

**ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ**

УДК 620.179.18

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.2/01>**Альховик О.В.**Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз  
Служби безпеки України**НЕРУЙНІВНІ МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ГАЛЬВАНІЧНИХ ПОКРИТТІВ  
ДЕТАЛЕЙ ТА ВИРОБІВ В УМОВАХ ВИРОБНИЦТВА**

*У статті проаналізовано застосування неруйнівних методів для контролю гальванічних покриттів деталей та виробів.*

*Гальванічне покриття – це поверхневий шар металу, який утворюється на поверхні деталі, яка підлягає покриттю, за допомогою електрохімічних процесів. Суть гальваніки не тільки в отриманні декоративного покриття з металу на поверхні іншого металу, а й створення захисного шару, який утворюється в результаті проникнення молекул металу покриття в поверхневий шар вихідної деталі.*

*Якість покриттів, яка відповідає вимогам стандартів та технічних умов і забезпечує нормальну роботу деталей в умовах експлуатації або збереження їх протягом необхідного терміну зберігання, може бути досягнута лише у випадку, якщо ці покриття нанесені в відповідності до технологічного процесу на сертифікованому обладнанні з застосуванням якісних вихідних матеріалів та реагентів. Якість захисних покриттів окремих деталей значною мірою впливає на тривалість надійної експлуатації всього виробу в цілому, тому контроль якості гальванічних покриттів деталей і виробів має бути під багатоступеневим контролем на підприємстві-виробникові.*

*Контроль якості гальванічних покриттів в наш час проводиться руйнівними та неруйнівними методами. При контролі якості покриття руйнівними методами з партії деталей відбираються найгірші за зовнішніми ознаками зразки, які при проведенні контролю піддаються значним деформаціям і утилізуються. При руйнівному методі контролю не виключене потрапляння в кінцевий виріб деталей з прихованими дефектами. При неруйнівних методах всі виготовлені деталі можуть бути піддані контролю з достатньою точністю вимірювань.*

*Для запобігання випуску виробів з неякісними деталями необхідно при виготовленні виробів будь-якого призначення застосовувати систему контролю якості неруйнівними методами, яка складається з трьох рівнів.*

*В статті розглянуті та описані методи і засоби проведення неруйнівного контролю гальванічних покриттів. При першому рівні контролю проводиться візуальний огляд вхідних деталей та деталей з нанесеним гальванічним покриттям, як озброєним оком так і за допомогою оптичних приладів. При другому рівні контроль проводить спеціаліст відповідальний за виготовлення продукції. При третьому рівні контролю проводиться вибіркова або повна перевірка якості виробів в лабораторії або в відділі технічного контролю.*

*На підставі проведеного аналізу визначено, що для виготовлення якісних та надійних виробів необхідно проводити трирівневий неруйнівний контроль гальванічних покриттів деталей та виробів. Вибір методів та засобів вимірювання параметрів гальванічних покриттів залежить від призначення, сфер застосування та необхідного терміну експлуатації виробів.*

**Ключові слова:** *неруйнівний контроль, поверхня, деталь, гальванічне покриття, якість, надійність.*

**Постановка проблеми.** Гальванічне покриття – це поверхневий шар металу, що утворюється на поверхні деталі, яка підлягає покриттю, за допомогою електрохімічних процесів. Суть гальваніки не тільки в отриманні декоративного покриття з металу на поверхні іншого металу, а й створення захисного шару, який утво-

рюється в результаті проникнення молекул металу покриття в поверхневий шар вихідної деталі [1].

Металеві покриття нанесені гальванічним способом на поверхні деталей і виробів за призначенням поділяються на наступні категорії:

– захисні покриття, які забезпечують захист деталей та виробів від корозійного впливу навко-

лишнього середовища в умовах зберігання та експлуатації;

– захисно-декоративні покриття, які разом із захистом від корозії забезпечують декоративне оздоблення поверхні.

Якість покриттів, яка відповідає вимогам стандартів та технічних умов та забезпечує нормальну роботу деталей в умовах експлуатації або збереження їх протягом необхідного терміну зберігання, може бути досягнута лише у випадку, якщо ці покриття нанесені в відповідності до технологічного процесу на сертифікованому обладнанні з застосуванням якісних вихідних матеріалів та реагентів. Якість захисних покриттів окремих деталей значною мірою впливає на тривалість надійної експлуатації всього виробу в цілому, тому контроль якості гальванічних покриттів деталей і виробів необхідно виконувати з багатоступеневим контролем на підприємстві-виробникові.

