різко зростає з ростом концентрації вільного ціаністого натрію. З ростом концентрації цинку і підвищенням температури розсіювальна здатність зменшується.

Аміакатні електроліти цинкування по величині поляризації та поляризуємості при виділенні цинку ненабагато перевищують кислі електроліти, але поступаються лужним і ціаністим електролітам. Тому їх рекомендують для осадження цинкових покриттів на деталі 1-ї і 2-ї груп складності.

Полілігандний електроліт цинкування є альтернативою ціаністому електроліту. Покриття блискуче, дрібнокристалічне. Електроліт стабільний в експлуатації, нетоксичний, але є труднощі з придбанням пірофосфату калію, який на Україні не виготовляється.

У лужному електроліті цинкування без добавок ПАР утворюються губчаті покриття, навіть при густині струму набагато меншій граничної густини. При введенні в електроліт невеликої кількості солей Sn, Pb, Sb, As покриття стають компактними, але в вузькому інтервалі густини струму [3].

Отже, цілком очевидним є потреба в якісних цинкових покриттях. У зв'язку з цим було поставлено за мету проаналізувати сучасний ринок надання електрохімічних послуг та визначити, який метод нанесення цинкових покриттів є найбільш актуальним на даний час серед виробників гальванічних покриттів.

### ***Результати досліджень***

Вибір методу, який буде використовуватися для цинкування деталей і конструкцій, виготовлених зі сталі, залежить від умов їх експлуатації, а також від характеристик, яким повинен відповідати захисний шар. Незалежно від використовуваної технології цинкування необхідно заздалегідь визначитися з товщиною формованого захисного шару, яка залежить від таких параметрів технологічного процесу, як час впливу на метал робочого середовища, а також від температури виконання обробки.

Для покриття цинком застосовують способи занурення виробів у розплавлений цинк (гарячий спосіб цинкування), цементації (дифузійний метод), металізації розпиленням розплавленого металу з пульверизатора, контактний і електролітичний. Найбільш поширені в промисловості гарячий і електролітичний способи цинкування. Гарячий спосіб полягає в зануренні попередньо очищених від жирових і окисних забруднень виробів з чорних металів у ванну з маловуглецевої сталі з розплавленим

металом (450°C) на час від декількох секунд до 1 хв. Перед зануренням в розплав цинку вироби проходять спочатку через шар розплавленого флюсу, який знаходиться на поверхні дзеркала ванни і складається з суміші хлористого цинку і хлористого амонію. Флюсування можна здійснювати і в окремій ванні, що містить концентрований 40-50%-ний розчин хлористого цинку, яким змочують (зануренням у ванну) поверхню виробів з наступним просушуванням в печі при 150-200°C протягом 1-1,5 хв. Флюсування в обох випадках сприяє видаленню з поверхні вологи залишків травильного шламу і попереджає окислення поверхні у момент занурення виробів у розплавлений цинк. Зчеплення покриття при гарячому способі відбувається за рахунок змочування розплавленим цинком, що створює з поверхнею заліза крихку інтерметалічну сполуку залізо-цинк ( $\text{FeZn}_7$  і  $\text{FeZn}_3$ ). Відносна товщина цього шару і товщина всього покриття (верхній шар складається переважно з чистого цинку) коливаються в дуже великих межах, що залежить від тривалості перебування виробів у ванні, температури, форми і характеру обробки виробів. Точне регулювання товщини покриття при гарячому способі неможливо. Внаслідок нерівномірності покриття, утворення потовщень і впливів на окремих частинах поверхні гарячий спосіб не застосовується для цинкування виробів з вузькими отворами (сітка) і різьбленням. Не можна також цинкувати гарячим способом вироби, у яких під впливом високої температури змінюються механічні властивості (вироби зі спеціальних сортів сталі). З іншого боку, для таких виробів як відра, тази, що мають внутрішні заковчені шви, гарячий спосіб є найбільш доцільним. У цьому випадку розплавлений цинк, заповнюючи отвори і канали швів, створює герметичність посуду. Промислове застосування гарячий спосіб отримав головним чином для цинкування посуду, листів, дроту, труб і залізних виробів.

Дифузійний спосіб цинкування полягає в тому, що сталеві вироби, попередньо очищені від жирових і окисних забруднень, стикаються з найдрібнішими частинками металевого цинку (цинковий порошок) або піддаються дії парів цинку без контакту з металом при 400-500°C. Цинк дифундує в поверхневі шари сталі, утворюючи з залізом хімічні сполуки або тверді розчини. Процес здійснюється в відновлювальній водневій або аміачній атмосфері. Розроблено вакуумний дифузійний спосіб цинкування, який дозволяє отримувати товсте цинкове покриття за короткий час при температурі близько 300°C. Важливою особливістю дифузійного методу є можливість отримання суцільного і рівномірного по товщині покриття на виробах будь-якої складної форми.

