

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсової роботи

«Розробка технологічного процесу нанесення гальванічного покриття»

для студентів спеціальності

161 «Хімічні технології та інженерія»

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 1 від 16.02.2023 р.

Харків
НТУ «ХПІ»
2023

Методичні вказівки до виконання курсової роботи “Розробка технологічного процесу нанесення гальванічного покриття” для студентів спеціальності 161 “Хімічні технології та інженерія” / уклад. С. А. Лещенко, С. Г. Дерібо. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2023.– 49 с.

Укладачі: С. А. Лещенко, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПІ»
С. Г. Дерібо, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПІ»

Рецензент Л. В. Ляшок

Кафедра технічної електрохімії

ВСТУП

Курсова робота присвячена вибору технологічної схеми одержання гальванічних покриттів, виходячи з характеристики оброблюваних деталей, функціонального призначення покриттів та умов подальшої експлуатації кінцевого виробу.

Загальні правила та методика виконання та оформлення текстових документів, що застосовуються у навчальному процесі, структура та зміст курсових робіт, присвячених проектуванню гальванічних дільниць, визначаються системою стандартів з організації навчального процесу НТУ «ХП».

Перелік діючих стандартів НТУ «ХП», що повинні використовуватись студентами університету при виконанні курсових робіт:

- СТЗВО–ХП–3.01–2021 ССОНП. Текстові документи у сфері навчального процесу. Загальні вимоги до виконання (зі змінами);
- СТЗВО–ХП–2.01–2021 ССОНП. Дипломні проекти та дипломні роботи. Загальні вимоги до виконання (зі змінами);
- СТВУЗ–ХП–3.08–2007 ССОНП. Технологічні документи у сфері навчального процесу. Загальні вимоги до виконання.

Актуальні версії стандартів НТУ «ХП» розміщені на сайті університету:

<http://blogs.kpi.kharkov.ua/v2/metodotdel/standarti-ntu-hpi/>

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОДЕРЖАННЯ ПОКРИТТЯ

1 Вихідні дані до курсової роботи

Вихідні дані до курсової роботи з нанесення гальванічних покриттів визначаються завданням та можуть містити такі дані:

1) *характеристика деталей*, що підлягають обробці:

а) матеріал основи деталі (найменування металу, сплаву або неметалу);

б) габаритні розміри та маса;

в) група складності (див. додаток А);

г) клас шорсткості поверхні¹;

д) інформація про спосіб виготовлення (методом литва, штампування, різання, холодним та гарячим пресуванням тощо);

е) інформація про попередню підготовку поверхні деталей – механічну (шліфування, полірування, галтування, крацювання, піскоструминна обробка, розконсервація тощо), термічну (відпал, газова цементация та ін.) або хімічну, що здійснюється до потрапляння деталей на гальванічну дільницю;

ж) наявність різьби, паяних швів, зварних з'єднань;

и) наявність елементів з тонкими стінками, що можуть втратити цілісність внаслідок тривалого травлення або втратити форму внаслідок механічної деформації.

На поверхні деталей, що потрапляють на гальванічну дільницю, не допускається неоднорідність прокату, наявність окалини, задирок, розшарувань, тріщин, пор і раковин, поверхня деталей повинна бути очищена від травильного шламу та інших забруднень. Після механічної обробки поверхня деталей не повинна мати видимого шару мастила або емульсії, металевої стружки, задирок, пилу і продуктів корозії. Гострі кути і кромки

¹ Шорсткість поверхні деталей не повинна перевищувати:

- Rz 40 (4-го класу шорсткості) – під захисні та спеціальні покриття в залежності від функціонального призначення;
- Ra 2,5 (6-го класу шорсткості) – під захисно-декоративні (блискучі) покриття;
- Ra 1,25 (7-го класу шорсткості) – під тверді та електроізоляційні анодно-оксидні покриття.

деталей повинні бути заокруглені радіусом не менше 0,3 мм або мати фаски (за винятком технічно обґрунтованих випадків). Шви на зварних і паяних деталях повинні бути зачищені, безперервні по всьому периметру і виключати затікання електроліту в зазор.

2) *мета нанесення покриття* (або іншого виду обробки), що визначається *функціональним призначенням* виробів:

а) захисні покриття:

- захист від атмосферної корозії;
- захист від корозії в певних агресивних середовищах;

б) декоративні та захисно-декоративні покриття:

– надання декоративного зовнішнього вигляду (в тому числі з одночасним забезпеченням захисту від атмосферної корозії) – блискучого, матового, сатинованого, надання поверхні певного кольору (наприклад, «під золото» або чорного) або комбінації кількох кольорів (мідне з чорним – «під стару бронзу», сріблясте з темним або чорним – «під старе срібло» тощо), надання поверхні певної текстури або рельєфу;

в) функціональні покриття:

- покращення поверхневої твердості та (або) зносостійкості;
- надання здатності до пайки;
- покращення поверхневої електропровідності;
- надання поверхні діелектричних властивостей;
- надання жаростійкості;
- надання світловідбивної здатності (світлої металевої дзеркальної поверхні);
- надання світлопоглинальної здатності (глибокого чорного кольору);
- поєднання кількох функціональних призначень (наприклад, поєднання високої поверхневої електропровідності зі зносостійкістю, поєднання зносостійкості з жаростійкістю тощо);

3) *умови експлуатації* виробів:

– для деталей, що потребують захисту від корозії в атмосферних умовах, слід визначити групу умов експлуатації згідно з ГОСТ 15150–69;

– в інших випадках під умовами експлуатації виробів слід розуміти характеристику впливу механічних, хімічних, термічних та інших факторів на поверхню деталей під час експлуатації;

4) додаткові вимоги, обумовлені технологічними, економічними, екологічними та іншими факторами, вимогами щодо ресурсозбереження та енергозбереження (наприклад, заборона використання ціанідних розчинів; неможливість знежирення в органічних розчинниках; дефіцит виробничої площі; мінімізація кількості технологічних операцій; заборона використання свинцю, нікелю, сполук Cr(VI); неприпустимість потрапляння благородних металів у стічні води; економія промивної води; необхідність використання безстічної схеми промивання тощо).

Приклад 1. Завдання на виконання проекту.

Деталі, що підлягають обробці, являють собою дверні петлі, виготовлені з вуглецевої сталі (див. рис.1). Поверхня деталей механічно полірована (має 7–9 клас шорсткості).

Мета нанесення покриття – надання декоративного зовнішнього вигляду та захист від корозії в атмосферних умовах.

Експлуатація – в умовах помірного та холодного клімату, у приміщеннях як зі штучно регульованими кліматичними умовами, так і без таких (з опаленням та без опалення).

Режим роботи ділянки – двозмінний, тривалість зміни становить 8 год.

Програма ділянки – 17000 м²/рік.

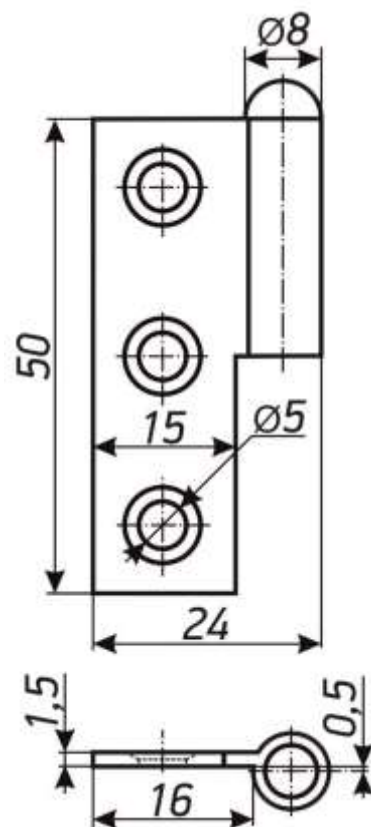


Рис. 1

2 Обґрунтування та вибір виду і мінімальної товщини покриття

2.1 Вибір виду і товщини покриття здійснюється на підставі вихідних даних до проекту (умов завдання).

2.2 Вибір виду покриття визначається такими параметрами:

- 1) матеріал основи деталі;
- 2) мета нанесення покриття (функціональне призначення виробів);
- 3) умови подальшої експлуатації виробів.

На вибір виду покриття також впливають їхні властивості, спосіб одержання, допустимість контакту металів і покриття, наявність різьби, паяних швів, зварних з'єднань, економічна доцільність, екологічна безпека тощо.

Обмеженнями для застосування певних видів покриття можуть бути група складності (конфігурація) деталей та інші технологічні, екологічні й економічні фактори².