Незначна зміна вмісту окремих складових або забруднення в електроліті та на анодах навіть при дотриманні всіх інших вимог технологічного процесу може викликати зміну структури гальванічного покриття в такій мірі, що деталь з нанесеним покриттям виявиться непридатною для застосування в виробі. Неправильне завантаження деталей, застосування не відповідних анодів або підвісних пристроїв, витік струму в гальванічних ваннах, некоректні показання вимірювальних приладів, недостатня витримка деталей у ваннах призводять до браку гальванічного покриття за товщиною шару покриття, його пористості та інших параметрів, які впливають на експлуатаційні властивості виробу [2]. Для забезпечення необхідної якості продукції та попередження виготовлення бракованої продукції необхідно контролювати дотримання технологічного процесу нанесення всіх видів покриттів.

Контроль якості гальванічних покриттів в наш час проводиться руйнівними та неруйнівними методами. При контролі якості покриття руйнівними методами з партії деталей відбираються найгірші за зовнішніми ознаками зразки, які при проведенні контролю піддаються значним деформаціям і утилізуються. При застосуванні руйнівних методів контролю не виключене використання в виробках деталей з прихованими дефектами. При неруйнівних методах всі виготовлені деталі можуть бути піддані контролю з достатньою точністю вимірювань [3].

В даній роботі проаналізовані неруйнівні методи контролю гальванічних покриттів деталей. Дані методи необхідно застосовувати при

виробництві для підвищення якості, надійності та збільшення терміну експлуатації деталей та виробів, саме тому тема даної наукової роботи є актуальною.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Важливим етапом при виготовленні виробів, в які входять деталі з гальванічним покриттям поверхонь, є контроль якості даних складових деталей.

Луїджі Гальвані (1737-1798 рр.), його ім'ям названий метод осадження частин одного металу на поверхню іншого – гальваніка, вивчав анатомію, фізіологію і фізику. Він першим в своїх дослідженнях виявив різницю потенціалів різних видів металів і електроліту при їх контакті. Застосовував цю різницю потенціалів в практичних цілях Моріц Герман (1801-1874 рр.). Переїхавши з Німеччини в Росію німець Моріц Герман змінив ім'я та прізвище на Борис Якобі. В 1840 р. він написав працю під назвою: «Спосіб виробляти за даними зразками з мідних розчинів мідні вироби за допомогою електрики або гальванопластика для прикладних мистецтв». Борис Якобі використовував в своїх дослідженнях результати винаходів Луїджі Гальвані, тому новий метод «просування технологій при виробництві монет, обладнання друкарень та художніх ремесел» він назвав гальванопластикою, а обладнання, в якому відбувається процес нанесення покриття – гальванічною ванною [2].

Науковими дослідженнями в області електрохімії, в тому числі питаннями гальванічних покриттів, займалися акад. АН СРСР Фрумкін О.Н., д.т.н., член-кор. АН УРСР, керівник кафедри електрохімічних виробництв КПІ Антропов Л.І. В їхніх працях описані теоретичні основи нанесення гальванічних покриттів [1]. В наш час науковими дослідженнями в сфері гальванічних покриттів продовжують займатись на кафедрі електрохімічних виробництв НТТУ «КПІ» к.х.н. Панасенко, к.х.н. Яцюк Л.А., к.т.н. Мотрошук Т.І. та інші науковці. Незважаючи на велику кількість публікацій, майже у всіх публікаціях описані руйнівні методи контролю якості гальванічних покриттів, при яких контролю підлягають вибіркові деталі з виготовленої партії, але мало уваги приділяється неруйнівним методам контролю, при яких можливе проведення контролю всіх виготовлених деталей, які пройшли процес гальванічного покриття, тому існує необхідність в подальших дослідженнях сфер і умов застосування неруйнівних методів контролю якості гальванічних покриттів.

**Постановка завдання.** Метою даної статті є аналіз застосування неруйнівних методів конт-

ролю гальванічних покриттів деталей для підвищення надійності, терміну експлуатації та якості деталей та виробів.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Контроль за дотриманням технологічних процесів нанесення покриття в гальванічних відділах підприємств полягає у перевірці:

- параметрів шорсткості поверхні деталей, які надходять на гальванічну обробку, параметрам, зазначеним в технічних умовах на поверхню деталей, які підлягають покриттю (не допускаються: раковини; окалина; не зачищені зварні шви; пошкодження різьб; на поверхнях, які не доступні шліфуванню та поліруванню не допускаються подряпини, риски, пори; після лиття під тиском на поверхнях деталей не повинно бути раковин та включень; при цьому застосування припоїв з основного металу для виправлення дефектів на деталях не дозволяється);

- результатів аналізів усіх матеріалів, що надходять у гальванічне відділах (хімікатів, анодних та ізоляційних матеріалів, паст, тощо);

- стану обладнання, кріпильних виробів (підвісних пристроїв) та контрольно-вимірювальних приладів [5, 6].