Дифузійний метод цинкування застосовують для покриття регенераторів у виробництві бензину, теплообмінників, печей, апаратури для виробництва синтетичного аміаку, метанолу та інших органічних продуктів. Апаратура, оцинкована дифузійним методом, є стійкою в відновлювальній газовому середовищі в присутності сірковмісних речовин (наприклад  $H_2S$ ) при температурі до  $550^{\circ}C$ . Недоліками дифузійного методу цинкування є громіздкість і складність апаратури, що застосовується для цієї мети, велика тривалість процесу [4].

Покриття методом пульверизації, або розпилення цинку полягає в розбризкуванні тонкого струменя розплавленого металу по поверхні виробу під дією стисненого повітря. За допомогою цього методу можна покривати вироби з будь-якого матеріалу, так як частки металу розпорошуються та осідають на поверхні виробів достатньо охолодженими. Зчеплення покриття забезпечується тим, що частинки, вдаряючись об поверхню на великій швидкості (100-150 м/с), деформуються, злипаються і проникають в пори поверхні і в проміжки між іншими частками. Структура покриттів має вигляд окремих пластинчастих нашарувань, механічно пов'язаних з поверхнею. Одним з важливих умов міцного зчеплення покриття з основою є достатня шорсткість поверхні, що покривається. Міцність зчеплення також значно зростає при попередньому нагріванні поверхні, що покривається. Цим методом можна цинкував великі споруди різної форми (сталеві конструкції, мости, шлюзові ворота, баки, цистерни, радіощогли і т.п.) і неметалеві вироби, а також проводити ремонтне або часткове покриття без розбирання споруди. До переваг методу слід віднести також можливість регулювання товщини шару цинку і велику швидкість нанесення покриття. Недоліками методу розпилення є мала щільність, пористість і підвищена крихкість покриття. Крім того, витрата цинку значно перевищує кількість металу, що наноситься на поверхню виробів, внаслідок його втрат при розпилюванні, що досягають 35% і більше. Для підвищення щільності та покращення антикорозійних властивостей покриття, одержуваного методом розпилення, застосовують іноді наступну механічну (шліфування) або хімічну обробку. Остання заснована на заповненні пор інертними речовинами при просочення ними шару або продуктами корозії цинку, що утворюються всередині пор в покритті. Ущільнення шару досягається також утворенням карбонатів і гідроокису цинку при зануренні оцинкованих виробів у гарячу воду.

Метод цинкування без зовнішнього джерела струму, так званий контактний спосіб, полягає в тому, що очищені від забруднень вироби занурюють у розчин цинкової

солі і приводять їх в зіткнення з металами, які мають потенціал більш негативний, ніж потенціал металу, що покривається. При цьому метал переходить в розчин, витісняючи цинк на поверхню виробу, що покривається. Для цинкування сталі як контактного металу застосовують звичайно алюміній і проводять процес у лужному розчині гарячої цинкової солі протягом декількох годин. Цим способом можна одержувати покриття невеликої товщини, тому контактний спосіб застосовується лише для покриття дрібних виробів (цвяхи тощо), які завантажують у розчин в алюмінієвих (контактний метал) сітчастих кошиках. Склад розчину електроліту: 10 г/л  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ , 3 г/л KCN і 15 г/л NaOH; температура розчину 80-90°C.

Електролітичний спосіб – найбільш раціональний і досконалий спосіб цинкування, що набув широкого поширення в промисловості для захисту сталевих виробів від корозії. Електролітичне осадження цинку з водних розчинів його солей, незважаючи на високий потенціал цього металу (-0,70 В), досягається завдяки тому, що водень має на цинку велике перенапруження і за певних умов електролізу майже не виділяється на катоді.

При електролітичному цинкуванні сталі сплав між залізом і цинком не утворюється. Тому цинкове покриття не містить домішок основного металу. Забруднення його іншими металами (залізом, свинцем) досить незначні, їх кількість не перевищує сотих часток відсотка. Ступінь чистоти електролітичного цинкового покриття тим вище, чим чистіше вихідні матеріали, застосовувані для електролізу, і перш за все матеріал анодів. Отримане при нормальних умовах електролітичне цинкове покриття відрізняється значно меншою крихкістю, ніж покриття цинком, що наноситься іншими способами; воно володіє більшою пластичністю і хорошим щепленням з основним металом [5].