2.3 Визначення мінімальної товщини захисних (захисно-декоративних) покриття, призначених для захисту від атмосферної корозії, здійснюється згідно з діючим в Україні ГОСТ 15150–69 в такому порядку:

- 1) визначити *кліматичне виконання*, тобто макрокліматичний район, в якому експлуатуватимуться оброблювані деталі (див. додаток Б.1);
- 2) визначити *категорію розміщення* виробів (див. додаток Б.2);
- 3) встановити *групу умов експлуатації*, що відповідає кліматичному виконанню та категорії розміщення виробів (див. додаток Б.3);
- 4) визначити мінімальну товщину покриття в залежності від матеріалу деталі, виду покриття та групи умов експлуатації (див. додаток Б.4).

² Наприклад, на деталі з певним рельєфом або зі зварними швами важко нанести хромове захисно-декоративне покриття. Заміна одношарового покриття на багатшарове спричиняє збільшення трудомісткості та виробничої площі дільниці. Деякі види покриття мають невиправдано високу собівартість або є екологічно небезпечними. Процеси нанесення покриття, які успішно реалізують в лабораторних умовах, через технологічні обмеження не завжди вдається втілити в серійному виробництві. Процеси нанесення покриття, що потребують жорсткого контакту деталі з підвіскою, не можуть бути нанесені у звичайних обертальних установках (барабанах та ковпаках).

2.4 Якщо нанесення покриття здійснюється не з метою захисту від атмосферної корозії, а переслідує іншу ціль, то мінімальна необхідна товщина такого покриття встановлюється переважно дослідним шляхом й на підставі рекомендацій з довідкової літератури чи з інших джерел інформації.

Визначення мінімальної товщини деяких функціональних покриттів також можливе за допомогою даних, наведених в додатку Б.4.

2.5 Умовні позначення металевих та неметалевих неорганічних покриттів, які прийнято використовувати в технічній документації, наведені в додатку В. Покриття позначають в залежності від способу одержання, матеріалу, характерних ознак фізико-механічних та декоративних властивостей, а також додаткової обробки.

2.6 На підставі аналізу відомостей про деталі слід визначитись зі способом обробки деталей – в обертальних установках (барабанах, ковпаках), на підвісках або в корзинах.

Приклад 2. Вибір виду та товщини покриття

Експлуатація виробів, деталі яких підлягають обробці на проектованій гальванічній дільниці, передбачається в умовах помірного та холодного клімату (УХЛ), у приміщеннях без штучно регульованих кліматичних умов, тобто, категорія розміщення – 2. Вказані характеристики відповідають 3-й групі умов експлуатації.

Для надання декоративного зовнішнього вигляду (блискучої поверхні) та захисту від корозії деталей, виготовлених з вуглецевої сталі, можуть бути використані одношарові або багатошарові нікелеві покриття, в тому числі з підшаром міді та (або) з зовнішнім шаром захисно-декоративного хрому.

Багатошарові покриття з зовнішнім шаром хрому слід виключити з розгляду внаслідок поганої покривної здатності стандартного електроліту хромування та наявності на деталях зварного шва, на якому проблематично одержати суцільний шар захисно-декоративного хрому.

Отже, для сталевих деталей у вказаних умовах експлуатації можуть бути рекомендовані:

– двошарове нікелеве покриття (бінікель) сумарною товщиною 18 мкм (умовне позначення – Нд18);

– блискуче нікелеве покриття товщиною 12 мкм з мідним підшаром товщиною 18 мкм (умовне позначення – М18.Н12).

Покриття Нд18 має такі переваги перед покриттям М18.Н12:

– воно є на 25 % –30 % дешевшим за вартістю розчинних анодів;

– лінія нанесення покриття Нд18 потребує меншої виробничої площі через відсутність промивних ванн між нанесенням першого та другого шару нікелю, а лінія нанесення покриття М18.Н12 їх потребує;

– тривалість осадження покриття Нд18 значно менша, ніж для покриття М18.Н12.

Таким чином, обираємо двошарове нікелеве покриття (бінікель) сумарної товщиною 18 мкм.

З точки зору захисту від корозії найкращими вважають покриття бінікелем, в яких товщина другого шару блискучого нікелю складає 25 % – 35 % від сумарної. Отже товщину першого шару нікелю приймаємо рівною 12 мкм, товщину другого шару – 6 мкм.

Позначення такого покриття можна представити як Н12.Н66.

3 Вибір і обґрунтування підготовчих операцій

3.1 Стан поверхні деталей та наявність забруднень суттєво позначаються на якісних показниках гальванічних покриттів. Жирові забруднення, оксидні та сольові плівки перешкоджають міцному зчепленню з основою, суцільності та рівномірному осадженню покриття, сприяють збільшенню пористості осадів. Вибір способів попередньої обробки та ретельність їх проведення в значній мірі впливають на експлуатаційні характеристики виробів.

Технологічні операції, через які проходять деталі до потрапляння на гальванічну дільницю, можуть бути причиною появи на поверхні деталей

певних забруднень. Якщо поверхня деталі піддавалася механічному поліруванню, то на ній можуть бути присутніми залишки полірувальних паст. Після штампування, свердління, різання, видавлювання, прокатки і шліфування на деталях можуть залишитися змащувально-охолоджувальні рідини. Навіть після торкання деталей руками на їхній поверхні залишаються незначні жирові забруднення, що можуть зашкодити якісному зчепленню покриття в основу.

3.2 Жирові забруднення, консерваційні змазки, полірувальні пасти, охолоджувальні емульсії утримуються на поверхні деталей силами адгезії й можуть бути видалені за допомогою операцій *хімічного знежирювання*.

В залежності від ступеню забруднення поверхні та різноманіття жирових забруднень, знежирювання може здійснюватись в одну або кілька стадій.

Спосіб очищення від жирових забруднень визначається їхньою природою.

3.3 Жири мінерального походження (полірувальні пасти, консистентні змазки, мінеральні мастила) не розчиняються у воді й можуть бути видалені за допомогою *органічних розчинників*. Доцільність використання органічних розчинників визначається з урахуванням їхньої токсичності, що потребує дотримання правил техніки безпеки, економічної доцільності й технічної можливості використання спеціального обладнання. Знежирювання в органічних розчинниках, як правило, недостатньо для повного видалення жирових забруднень з поверхні деталей, тому використання цієї операції в технологічному процесі є лише першою стадією знежирювання деталей.

3.4 *Лужні розчини хімічного знежирювання* видаляють з поверхні деталей відповідні жири в результаті хімічної або фізико-хімічної взаємодії. Жири тваринного та рослинного походження також практично не розчиняються у воді, але вони здатні взаємодіяти з водними розчинами лугів та солей лужних металів, утворюючи розчинні у воді мила. Мінеральні жири під дією лужних розчинів утворюють водні емульсії, що полегшує їхнє видалення з поверхні деталей. Додавання поверхнево-активних речовин (ПАР) до цих розчинів посилює емульгувальну дію.

Ефективність видалення рослинних й тваринних жирових забруднень з поверхні металу в лужних розчинах визначається не стільки хімічним процесом їхнього омилування, скільки здатністю лужного розчину зменшувати поверхневий натяг на межі водної й жирової фаз. Використання поверхнево-активних речовин в лужних розчинах знежирювання зменшує міжфазний поверхневий натяг, покращує змочування металу, сприяє диспергуванню твердих й емульгуванню рідких забруднень, тим самим створює умови для швидкого й ефективного видалення забруднень з поверхні деталей.

Зазвичай, лужні розчини хімічного знежирювання містять від двох до чотирьох лужних компонентів та одну або кілька поверхнево-активних речовин.

При виборі складу лужного розчину хімічного знежирювання доцільно врахувати не тільки загальні рекомендації, вказані в довідковій літературі, але й властивості їхніх компонентів. Найбільш широкого використання в якості компонентів лужних розчинів знежирювання набули:

- *їдкий луг* (NaOH , рідше KOH);
- кальцинована сода (Na_2CO_3);
- *фосфати* (тринатрійфосфат Na_3PO_4 , пірофосфати $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ або $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$, триполіфосфат натрію $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$, гексафосфат натрію $\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$) покращують миючу здатність розчинів, пом'якшують воду, збільшують піноутворення, найлегше змиваються з поверхні деталей, але посилюють корозії металів;
- силікати (рідке скло $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ або метасилікат натрію Na_2SiO_3) – мають властивості емульгаторів, сприяють відриву й коагуляції дрібних механічних забруднень, утворюють на поверхні металу (особливо цинку та алюмінію) тонких пасивних плівок, що зменшують швидкість корозії в лужному розчині знежирювання.

До складу деяких сучасних лужних розчинів хімічного знежирювання входить також *натрію глюконат*, який поєднує комплексоутворювальні, диспергувальні та антикорозійні властивості, має високу розчинність й підвищену стабільність в лужному середовищі, здатний реагувати з іонами

кальцію з утворенням розчинної хелатної сполуки, завдяки чому пом'якшує воду й позбавляє від потреби в її демінералізації.