При нанесенні гальванічних покриттів (навіть при дотриманні всіх технологічних процесів) на поверхнях деталей можлива поява окремих дефектів, але деталі з дефектами не повинні потрапити в кінцевий виріб.

Для запобігання випуску виробів з неякісними деталями при виготовленні виробів будь-якого призначення необхідно застосовувати систему контролю якості гальванічних покриттів неруливними методами, яка складається з трьох рівнів.

Перший рівень. Первинний контроль якості деталей проводиться кваліфікованим спеціалістом, який наносив гальванічне покриття. Спеціаліст повинен проводити візуальний огляд вхідних деталей (які підлягають процесу обробки) та деталей з нанесеним гальванічним покриттям як незброєним оком так і за допомогою оптичних приладів. Контроль виконується оглядом деталей на відстані приблизно 25 см від контрольованої поверхні при природному чи штучному освітленні (освітленість повинна бути не менше 300 лк). Оцінку якості зовнішнього вигляду покриттів також необхідно проводити на відповідність зразкам-еталонам, виготовленим з того ж матеріалу, що і деталі.

Другий рівень. Вторинний контроль повинен проводити спеціаліст, відповідальний за виготовлення продукції. Даний спеціаліст також повинен візуально проконтролювати виготовлені деталі.

Третій рівень. Вибіркова або повна перевірка якості виробів в лабораторії або відділі технічного контролю (ВТК). В лабораторії або ВТК необхідно (в залежності від призначення та умов використання виробу) виконувати контроль наступних параметрів:

- зовнішнього вигляду;
- ступеню блиску;
- адгезії покриття до основи (міцності зчеплення);
- пористості;
- корозійної стійкості;
- товщини покриття;
- оцінки паяння;
- електричного опору;
- твердості покриття;
- інших параметрів за необхідністю.

При виборі ділянок поверхонь деталей, які підлягають контролю, необхідно враховувати можливість утворення нерівномірних по товщині гальванічних покриттів через погану розсіювальну здатність електролітів, які застосовуються при гальванічному методі нанесення. Так як захисна здатність покриття в цілому визначається мінімальною товщиною його шару, то саме такі ділянки слід більш ретельно перевіряти при контролі.

При виявленні деталей з дефектами при проведеному всіх рівнів контролю деталі бракуються або направляються на повторне покриття. Після нанесення нового покриття деталі повинні пройти повну перевірку на всіх рівнях контролю.

Контроль зовнішнього вигляду проводиться незброєним оком та за допомогою оптичних приладів (луп та мікроскопів). Перевіряється відсутність дефектів та зовнішній вигляд покритих деталей. Зовнішнім оглядом виявляються наступні явні дефекти:

- відшарування, здуття, тріщини та часткова відсутність покриття;
- невідповідність кольору та типу покриття;
- різнотонність, підтікання, бруд, тощо;
- візуальна невідповідність товщини покриття;
- недостатній ступінь блиску.

Оцінка ступеня блиску проводиться за допомогою спеціальних інструментів з нанесеними на них малюнками або текстом. При цьому розрізняють чотири ступені блиску:

- дзеркальний блиск – повне та чітке відображення малюнка;
- блиск – дзеркальний блиск, але частина покриття розмита;
- півблиск – малюнок відображений повністю, але розмитий;

– матовість – відображення малюнка присутнє лише в частині виробу.

Оцінка адгезії. Адгезія – показник сили зчеплення покриття із основою частиною виробу. На адгезію впливає багато факторів: стан вихідної поверхні (забрудненість, наявність окалини та іржі, шорсткість), чим більша шорсткість виробу, тим краще адгезія покриття, але гірший блиск; дотримання технологічного процесу нанесення покриття, особливо під час виконання підготовчих операцій (знежирення, травлення); вид металу, з якого виготовлена деталь. Перевірка адгезії виконується наступними методами неруйнівного контролю:

– поліруванням при товщині покриття до 30 мкм. Проводиться матеріалами з б'язі або фетру з використанням полірувальних паст;

– термодинамічним і термостатичним способами – нагріванням виробу до температури 190°C з різким чи поступовим охолодженням;

– обпилюванням (при товщині покриття не менше 5 мкм).