Електролітичний спосіб дозволяє точно регулювати кількість цинку, що наноситься на поверхню і отримувати на виробках нескладної конфігурації досить рівномірні покриття. У зв'язку з цим витрата цинку на покриття значно менше, ніж при інших способах. Економія металу при електролітичному способі в порівнянні з гарячим становить 50% і більше.

### ***Висновки***

1. В роботі проведено порівняльний аналіз основних методів цинкування, які набули найбільш широкого застосування у сучасній електрохімічній промисловості.

2. В результаті порівняння встановлено, що товщина цинкового покриття, необхідна для захисту виробів від корозії, залежить від матеріалу і способу обробки виробів, що покриваються, а також призначення, умов служби, зберігання виробів і коливається в досить широких межах від 0,005 до 0,05 мм.
3. Встановлено, що при використанні сталевих деталей і конструкцій, на поверхню яких нанесено шар цинкового покриття, слід мати на увазі, що вони не повинні зазнавати значних механічних впливів, так як захисне покриття з даного металу відрізняється високою крихкістю і може легко зруйнуватися.

**Список використаних джерел**

1. Михайлов Б. Н. Защита металлов от коррозии / Б. Н. Михайлов, А. Н. Баранов // Иркутск: ИрГТУ. – 2007.
2. Виноградов С. С. Экологически безопасное гальваническое производство / С. С. Виноградов // М. – 2002.
3. Мельников П. С. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении / П. С. Мельников – М.: Машиностроение, 1979. – 296 с.
4. Колесник А. И. Учебно-методическое пособие к выполнению курсовой работы: «Технико-экономическое обоснование нового производства» / А. И. Колесник, Т. М. Зеленцова. – 2003.
5. Михайлов Б. Н. Эколого-технологические аспекты технической электрохимии / Б. Н. Михайлов // Иркутск: ИрГТУ. – 2010.

**References**

1. Mikhailov, B.N. (2007). *Zaschita metalov ot korozii* [Protection of metals against corrosion]. Irkutsk: IrGTU. [in Russian].
2. Vinogradov, S.S. (2002). *Ekologicheskii bezopasnoe galvanicheskoe proizvodstvo* [Ecologically safe galvanic production]. Moscow [in Russian].
3. Melnikov, P.S. (1979). *Spravochnik po galvanopokrytiyam v mashinostroenii* [Guide to electroplating in mechanical engineering]. Moscow: Mashinostroenie. [in Russian].
4. Kolesnik, A.I. (2003). *Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie novogo proizvodstva* [Feasibility study of new production]. [in Russian].
5. Mikhailov, B.N. (2010). *Ekologo-tekhnologicheskie aspekty tekhnicheskoi elektrokhimii* [Ecological and technological aspects of technical electrochemistry]. Irkutsk: IrGTU [in Russian].

**Shevchenko Alina**[alina.shevchenko1996@bk.ru](mailto:alina.shevchenko1996@bk.ru)Kyiv National University of  
Technologies and Design**Kryukova Olena**ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8638-3580>[lena.krukova@gmail.com](mailto:lana.krukova@gmail.com)Kyiv National University of  
Technologies and Design**Особенности процесса цинкования стальных деталей****Шевченко А. А., Крюкова Е. А.**

Киевский национальный университет технологий и дизайна

**Цель.** Провести литературный обзор отечественных и зарубежных источников информации по тематике посвященной процессу цинкования стальных деталей.

**Методика.** Анализ открытых литературных источников методом сравнительной характеристики.

**Результаты.** Установлено, что для покрытия цинком современные электрохимические производства применяют в большинстве случаев горячий и электролитический способы цинкования.

**Научная новизна.** Проанализирован современный рынок предоставления гальванических услуг, на примере цинкования стальных деталей.

**Практическая значимость.** Обобщены наработки ученых-практиков и их рекомендации по способам нанесения цинковых покрытий, что позволило лучше понять рассматриваемую проблему.

**Ключевые слова:** цинкование, защитные покрытия, электролиты, гальваника

### **Features of the process of zincing steel parts**

**Shevchenko A. A, Kryukova O. A.**

*Kyiv national university of technologies and design*

**Purpose.** To conduct a literary review of native and foreign sources of information on topics related to the process of galvanizing steel parts.

**Methodology.** Analysis of open literature sources by the method of comparative characteristics.

**Findings.** Established that for modern zinc coating modern electrochemical manufacturing use in most cases hot and electrolytic methods of galvanizing.

**Originality.** Analyzed the modern market of providing galvanic services, for example, the galvanizing of steel parts.

**Practical value.** Summarized the work of practical scientists and their recommendations of the methods of zinc coatings application have been generalized, which made it possible to understand better the problem under consideration.

**Keywords:** galvanizing, protective coatings, electrolytes, electroplating