При виборі поверхнево-активних речовин як добавок до розчинів лужного хімічного знежирювання слід враховувати:

- приналежність до групи катіоноактивних, аніоноактивних або неіоногенних ПАР;
- функціональні властивості (поверхневу активність, критичну концентрацію міцелоутворення тощо);
- можливості знешкодження в стічній воді (приналежність до групи біологічно-м'яких або біологічно-жорстких ПАР).

3.5 *Хімічне знежирювання в миючих засобах* поєднує знежирювальну здатність та відсутність корозійного впливу на метал, що підлягає обробці. Широко застосовуються синтетичні миючі засоби, основою яких є поверхнево-активні речовини. Додавання лугу, як правило, підвищує ефективність таких засобів. Миюча здатність синтетичних миючих засобів вища, ніж у лужних сумішей. Оптимальна температура розчинів складає 75–85 °С, при менших температурах миюча здатність зменшується, але посилюється утворення піни.

3.6 *Електрохімічне знежирювання* є більш ефективним способом очищення поверхні деталей від жирових забруднень, ніж хімічне. Воно переважно використовується для видалення тонких шарів жирових плівок, що залишились після інших видів знежирювання. Ефективність електрохімічного знежирювання визначається зміною електричного заряду поверхні металу й механічним впливом бульбашок газу, що утворюються при електролізі.

При електрохімічному знежирюванні зменшується міцність зчеплення жирових забруднень з металом, відбувається розрив жирових плівок й утворення окремих крапель. Дрібні бульбашки газу спочатку затримуються жировими краплями, потім в процесі електролізу поєднуються між собою й утворюють великі бульбашки, здатні відірвати жирові краплі від поверхні металу.

Найчастіше електрохімічне знежирювання відбувається під дією постійного струму, при цьому деталі можуть бути під'єднані як до катоду, так і до аноду, відповідно, електрохімічне знежирювання буде катодним або анодним. До протилежного полюсу джерела струму приєднують нерозчинні електроди, виготовлені з листової вуглецевої сталі, рідше – з нікельованої, нержавіючої сталі або нікелю.

В результаті електролізу при електрохімічному знежирюванні відбувається електроліз води: на катоді виділяється водень, на аноді – кисень. Об'єм виділеного водню завжди вдвічі більший, ніж об'єм кисню, тому ефективність катодного електрохімічного знежирювання більша у порівнянні з анодним процесом.

При використанні електрохімічного знежирювання слід враховувати такі його особливості:

- у більшості випадків застосовують спочатку катодне, а потім анодне електрохімічне знежирювання, яке може здійснюватись в одній ванні (шляхом перемикання полярності джерела постійного струму) або в різних ваннах (окремо катодне й окремо анодне; з проміжним промиванням або без нього);

- катодне електрохімічне знежирювання не рекомендовано використовувати для деталей, які внаслідок наводнювання можуть втратити або погіршити свої функціональні властивості, набути водневої крихкості (сталеві деталі з цементованими поверхнями, які в процесі експлуатації піддаються пружній деформації; сталеві тонкостінні деталі товщиною до 1 мм);

- анодне електрохімічне знежирювання, як правило, не рекомендоване для деталей, які в лужному середовищі при анодній поляризації здатні активно розчинятись або утворювати важкорозчинні неметалеві неорганічні плівки (мідь та її сплави, цинкові, алюмінієві сплави, олово, свинець тощо);

- на деталях складної конфігурації не завжди доцільно використовувати електрохімічне знежирювання через низьку ефективність внаслідок нерівномірності розподілу електричного струму на різних ділянках поверхні;

3.7 *Емульсійне знежирювання*, що базується на використанні суміші органічного розчинника, емульгатора та слаболужного розчину, є ефективним, якщо на поверхні деталей присутні дрібні тверді частки (наприклад, металевий пил) та погано розчинні в органічних розчинниках речовини. Воно особливо ефективне для деталей, які пройшли механічну підготовку з використанням охолоджувальних водно-масляних емульсій, а також для підготовки деталей перед нанесенням лакофарбових покриттів. Може здійснюватись струминним або заглибним методом.

Емульсійна обробка здійснюють в дві стадії, послідовно у двох ваннах: спочатку в органічному розчиннику з емульгатором, а потім – у гарячому лужному розчині.

3.8 *Одночасне знежирювання й травлення* найбільш доцільно використовувати на автоматичних лініях, струминним або заглибним методом, для обробки деталей з чорних металів, що мають на своїй поверхні незначну кількість жирових забруднень й продуктів корозії.

3.9 *Знежирювання з використанням ультразвуку* дозволяє досягти високої якості очистки від хімічних та механічних забруднень. Воно широко використовується в точному приладобудуванні, виробництві електронної техніки, у виробництві ювелірних виробів тощо.

3.10 Технологічні операції *травлення* або *активації* мають за мету видалення з поверхні деталей хімічних речовин (як правило, продуктів корозії, що утворюються під впливом навколишнього середовища), які погіршують зовнішній вигляд виробів та перешкоджають якісному зчепленню покриття з основним металом.

Під час травлення сталевих деталей одночасно з видаленням продуктів корозії відбувається часткове розчинення металу основи, що може призвести до нерівномірного за товщиною зняття металу, перетравлювання поверхні, збільшення шорсткості, погіршення зовнішнього вигляду. Для деталей, що мають точні розміри, зняття металу неприпустиме або повинно бути рівномірним та контрольованим. Тому більшість розчинів травлення містять у

своєму складі крім активних компонентів (як правило, кислот) ще й інгібітори корозії, що зменшують швидкість побічного процесу розчинення металів.

Поступове накопичення в травильному розчині сполук двовалентного заліза призводить до зменшення швидкості травлення, а солі тривалентного заліза навпаки пришвидшують процес.

Сорбція металом водню, що виділяється під час травлення, може підвищувати крихкість, зменшувати в'язкість, а також пружність деталей, що під час експлуатації піддаються знакозмінному навантаженню. Додавання інгібіторів корозії до складу розчинів травлення сприяє попередженню наводнювання металу в процесі самого травлення. В особливо складних випадках для додаткового видалення водню з поверхневого шару металу, деталі відразу після травлення прогрівають впродовж 2 – 3 год. при 200 – 250 °С, після чого виникає необхідність в проведенні операції активації.

Активация – це різновид травлення, яке здійснюється безпосередньо перед нанесенням гальванічних покриттів з метою видалення з поверхні металу тонких оксидних плівок та виявлення кристалічної структури металу, що сприяє якісному зчепленню покриття з основою.

В багатьох випадках активацію металів здійснюють у розчинах, аналогічних розчинам травлення, але при меншій концентрації активних компонентів та впродовж меншого проміжку часу.

Вибір розчину травлення або активації здійснюється передусім в залежності від матеріалу основи, характеру та кількості забруднень, конфігурації виробів, а також з урахуванням того, які технологічні операції й у яких розчинах здійснюватимуться після травлення. Особливості використання окремих компонентів розчинів травлення, як правило, вказуються в їхньому технічному паспорті або у паспорті безпеки.

При виборі розчину травлення слід звертати увагу на те, чи є його компоненти шкідливими домішками у розчині наступної технологічної операції. Наприклад, травлення сталевих деталей у хлоридній кислоті може призвести до забруднення стандартного електроліту хромування хлоридами, які

є шкідливими домішками, а травлення в сульфатній кислоті буде більш небезпечним, бо сульфати в цьому електроліті присутні.

Сплави алюмінію після лужного травлення набувають темного вигляду, тому після цієї операції застосовують додаткову операцію просвітлення у кислих розчинах.

3.11 Міжопераційні промивання.

Після кожної технологічної операції, що здійснюється у водних розчинах певних хімічних сполук, необхідно здійснювати промивання поверхні виробів, щоб хімічні компоненти з кожної попередньої технологічної ванни не забруднювали розчин наступної ванни. Після підготовчих операцій використовуються переважно проточні промивання.

Після кожного етапу знежирювання (хімічного або електрохімічного) промивання здійснюється у теплій (40 – 60 °C) або гарячій (70 – 90 °C) воді, оскільки омилені жири краще видаляються при підвищеній температурі.

Після останньої операції знежирювання безпосередньо перед холодним травленням (активацією) крім теплового (або гарячого) промивання слід передбачити ще й холодне промивання з метою охолодження деталей, оскільки поверхневий шар нагрітих деталей може зазнати розтравлювання.

Після травлення (активації) промивання здійснюють у холодній проточній воді.

Приклад 3.

При виконанні проекту необхідно описати характер і ступінь забруднення поверхні деталей жировими сполуками та продуктами корозії.