Оцінка пористості покриттів. Захисні властивості катодних покриттів залежать від їх пористості. Підвищеній пористості покриттів може сприяти наявність на поверхні основного металу ділянок, які не проводять струм (повітряні бульбашки, залишками мастил або охолоджуючої рідини при підготовці деталі перед нанесенням покриття), налипання шламу в процесі покриття, тощо. Для оцінки пористості і мікротріщин покриттів використовуються методи, що ґрунтуються на взаємодії реагенту з основним металом виробу та металом покриття в місцях виникнення пор. Метод накладання полягає в накладанні фільтрувального паперу, змоченого спеціальним розчином на деталь та підрахунку точок на папері певного кольору. При оцінюванні пористості багатошарових покриттів використовуються додаткові розчини, які видаляють точки, що проявилися на накладеному шарі паперу, і виявляють точки, що вказують на пори, які присутні на наступному шарі покриття. Метод паст аналогічний методу накладання, але пори виявляються на самому виробі.

Корозійна стійкість. Основне призначення гальванічних покриттів – захист виробів від корозії, тому необхідно контролювати захисну здатність покриття. Для перевірки корозійної стійкості деталей з гальванічним покриттям застосовуються наступні методи:

– для проведення корозійних випробувань використовується одна (чи декілька) з партії галь-

ванічно покритих деталей. При використанні методу проводиться кількісна оцінка ступеня корозії виробів і якісна візуальна оцінка. Тривалість терміну проведення випробувань – не більше 7 діб. Для оцінки результатів використовується прозорий трафарет з сіткою квадратів. Ступінь враження іржею розраховується як відношення кількості квадратів з іржею до квадратів без іржі.

– камера сольового туману – випробування проводяться у спеціальному боксі, в який завантажуються деталі та в який розпиляється розчин солі (в основному використовується 5% розчин NaCl). Корозійна стійкість вимірюється в годинах проведених у камері до появи слідів корозії на виробі.

Один із самих важливих параметрів гальванічного покриття – його товщина. Занижена товщина призводить до передчасної корозії покриття та погіршення його захисних властивостей. Перевищення необхідної товщини гальванічного покриття може привести до неможливості складання виробу.

Основні неруйнівні методи перевірки товщини покриття:

– метод прямих вимірів (за допомогою мікрометра та калібру);

– магнітоіндукційний;

– метод вихрових струмів;

– радіаційний;

– термоелектричний;

– оптичний.

З перерахованих методів контролю на виробництві найчастіше застосовуються магнітоіндукційний метод і метод вихрових струмів.

Оцінка паяння визначає змочуваність покриття припоями і якість паяного з'єднання. Основні методи оцінки паяності: метод розтікання та, капілярний метод. Метод розтікання дозволяє оцінити паяння як якісно, так і кількісно: розтікання припою нульове – припій має форму сфери; низьке припій має форму півсфери з площиною на покритті; високе – припій розтікається поверхнею покриття. Капілярний метод передбачає використання капіляра із двох металевих пластинок, які занурюються в розплавлений припій. Паяність оцінюється за висотою, на яку піднімається припій.

Оцінка електричного опору. При контролі гальванічних покриттів вимірюють три види електричного опору – пробивний, перехідний та питомий:

– пробивний електричний опір – максимальний опір покриття на пробій. Проводиться якісне

і кількісне вимірювання пробивного опору. При якісному вимірюванні пробивного електричного опору застосовуються мультиметр із функцією «продзвону» або мегомметр. При кількісному вимірюванні пробивного опору використовуються двоелектродні системи, де один електрод є металеву кулькою, а другий може бути кулькою або точковим наконечником;

– перехідний електричний опір – опір у місці з'єднання одного металу з іншим. Перехідний електричний опір залежить від контактуючих металів. Метод оцінки перехідного опору базується на вимірі опору між виробом та еталонним електродом;

– питомий електричний опір – величина, що характеризує опір матеріалу протіканню по ньому електричного струму. Чим менший питомий опір провідника, тим легше струм проходить через нього і тим менші втрати струму в ланцюзі. Вимірювання питомого електричного опору проводиться за допомогою спеціального датчика.

Твердість – здатність матеріалу чинити опір проникненню в його поверхневі шари іншого, твердішого тіла. Визначення твердості покриттів проводиться динамічним (методом відскоку) та ультразвуковим методами. Ультразвуковий метод заснований на зміні резонансної частоти коливань металевого стержня із закріпленою на кінці алмазною пірамідкою Віккерса при контакті пірамідки з поверхнею виробу. Ультразвуковий

метод найбільш придатний для контролю твердості поверхневих шарів виробів, тому що глибина проникнення індентора знаходиться в межах 30-50 мкм [4].

При проведенні контролю якості гальванічних покриттів, при необхідності, оцінюються й інші показники:

– мікроструктура покриття – зйомка мікрображень на електронному мікроскопі в режимі топографічного розмаїття з детектором вторинних електронів та в режимі фазового розмаїття з реєстрацією відбитих електронів;

– елементний склад покриття – отримання та розшифрування спектрів енергодисперсійного рентгенівського аналізу, що дають інформацію про елементний склад покриттів у вагових та атомних відсотках.

**Висновки.** Проведений аналіз методів контролю якості гальванічних покриттів деталей та виробів, які повинні забезпечувати відповідність вимогам стандартів та технічних умов і забезпечувати надійну роботу деталей та виробів в умовах експлуатації, показує, що багаторівневі неруйнівні методи контролю гальванічних покриттів оптимальні для використання у виробничих умовах, тому що їх застосування дозволяє контролювати всі виготовлені деталі, які пройшли процес гальванічного покриття, на відміну від руйнівних методів, при яких контролю підлягають вибіркові (з виготовленої партії) деталі.

#### Список літератури:

1. Антропов Л.І. Теоретична електрохімія. – К.: Либідь, 1993. 544 с.
2. Білокур І.П. Дефектологія и неруйнівний контроль. – К.: Вища школа, 1990. 207 с.
3. Топчій Н.В., Шорнікова С.В., Альховик О.В. Іноваційні механізми неруйнівного контролю в умовах виробництва. Комп'ютерно інтегровані технології: Освіта, наука, виробництво, (40), с. 90-96. DOI:<https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2020-40-11>
4. Альховик О.В. Застосування електронних твердомірів для підвищення якості та надійності при виготовленні спецтехніки. – К.: Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки», Том 32 (71). № 2, 2021. с. 1-6
5. ДСТУ EN 17059:2019 Лінії нанесення гальванічних і анодувальних покриттів (EN 17059:2018, IDT)
6. ДСТУ ISO 4042:2004 Кріпильні вироби. Покриття електролітичні (ISO 4042:1999, IDT)

#### **Alkhovyk O.V. NON-DESTROYING METHODS FOR CONTROL OF ELECTRIC COATINGS OF PARTS AND PRODUCTS UNDER PRODUCTION CONDITIONS**

*The article analyzes the use of non-destructive methods for monitoring galvanic coatings of parts and products.*

*Electroplating is a surface layer of metal that is formed on the surface of the part to be coated using electrochemical processes. The essence of electroplating is not only to obtain a decorative metal coating on the surface of another metal, but also to create a protective layer resulting from the penetration of coating metal molecules into the surface layer of the original part.*

*The quality of coatings that meets the requirements of standards and specifications and ensures the normal operation of parts under operating conditions or their storage for the required storage period can only be achieved if these coatings are applied in accordance with the technological process on certified equipment using high-quality initial materials and reagents. The quality of the protective coatings of individual parts to*

*a large extent affects the duration of reliable operation of the entire product as a whole, therefore, the quality control of electroplated coatings of parts and products should be controlled at the manufacturer.*

*Quality control of electroplated coatings is currently carried out by destructive and non-destructive methods. During quality control of the coating by destructive methods, samples that are worse in appearance are selected from a batch of parts, which, during the control, are subjected to irreparable deformations and disposed of. With the destructive method of control, parts with hidden defects cannot be excluded from entering the final product. With non-destructive methods, all parts made can be controlled with sufficient measurement accuracy.*

*To prevent the release of products with low-quality parts, it is necessary to apply a quality control system by non-destructive methods, consisting of three levels, in the manufacture of products for any purpose.*

*The article discusses and describes the methods and techniques for non-destructive testing of galvanic coatings. At the first level of control, a visual inspection of the input parts and parts with a galvanized coating is performed both with the naked eye and with the help of optical instruments. At the second level, the control is carried out by a specialist responsible for the manufacture of products. At the third level of control, a selective or complete check of the quality of products is carried out in the laboratory or in the technical control department.*

*Based on the analysis, it was determined that for the production of high-quality and reliable products, it is necessary to carry out a three-level non-destructive testing of electroplated coatings of parts and products. The choice of methods and means for measuring the parameters of galvanic coatings depends on the purpose, industries of application and the required service life of products.*

**Key words:** *non-destructive testing, surface, detail, electroplating, quality, reliability.*