На підставі цих даних запропонувати перелік необхідних операцій попередньої підготовки поверхні деталей (наприклад, знежирення в лужних розчинах хімічним та/або електрохімічним способами, травлення або активація).

Обрати та обґрунтувати вибір складів розчинів і режимів обробки деталей, які в подальшому необхідно внести до карти технологічного процесу.

Тривалість підготовчих технологічних операцій прийняти в залежності від ступеню забруднення деталей.

Вказати на необхідність міжопераційних промивань, попередньо обрати рекомендовані види й способи промивань (з нагріванням або без нагріву; проточні або непроточні; заглибні, струминні або комбіновані).

4 Вибір і обґрунтування робочого складу електроліту для одержання покриття

4.1 До міжопераційного промивання, що здійснюється в холодній проточній воді безпосередньо перед нанесенням покриття, висувають такі вимоги:

- воно повинно здійснюватись достатньо швидко, щоб видалені з поверхні деталей продукти окиснення не утворились знов;
- промивання повинно бути якісним, щоб не забруднити наступний електроліт компонентами з попереднього технологічного розчину.

Перед операціями нанесення покриттів з електролітів, що готують на дистильованій або знесоленій воді, доцільно передбачити промивання у непроточній воді відповідної чистоти.

Безпосередньо перед операцією хромування може застосовуватись прогрів деталей у гарячій воді, але цей прогрів може здійснюватись й безпосередньо у ванні хромування.

4.2 Вибір робочого складу електроліту для одержання покриття рекомендується здійснювати в такому порядку:

- 1) навести перелік вимог до властивостей кожного шару покриття:
 - а) зовнішній вигляд (колір; відтінок; ознаки, що не вважають браком; неприпустимі ознаки);
 - б) товщина;
 - в) структура (дрібнокристалічність);
 - г) вимоги до захисних або функціональних властивостей;

д) для сплавів – вимоги до хімічного складу (масового вмісту компонентів);

е) пористість;

ж) інші вимоги (маслоємність, вимоги до повноти промивання).

2) перелічити найбільш розповсюджені електроліти, використання яких здатне забезпечити виконання наведених вимог; здійснити їхній порівняльний аналіз (навести переваги та недоліки, сфери застосування тощо).

3) На підставі вище викладеного, враховуючи відповідність усім вимогам, продуктивність та енергоефективність використання, екологічні та економічні характеристики, здійснити мотивований вибір одного з перелічених електролітів, навести його склад, рекомендований режим роботи (діапазони робочої густини струму, температури, значення рН, режим та спосіб перемішування), матеріал анодів (для анодних покриттів – катодів).

4.3 Після вибору електроліту можуть бути представлені:

– реакції, що відбуваються в ньому (для електрохімічних процесів – катодні та анодні, для хімічних процесів – відповідні хімічні реакції);

– спосіб приготування електроліту, вимоги до якості води та хімікатів;

– особливості використання спеціальних добавок, їхні питомі витрати в процесі експлуатації;

– шкідливі домішки, їхні допустимі концентрації.

4.4 Якщо проект передбачає осадження багат шарового покриття, то обґрунтований вибір електроліту необхідно здійснювати для кожного шару покриття.

5 Вибір і обґрунтування завершальних операцій

5.1 До завершальних відносять операції, які здійснюються після нанесення покриттів, в тому числі усіх шарів багат шарового покриття, як безпосередньо на гальванічній лінії, так і поза нею.

5.2 Найбільш поширені групи завершальних операцій:

1) *промивання* непроточні та проточні.

Непроточні промивання (уловлювання електроліту) рекомендовано використовувати після операцій нанесення усіх видів металевих покриттів з метою збереження коштовних сполук важких металів та зменшення їхнього викиду у стічні води. Розчином з ванн уловлювання періодично поповнюють відповідні технологічні ванни, а надлишок цього розчину направляється на переробку з метою вилучення цінних компонентів.

Після нанесення кожного шару покриття, як правило, застосовують одну ванну уловлювання, а після цього – холодне проточне промивання. Якщо наступною операцією є сушка, то перед нею додатково здійснюється ще й гаряче промивання.

Після нанесення покриття дорогоцінними металами доцільно використати *періодично непроточну систему промивання* [3], що передбачає застосування не менше трьох ванн уловлювання, а проточні ванни промивання не застосовують. Така система промивання дозволяє максимально вберегти сполуки дорогоцінних металів від потрапляння в стічні води. Якщо періодично непроточну систему промивання використовують перед сушкою, то остання ванна уловлювання може бути гарячою.

При використанні п'яти або більшої кількості ванн уловлювання витрати промивної води можуть виявитися меншими, ніж втрати води з відповідної технологічної ванни на випаровування та у вентиляцію. В цьому разі періодично непроточна система промивання перетворюється на *безстічний спосіб промивання*.

2) додаткова обробка покриття:

- а) освітлення цинкових та кадмієвих покриттів;
- б) пасивація (хроматування, фосфатування або оксидування);
- в) фарбування або тонування поверхні покриття;
- г) фарбування, наповнення (ущільнення) анодно-оксидних плівок;

3) *сушка або обробка в спеціальних антикорозійних засобах* (емульсіях, що мають гідрофобні властивості, витісняють з поверхні деталей вологу й утворюють на них захисну плівку).

Операція сушки деталей здійснюється в сушильній шафі або сушильній камері впродовж часу та при температурі, що забезпечує повне видалення вологи з поверхні та з пор осадженого покриття.

Операція обробки в антикорозійних засобах у різних джерелах інформації має різні назви – гідрофобізація, ущільнення, наповнення, просочення, обробка антикором тощо. Антикорозійні засоби на основі розчинників можуть утворювати сухі або емалеподібні на вигляд плівки з м'якою воскоподібною консистенцією, яка протистоїть стіканню з поверхні деталі або всмоктуванню в пакувальні матеріали. При нанесенні на металеву поверхню вони швидко проникають в пори покриття і витісняють поверхневу вологу, залишаючи самовідновну захисну плівку, яка має високу стійкість до атмосферної вологості та корозії.

4) просочування маслом (для оксидних і фосфатних покриттів);

5) термічна обробка – з метою видалення поглинутого водню, зменшення внутрішніх напружень металу, виявлення прихованих дефектів (поганого зчеплення покриття з основою), зміни кристалічної структури покриття.

Приклад 4.

Описати призначення вибраних операцій, склади розчинів і режими здійснення операцій. Для вибору складу розчинів використовувати спеціальну літературу, інформацію з сайтів постачальників хімічної продукції, новітні науково-дослідні розробки, враховувати досвід роботи гальванічних цехів.

6 Розрахунок середньої товщини покриття і часу обробки

6.1 При нанесенні гальванічного покриття металами та сплавами густина струму по поверхні деталей неоднакова, що призводить до різної товщини покриття. З урахуванням цього явища середню товщину збільшують відносно заданої, щоб забезпечити виконання вимог до покриття. Середню товщину для кожного шару покриття визначаємо за формулою:

$$\delta_{\text{сер}} = \delta \cdot k_n + \delta_{\text{зн}}, \quad (1)$$

де $\delta_{\text{сер}}$ – середня товщина покриття, мкм;

δ – задана товщина покриття, мкм;

$\delta_{\text{зн}}$ – товщина покриття, яка знімається при наступній хімічній, електрохімічній або механічній обробці; мкм;

k_n – коефіцієнт, що враховує нерівномірність покриття і залежить від розсіювальної здатності електролітів і знаходиться в межах 1,1 – 1,3.

Часткове знімання покрить відбувається, якщо після осадження металевого покриття в технологічному процесі передбачається операції утворення нерозчинної пасивної плівки (неметалевого неорганічного покриття) в результаті хімічної (електрохімічної) взаємодії металу покриття з агресивним розчином. До технологічних операцій, що призводять до часткового знімання покрить, відносять операції хімічної та електрохімічної пасивації (хроматування, фосфатування, оксидування тощо) або фарбування металевих покрить (цинкових, кадмієвих, мідних, латунних, срібних, олов'яних тощо). Часткове знімання покрить також може відбуватись в результаті механічного, хімічного або електрохімічного полірування нанесеного металевого покриття.

Товщина покриття, що знімається при додатковій обробці покрить, орієнтовно може складати:

- до 2 мкм при пасивації цинкових та кадмієвих покрить;
- 1 – 1,5 мкм при хімічному та електрохімічному поліруванні;
- 2 – 3 мкм при механічному поліруванні.

6.2 Тривалість електролізу для одержання металевого гальванічного покриття визначається за формулою:

$$\tau = \frac{\delta_{\text{сер.}} \cdot \rho \cdot 60}{k \cdot j \cdot BC}, \quad (2)$$

де τ – тривалість електролізу, хв.;

ρ – густина металу покриття, г·см⁻³;

k – електрохімічний еквівалент, $\text{г} \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$;

BC – вихід за струмом, %;

j – густина струму, $\text{А} \cdot \text{дм}^{-2}$.

Якщо нанесення покриття відбувається в обертальних установках (барабанах або ковпаках), то в результаті взаємного тертя деталей відбувається часткове стирання покриття, для компенсації якого тривалість електролізу, розраховану згідно з формулою (2), слід збільшити в 1,3 – 1,5 рази (в залежності від твердості металу покриття).

Якщо технологічний процес передбачає осадження хімічних (наприклад, хімічне нікелювання) або конверсійних покриттів (оксидування, фосфатування, хімічне та електрохімічне фарбування, тонування тощо), то для таких процесів використання формул (1) та (2) є недоречним. В цьому разі визначення тривалості осадження покриття заданої товщини здійснюється за даними довідкової літератури або експериментально.

Якщо технологічний процес передбачає осадження металевого сплаву, то спочатку слід розрахувати його густину $\rho_{\text{спл}}$ та електрохімічний еквівалент $k_{\text{спл}}$. В загальному вигляді (для багатоконпонентних сплавів) формули для розрахунку виглядають таким чином:

$$\rho_{\text{спл}} = \frac{1}{\frac{N_1}{\rho_1} + \frac{N_2}{\rho_2} + \dots + \frac{N_i}{\rho_i}} \quad (3)$$

$$k_{\text{спл}} = \frac{1}{\frac{N_1}{k_1} + \frac{N_2}{k_2} + \dots + \frac{N_i}{k_i}} \quad (4)$$

де $\rho_{\text{спл}}$ – густина сплаву, $\text{г} \cdot \text{см}^{-3}$;

$\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_i$ – густина відповідного компонента сплаву, $\text{г} \cdot \text{см}^{-3}$;

$N_1, N_2, \dots, N_i$ – масова доля (вміст) відповідного компонента у сплаві (при цьому $N_1 + N_2 + \dots + N_i = 1$);

$k_{\text{спл}}$ – електрохімічний еквівалент сплаву, $\text{г} \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$;

$k_1, k_2, \dots, k_i$ – електрохімічний еквівалент відповідного компонента

сплаву, $\text{г} \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$.

Для бінарних (двокомпонентних) сплавів формули (3) та (4) в результаті математичних перетворень приймають такий вигляд:

$$\rho_{\text{спл}} = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2}{\rho_1 \cdot N_2 + \rho_2 \cdot N_1}, \quad (5)$$

$$k_{\text{спл}} = \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 \cdot N_2 + k_2 \cdot N_1}. \quad (6)$$

Приклад 5.

Середня товщину покриття напівблискучим нікелем:

$$\delta_{\text{сер.1}} = 12 \cdot 1,12 = 13,44 \text{ мкм.}$$

Середня товщину покриття блискучим нікелем:

$$\delta_{\text{сер.2}} = 6 \cdot 1,12 = 6,72 \text{ мкм.}$$

Тривалість електролізу для одержання покриття напівблискучим нікелем:

$$\tau_1 = \frac{13,44 \cdot 8,9 \cdot 60}{1,095 \cdot 3,0 \cdot 95} = 23,3 \text{ хв.}$$

Тривалість електролізу для одержання покриття блискучим нікелем:

$$\tau_2 = \frac{6,72 \cdot 8,9 \cdot 60}{1,095 \cdot 3,0 \cdot 95} = 11,7 \text{ хв.}$$

7 Карта технологічного процесу

Тривалість обробки в усіх ваннах хімічної обробки визначається за даними довідкової літератури або експериментально.

Тривалість промивання, як правило, становить 1–2 хв. у кожній ванні або на кожній ступені багатоступеневого промивання. За необхідності, тривалість промивання може бути зменшена до 20–30 с., але за умови інтенсивного перемішування води, яке є визначальним фактором якості промивання.

Для нашого прикладу розроблено технологічний процес нанесення бінікелевого покриття з виконанням всіх необхідних операцій в розчинах і при

режимах наведених в карті технологічного процесу. Приклад карти технологічного процесу представлений у табл.1.1.

Необхідно також визначити сумарну тривалість проходження деталями всієї технологічної лінії τ_{Σ} , що складається з суми тривалості кожної з операцій (яку можна прийняти максимальною) та часу, необхідного для перенесення деталей з однієї ванни до наступної (можна прийняти по одній хвилині на кожне перенесення з ванни у ванну).

Приклад 6.

Таблиця 1 – Карта технологічного процесу нанесення бінікелевого захисно-декоративного покриття

Операція	Склад розчину і концентрація		Режим			
	Найменування компонентів	Концентрація, г·дм ⁻³	Час обробки, хв.	Температура, °С	Густина струму, А·дм ⁻²	pH
1	2	3	4	5	6	7
Монтаж деталей на підвіску						
1 Електрохімічне знежирювання катодне	Натрій їдкий NaOH	20 – 40	4 – 6	60 – 70	3 – 5	
	Сода кальцинована Na ₂ CO ₃	15 – 35				
	Тринатрійфосфат Na ₃ PO ₄ ·12H ₂ O	20 – 35				
	Синтанол ДС–10	3 – 5				
2 Промивання проточне тепле	Вода питна		1 – 2	40 – 60		
3 Електрохімічне знежирювання анодне	Натрій їдкий NaOH	20 – 40	2 – 4	60 – 70	3 – 5	
	Сода кальцинована Na ₂ CO ₃	15 – 35				
	Тринатрійфосфат Na ₃ PO ₄ ·12H ₂ O	20 – 35				
	Синтанол ДС–10	3 – 5				
4 Промивання проточне гаряче	Вода питна		1 – 2	70 – 90		

Кінець таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7
5 Промивання проточне холодне	Вода питна		1 – 2	18 – 25		
6 Травлення	Кислота сульфатна H_2SO_4	150 – 200	3 – 5	18 – 25		
	Інгібітор KI-1	3 – 5				
7 Промивання проточне холодне	Вода питна		1 – 2	18 – 25		
8 Нікелювання напівблискуче	Нікель сульфат $NiSO_4 \cdot 7H_2O$	230 – 320	23,3	45 – 55	3	4,5 – 5,2
	Нікель хлорид $NiCl_2 \cdot 6H_2O$	40 – 60				
	Кислота борна H_3BO_3	25 – 40				
	Формалін (40%)	0,7 – 1,2				
9 Нікелювання блискуче	Нікель сульфат $NiSO_4 \cdot 7H_2O$	230 – 320	11,7	45–55	3	4,5– 5,2
	Нікель хлорид $NiCl_2 \cdot 6H_2O$	40 – 60				
	Кислота борна H_3BO_3	25 – 40				
	Формалін (40%)	0,7 – 1,2				
	1,4-бутіндіол	0,2 – 0,5				
	Хлорамін Б	0,5 – 0,6				
10 Уловлювання електроліту	Вода знесолена		1 – 2	18 – 25		
11 Промивання проточне холодне	Вода питна		1 – 2	18 – 25		
12 Промивання проточне гаряче	Вода питна		1 – 2	70 – 90		
13 Сушка			5 – 10	110		
Демонтаж деталей з підвіски						

Для представленої в таблиці 1.1 карти технологічного процесу сумарна тривалість проходження деталями всієї технологічної лінії з урахуванням часу, необхідного для перенесення деталей з попередньої до наступної ванни (13 перенесень по одній хвилині), складе:

$$\tau_{\Sigma} = (5 + 1 + 3 + 1 + 1 + 5 + 2 + 23,3 + 11,7 + 1 + 1 + 2 + 10) + 13 \cdot 1 \approx 80 \text{ хв.}$$

8 Контроль якості покриття і складу розчинів технологічного процесу

В даному підрозділі необхідно представити методику:

- контролю властивостей покриття, наведених в п. 4.2;
- контролю складів технологічних розчинів;
- корегування, очистки, фільтрації або заміни розчинів у разі погіршення або втрати ними працездатності.

ВИСНОВКИ

У висновку слід навести обґрунтування:

- вибору виду і товщини покриття для вирішення поставленої мети обробки;
- вибору технологічних операцій підготовки поверхні, нанесення покриття, фінішної обробки;
- вибору видів міжопераційних промивань;
- переваги обраної технологічної схеми в цілому.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

Якименко Г.Я., Артеменко В.М. Технічна електрохімія. Ч3. Гальванічні виробництва: Підручник/ за ред.. Б.І.Байрачного.– Харків: НТУ"ХП". 2006.– 272 с.

Гальванічні покриття. Аспекти вибору, функціональні властивості і технологія одержання . Навч. посібник / Г.Я.Якименко, В.М.Артеменко: за ред. Б.І.Байрачного – Харків: НТУ «ХП». 2009.– 148 с.

Якименко Г.Я., Харченко Е.П. Алгоритми і програми розрахунків в технічній електрохімії. Ч.1. Гальванічні виробництва: Навч. посібник. – Харків: НТУ "ХП". 2002.– 234 с.

Гальванотехніка. Проектування гальванічних виробництв: навч. посіб. / О. В. Лінючева, Л. А. Яцюк, Т. І. Мотронюк, О. І. Букет, С. В. Фроленкова. – Київ: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 147 с.

ДОДАТОК А

Класифікація деталей за групою складності

Група складності	Характеристика поверхні деталей
I	Поверхні деталей простої форми без різьблення: – пластини, – планки, – фланці, – деталі з ребрами жорсткості, – циліндричні деталі, – валики, – штифти.
II	Поверхні деталей, які не мають важкопромивних ділянок, що затримують стікання рідини: – кріпильні деталі з різьбою, – рельєфні деталі з наскрізними отворами, – штамповані деталі без порожнин – петлі, гаки, кручені пружини, гвинти, болти.
III	Поверхні деталей, що мають важкопромивні ділянки, в яких може затримуватися розчин: – деталі з глухими отворами, – деталі з внутрішнім різьбленням типу склянок, коробок, муфт, кожухів.

ДОДАТОК Б.1

Кліматичне виконання виробів

Кліматичне виконання виробів	Позначення		
	Кирилицею	Латиницею	Цифрове
Вироби, призначені для експлуатації на суші, річках, озерах			
Для макрокліматичного району з помірним кліматом	У	(N)	0
Для макрокліматичного району з помірним і холодним кліматом	УХЛ ³	(NF)	1
Для макрокліматичного району з вологим тропічним кліматом	ТВ	(TH)	2
Для макрокліматичного району з сухим тропічним кліматом	ТС	(TA)	3
Для макрокліматичного району як з сухим, так і з вологим тропічним кліматом	Т	(T)	4
Для всіх макрокліматичних районів на суші, крім макрокліматичних районів з дуже холодним кліматом (загально-кліматичне виконання)	О	(U)	5

³ Якщо основним призначенням виробів є експлуатація в районі з холодним кліматом і економічно недоцільно їхнє використання поза межами цього району, замість позначення УХЛ рекомендується позначення ХЛ (F).

Кліматичне виконання виробів	Позначення		
	Кирилицею	Латиницею	Цифрове
Вироби, призначені для експлуатації в макрокліматичних районах з морським кліматом			
Для макрокліматичного району з помірно-холодним морським кліматом	М	(M)	6
Для макрокліматичного району з тропічним морським кліматом, в тому числі для суден каботажного плавання або інших, призначених для плавання тільки в цьому районі	ТМ	(MT)	7
Для макрокліматичних районів як з помірно-холодним, так і тропічним морським кліматом, в тому числі для судів необмеженого району плавання	ОМ	(MU)	8
Вироби, призначені для експлуатації в усіх макрокліматичних районах на суші й на морі, крім макрокліматичних району з дуже холодним кліматом (усекліматичне виконання)	В	(W)	9

ДОДАТОК Б.2

Категорії розміщення виробів

Укрупнені категорії

1 – для експлуатації на відкритому повітрі (вплив сукупності кліматичних факторів, характерних для даного макрокліматичних району);

2 – для експлуатації під навісом або в приміщеннях (об'ємах), де коливання температури і вологості повітря несуттєво відрізняються від коливань на відкритому повітрі і є порівняно вільний доступ зовнішнього повітря, наприклад, в наметах, кузовах, причепах, металевих приміщеннях без теплоізоляції, а також в оболонці комплектного виробу категорії 1 (відсутність прямого впливу сонячного випромінювання і атмосферних опадів);

3 – для експлуатації в закритих приміщеннях (об'ємах) з природною вентиляцією без штучно регульованих кліматичних умов, де коливання температури і вологості повітря і вплив піску та пилу істотно менший, ніж на відкритому повітрі, наприклад, в металевих з теплоізоляцією, кам'яних, бетонних, дерев'яних приміщеннях (відсутність впливу атмосферних опадів, прямого сонячного випромінювання; суттєве зменшення вітру; суттєве зменшення або відсутність впливу розсіяного сонячного випромінювання і конденсації вологи);

4 – для експлуатації в приміщеннях (об'ємах) зі штучно регульованими кліматичними умовами, наприклад, в закритих опалювальних або охолоджуваних і вентильованих виробничих та інших, в тому числі добре вентильованих підземних приміщеннях (відсутність впливу прямого сонячного випромінювання, атмосферних опадів, вітру, піску і пилу зовнішнього повітря; відсутність або істотне зменшення впливу розсіяного сонячного випромінювання і конденсації вологи);

5 – для експлуатації в приміщеннях (об'ємах) з підвищеною вологістю (наприклад, в неопалюваних і не вентильованих підземних приміщеннях, в тому числі шахтах, підвалах, в ґрунті, в таких суднових, корабельних та інших приміщеннях, в яких можлива тривала наявність води або часта конденсація

вологи на стінах і стелі, зокрема, в деяких трюмах, в деяких цехах текстильних, гідрометалургійних виробництв тощо).

Додаткові категорії

1.1 – для зберігання в процесі експлуатації в приміщеннях категорії 4 і роботи як в умовах категорії 4, так і (короткочасно) в інших умовах, в тому числі на відкритому повітрі;

2.1 – для експлуатації в якості вбудованих елементів усередині комплектних виробів категорій 1; 1.1; 2, конструкція яких виключає можливість конденсації вологи на вбудованих елементах (наприклад, всередині радіоелектронної апаратури);

3.1 – для експлуатації в нерегулярно опалювальних приміщеннях (об'ємах);

4.1 – для експлуатації в приміщеннях з кондиціонованим або частково кондиціонованим повітрям;

4.2 – для експлуатації в лабораторних, капітальних житлових та інших подібного типу приміщеннях;

5.1 – для експлуатації в якості вбудованих елементів усередині комплектних виробів категорій 5, конструкція яких виключає можливість конденсації вологи на вбудованих елементах (наприклад, всередині радіоелектронної апаратури).

ДОДАТОК Б.3

Умови експлуатації металів, сплавів, металевих і неметалевих неорганічних покриттів

Позначення групи умов експлуатації	Умови експлуатації		Раніше прийняте позначення групи умов експлуатації
	Категорії виробів або категорії розміщення деталей (поверхонь)	Виконання виробів	
1	3*; 3.1	ТС	Л
	2.1; 3*; 3.1	У, ТУ, УХЛ (ХЛ)	
	4; 4.2	УХЛ (ХЛ), ТС	
	4.1	Всі виконання, крім У, ТУ, Т	
2	1.1; 2; 3	ТС	С1; С2
	2.1	ТВ, Т, О	
	3*; 3.1	ТВ, Т	
	4; 4.2	ТВ, О, М, ТМ, ОМ, В	
3	1	ТС	С3; С2
	1**; 1.1; 2; 3	У, ТУ, УХЛ (ХЛ)	
4	1.1	ТВ, Т, О, М, ТМ, ОМ, В	С4
5	1	У, ТУ, УХЛ (ХЛ)	Ж1; Ж2
	1**; 2	ТВ, Т, О	
	3	ТВ, Т	
6	1***; 2***; 2.1; 3; 3.1	М, ТМ, ОМ, В	Ж3
7	1	ТВ, Т, О	ОЖ1; ОЖ2
	5; 5.1	Всі виконання	

Позначення групи умов експлуатації	Умови експлуатації		Раніше прийняте позначення групи умов експлуатації
	Категорії виробів або категорії розміщення деталей (поверхонь)	Виконання виробів	
8	1; 2	М, ТМ, ОМ, В	ОЖЗ

* Тільки для деталей, розміщених в оболонках виробів з природною або штучною вентиляцією.

** Тільки для виробів, спеціально призначених для експлуатації в атмосфері типу І.

*** Тільки для виробів і деталей, захищених від попадання бризок морської води.

Примітка. Збільшення порядкового номера позначення групи умов експлуатації не означає збільшення ступеня впливу умов експлуатації для конкретного металу, сплаву, покриття.

ДОДАТОК Б.4

Мінімальна товщина покриттів в залежності від умов експлуатації

Позначення покриття	Призначення покриття	Групи умов експлуатації							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Матеріал деталі – сталь вуглецева									
Ц. хр. безбарвне	захисне, захисно-декоративне	6	12 ^{*1}	15	15 ^{*1}	–	–	–	–
Ц. хр.	захисне, захисно-декоративне	6	9	9	9 ^{*1}	9 ^{*1}	–	18 ^{*1}	–
Ц. хр. хакі	захисне, захисно-декоративне	6	9	9	9	15	–	18	–
Ц. хр. ч	захисне, захисно-декоративне, світлопоглинальне	6	15	15	15	18	–	–	–
Ц. хр./лкп	захисне	–	6	6	9	9	9	9	9
Ц. фос. гфж	захисне	–	15	–	15	–	18	18	–
Ц. фос./лкп	захисне	–	6	6	9	9	9	9	9
Ц	захисне	6	9	9	–	–	–	–	–
Кд	захисне	–	–	–	–	–	30	30	40
Кд. хр	захисне, захисно-декоративне	–	–	–	12 ^{*1}	–	18 ^{*1}	18 ^{*1}	18 ^{*1}
Н	Захисне, під пайку та зварювання, для підвищення електропровідності	9	–	18	–	–	–	–	–
Хім. Н	Захисне, під пайку	6	–	15	–	–	–	–	–
Хім. Н.тв	Для підвищення зносостійкості та твердості	15	24	24	24	24	24	24	24

Позначення покриття	Призначення покриття	Групи умов експлуатації							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Нд	захисне, захисно-декоративне	–	–	18	–	30	–	–	–
Нб. Х.б ^{*2}	захисно-декоративне	9	24	24	24	35	35	35	–
Нсил. Х.б ^{*2}	захисно-декоративне	–	21	21	21	30	30	40	40
Ндз. Х ^{*2}	захисно-декоративне	–	18	18	18	30	30	35	35
Нд. Х ^{*2}	захисно-декоративне	–	21	21	21	30	30	40	40
Нт. Х ^{*2}	захисно-декоративне	–	15	15	15	24	24	35	35
М. Н	захисне	6;3	18;9	18;9	18;9	18;9	18;9	–	–
М. Нб	захисно-декоративне	6;6	18;12	18;12	18;12	18;18	18;18	–	–
М. Н. ч	захисно-декоративне, світлопоглинальне	3	15	15	15	–	–	–	–
М. Н.б. Х.б ^{*2}	захисно-декоративне	9;6	24;12	24;12	24;12	24;12	24;12	35;15	35;15
М. Н. Х ^{*2}	захисне	6;3	15;9	15;9	21;15	21;15	21;15	21;15	–
М. Нсил. Х.б ^{*3}	захисно-декоративне	–	15;9	15;9	15;9	30;15	30;15	30;15	30;15
М. Нт. Х.б ^{*2}	захисно-декоративне	–	–	–	–	30;15	30;15	30;15	30;15
М. Ндз. Х.б ^{*3}	захисно-декоративне	–	–	–	–	24;15	24;15	24;21	24;21
М. Нд. Х.б ^{*2}	захисно-декоративне	–	–	–	–	24;15	24;15	30;15	30;15
Х. мол.	для роботи на тертя	9	18	18	18	24	24	35	60
Х. мол. Х. тв.	для підвищення зносостійкості, захисне	6;3	9;9	9;9	9;9	12;12	12;12	24;24	24;24

Позначення покриття	Призначення покриття	Групи умов експлуатації							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Н. Х.ч ^{*4}	декоративне, світлопоглинальне	3	3	–	–	–	–	–	–
М. О–С(60)	під паяння	6;6	6;6	12;9	12;9	12;9 ^{*1}	12;9 ^{*1}	12;9 ^{*1}	12;9 ^{*1}
М. О–С(60). опл.	під паяння	6;3	6;3	12;3	12;3	12;3 ^{*1}	12;3 ^{*1}	12;3 ^{*1}	12;3 ^{*1}
М. О–Ви(99,8)	під паяння	6;6	6;6	12;9	–	12;9 ^{*1}	12;9 ^{*1}	12;9 ^{*1}	12;9 ^{*1}
М. М–О(60)	для зменшення перехідного опору, підвищення поверхневої електропровідності, під паяння	9;6	21;9	21;9	21;9	21;9 ^{*1}	21;9 ^{*1}	21;9 ^{*1}	21;9 ^{*1}
М. О–Н(65)	захисне, для підвищення поверхневої електропровідності, під паяння	21;9	21;9	21;9	21;9	21;9 ^{*1}	21;9 ^{*1}	21;9 ^{*1}	21;9 ^{*1}
Н. О	захисне, під паяння	6;6	12;9	12;9	12;9	15;12 ^{*1}	15;12 ^{*1}	15;12 ^{*1}	–
Н. О–С(60)	захисне, під паяння	6;6	12;9	12;9	12;9	15;12 ^{*1}	15;12 ^{*1}	15;12 ^{*1}	
Н. О–С(60).опл.	захисне, під паяння	6;3	12;3	12;3	12;3	12;3 ^{*1}	12;3 ^{*1}	12;3 ^{*1}	12;3 ^{*1}
Н. О–Ви(99,8)	захисне, під паяння	6;6	12;9	12;9	12;9	15;12 ^{*1}	15;12 ^{*1}	15;12 ^{*1}	–
Матеріал деталі – сталь корозійностійка									
Х. тв	для підвищення зносостійкості	9	9	9	9	9	9	9	9
Х.мол.	захисне, для роботи на тертя	9	18	18	18	18	18	24	24
Хім.Н	для підвищення зносостійкості	9	9	9	9	9	9	9	9
Н	захисне, під паяння, для підвищення електропровідності	6	9	9	9	12	12	12	12

Позначення покриття	Призначення покриття	Групи умов експлуатації							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Н. Х.ч ^{*4}	світлопоглинальне	3	3	3	3	–	–	–	–
М. Х.ч ^{*4}	світлопоглинальне	3	3	3	3	–	–	–	–
Матеріал деталі – мідь та її сплави									
Н	захисне, під паяння	6	9	9	9	15	15	15	15
Н. б	захисно-декоративне	6	9	9	9	9	9	–	–
Н.б. Х.б	захисно-декоративне	6	9	9	9	12	15	15	15
Хім.Н.тв.	захисне; для підвищення зносостійкості; під паяння	6	9	9	9	12	12	15	15
Н.Х.ч ^{*4}	захисно-декоративне	6	6	9	9	9	9	15	–
Н.Х.ч ^{*4}	світлопоглинальне	1–3	3–6	6	6	–	–	–	–
Х. мол.	захисне; для підвищення зносостійкості при малих навантаженнях	9	18	18	18	18	18	21	–
О	під паяння, захисне	3	6	9	9	9	9	9	–
О. опл.	під паяння, захисне	3	3	3	3	3	3	3	3
О–С(60)	під паяння, захисне	6	9	9	9	9	9	9	9
О–С(60). опл.	під паяння, захисне	3	3	3	3	3	3	3	3
М. М–О(60)	під паяння, для підвищення поверхневої електропровідності	3;6	3;9	3;9	3;9	3;12	3;12	3;12	3;12

Позначення покриття	Призначення покриття	Групи умов експлуатації							
		1	2	3	4	5	6	7	8
О–Н(65)	захисне, для підвищення зносостійкості	–	–	–	–	12	12	15	15
Н. О–С(60)	під паяння	3;6	3;6	3;6	3;6	3;6	3;6	3;6	–
Н. О–С(60). опл.	під паяння	3;3	3;3	3;3	3;3	3;3	3;3	3;3	3;3
О–Ви(99,8)	під паяння, захисне	6	9	9	9	12	12	12 ^{*1}	12 ^{*1}
Н. О–Ви(99,8)	під паяння, захисне	3;3	3;6	3;6	3;6	3;6	3;6	3;6 ^{*1}	3;9 ^{*1}
Ср	для підвищення поверхневої електро- провідності, зменшення перехідного опору	3	3–6	3–6	6	9	9	12	12
Н. Ср ^{*5}		1–3;3	3;3	1–3;3	6;3	6;6	6;6	6;9	6;9
Зл ^{*5}	для зменшення перехідного опору	0,25–2	3	1–2	3	6	6	6	6
Н. Зл ^{*5}	для зменшення перехідного опору, збереження сталості електричних параметрів	1–3; 0,25–1	3; 1–3	1–3; 1–2	6; 1–3	6–9; 3	9; 3	9; 3	9; 3
Зл–Н(99,5–99,9)	для одержання низького стабільного перехідного опору	0,25–2	3	1–2	3	6	6	6	6
Зл–Н(98,5–99,5)	для одержання низького стабільного перехідного опору; для деталей, що працюють в умовах тертя	0,25–2	3	1–2	3	6	6	6	6
Зл–Н(93–95)	декоративне, для підвищення зносостійкості	0,25–2	3	1–2	3	6	6	6	6
Н.Зл–Н(99,5– 99,9)	для одержання низького стабільного перехідного опору	1–3; 0,5–1	1–3; 1–2	1–3; 1–2	1–3; 1–3	1–3; 1– 3	1–3; 1– 3	1–3; 1– 3	1–3; 1– 3

Позначення покриття	Призначення покриття	Групи умов експлуатації							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Н.Зл–Н(98,5–99,5)	для одержання низького стабільного перехідного опору; для деталей, що працюють в умовах тертя	1–3; 0,5–1	1–3; 1–2	1–3; 1–2	1–3; 1–3	1–3; 1– 3	1–3; 1– 3	1–3; 1– 3	1–3; 1– 3
Н.Зл–Н(93–95)	декоративне, для підвищення зносостійкості	1–3; 0,5–1	1–3; 1–2	1–3; 1–2	1–3; 1–3	1–3; 1– 3	1–3; 1– 3	1–3; 1– 3	1–3; 1– 3
Матеріал деталі – алюміній та його сплави									
Ц. хр.	для забезпечення здатності згвинчування	6	6	6	6	–	–	–	–
Н. Кд. хр.	захисне	12; 6	18; 18	–	18; 18	–	–	–	–
Н. М. Кд. хр.	захисне	3; 9; 6	3; 15; 18	–	3; 15; 18	–	–	–	–
Хім.Н. М. Кд. хр.	захисне	6; 9; 6	6; 15; 18	–	6; 15; 18	–	–	–	–
Н. М. Кд.	під паяння	6;3;6	9;6;15	–	9;6;15	–	–	–	–
Хім.Н. М. Кд.	під паяння	6;3;6	9;6;15	–	9;6;15	–	–	–	–
Н	захисне	18	24	–	–	–	–	–	–
Хім.Н ^{*5}	під паяння; для підвищення зносостійкості	6	12–18	12–18	12–18	–	–	–	–
Х. тв.	для підвищення зносостійкості	18	–	–	–	–	–	–	–
М. Н. Х.6 ^{*2}	захисно-декоративне	18;6	18;12	18;12	–	–	–	–	–
Н. М. Ср. ^{*5}	для підвищення поверхневої електропровідності	9; 3; 1–3	9; 3; 3–6	9; 3; 3–6	9; 3; 3–6	12; 3; 3–6	12; 3; 3–6	12; 3; 6	12; 3; 6

Позначення покриття	Призначення покриття	Групи умов експлуатації							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Хім.Н. М. Ср. ^{*5}	для підвищення поверхневої електропровідності	9; 3; 1–3	9; 3; 3–6	9; 3; 3–6	9; 3; 3–6	18; 3; 6–9	18; 3; 6–9	18; 3; 6–9	18; 3; 6–9
Н. О–Ви(99,8)	під паяння	9;6	–	9;9	–	–	–	–	–
Н. О–С(60)	під паяння	9;6	–	9;9	–	12;12	12;12	12;12	12;12
Хім.Н. М. М–О(60)	під паяння; для підвищення поверхневої електропровідності	–	–	–	–	9;3;9	9;3;9	18;3;12	18;3;12
Н. М. Н.ч	захисно-декоративне	9;15	–	–	–	–	–	–	–
Матеріал деталі – цинкові сплави									
М. Н.б	захисно-декоративне	9;9	–	9;15	–	9;30	–	–	–
М. Н. Х.б ^{*2}	захисно-декоративне	9;6	–	9;15	–	9;24	–	9;30	–
М. Нд. Х.б ^{*2}	захисно-декоративне	–	–	–	–	9;18	–	9;24	–
М. Нт. Х.б ^{*2}	захисно-декоративне	–	–	–	–	9;18	–	9;24	–

Примітки:

^{*1} з додатковим захистом, крім лако-фарбових покриттів;

^{*2} товщина хрому 0,5–1 мкм;

^{*3} товщина хрому 0,25–0,5 мкм;

^{*4} товщина чорного хрому не нормується;

^{*5} мінімальну товщину встановлюють в залежності від специфіки виробу;

ДОДАТОК В

Умовні позначення металевих та неметалевих неорганічних покриттів, які прийнято використовувати в технічній документації

Таблиця В.1 – Позначення способів одержання покриттів

Спосіб	Умовне позначення
Контактний	Кт
Контактно-механічний	Км
Хімічний	Хім
Анодне окиснення алюмінію:	
захисне	Ан. Окс.
кольорове	Аноцв
тверде	Ан. Окс. тв.
електроізоляційне	Ан. Окс. из.
ематаль	Ан. Окс. ент
захисно-декоративне, наповнене у фарбнику	Ан. Окс. (колір)
захисно-декоративне, наповнене в хроматному розчині	Ан. Окс. нхр
ематаль, наповнена у фарбнику	Ан. Окс. ент (колір)

Таблиця В.2 – Приклади позначення металів

Метал	Умовне позначення
Алюміній	А
Вісмут	Ви / Bi
Вольфрам	В
Золото	Зл
Індій	Ин / In
Іридій	Ир / Ir
Кадмій	Кд
Кобальт	Ко
Манган	Мц
Мідь	М
Молібден	Мо
Нікель	Н
Олово	О
Паладій	Пд
Платина	Пл
Реній	Ре
Родій	Рд
Рутеній	Ру
Свинець	С
Срібло	Ср
Сурма	Су
Титан	Тн
Хром	Х
Цинк	Ц

Таблиця В.3 – Приклади позначення різних видів нікелевих покриттів

Вид нікелевого покриття	Умовне позначення
Матове нікелеве покриття	Н
Напівблискуче нікелеве покриття	Нпб
Блискуче нікелеве покриття	Нб
Блискуче нікелеве покриття, одержане за допомогою блискоутворювачів	Нбо
Блискуче нікелеве покриття, сумісно осаджене з нерозчинними у воді струмонепровідними мікропорошками, наприклад, каоліном	Нз
Сіл-нікелеве покриття, нижній шар якого – блискуче нікелеве покриття, верхній – нікелеве покриття з заповнювачем товщиною до 1 мкм	Нсил
Мікротрецинувате нікелеве покриття товщиною 0,5 – 2,0 мкм, що має суцільну сітку тріщин по всій робочій поверхні	Нмс

Таблиця В.4 – Позначення багатошарових покриттів

Вид багатошарового покриття	Умовне позначення	
	Скорочене	Повне
Двошарове нікелеве (бінікель)	Нд	Нпб.Нб
Двошарове покриття нікель-сіл	Нсил	Нбо.Нз
Двошарове покриття з заповнювачем	Ндз	Нпб.Нз
Тришарове нікелеве (тринікель)	Нт	Нпб.Нс.Нбо
Тришарове нікелеве покриття з заповнювачем	Нтз	Нпб.Нс.Нз
Мікротрецинувате нікелеве покриття	—	Нпб.Нб.Нмс
		Нб.Нмс
Двошарове хромове	—	Хмол.Хтв

Таблиця В.5 – Приклади позначення композиційних покриттів

Композиційне покриття	Умовне позначення
Нікель з оксидом алюмінію	$H(Al_2O_3)$
Хром з оксидом кремнію	$X(SiO_2)$
Нікель з каоліном	$H(Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O)$
	H_3

Таблиця В.6 – Приклади позначення сплавів

Сплав	Масова доля компонентів сплаву
М–Ц(60) або М–Ц(50–60)	Cu – 50 % – 60 %, Zn – решта (40 % – 50 %)
М–О–С(78;18) або М–О–С(70–78; 10–18)	Cu – 70 % – 78 %, Sn – 10 % – 18 %, Pb – решта
М–О або Бр	мідь-олово (бронза)
М–Ц або Л	мідь цинк (латунь)
Н–Б	нікель-бор
Н–Ф	нікель-фосфор

Таблиця В.7 – Позначення додаткової обробки покриття

Найменування	Позначення
Гідрофобна обробка	гфж
Наповнення у воді	нв
Наповнення у розчині хроматів	нхр
Нанесення лакофарбового покриття	лкп
Оксидування	окс
Оплавлення	опл
Просочення лаком, клеєм, емульсією	прп
Просочення маслом	прм
Термообробка	т
Тонування	тн
Фосфатування	фос
Хімічне фарбування, в тому числі наповнення в розчині фарбника	найменування кольору
Хроматування	хр
Електрохімічне фарбування	ел. найменування кольору

Таблиця В.8 – Позначення функціональних властивостей покриттів

Покриття	Позначення
Блискуче	б
Блискуче, одержане з електролітів з блискоутворювачем	бо
Безбарвне	бцв
Дзеркальне	зк
Електропровідне	э
Електроізоляційне	еіз
Зносостійке	зн
Матове	м
Молочне	мол
Мікропористе	мр
Мікротріщинувате	мс
Напівблискуче	пб
Пористе	пор
Райдужне	—
Світлостійке	сс
Тверде	тв
Хакі	хакі
Чорне	ч
Шорстке	шр

ДОДАТОК Г

Фізичні константи металів

Метал	Атомна маса A , $\text{г} \cdot \text{моль}^{-1}$	Густина ρ , $\text{г} \cdot \text{см}^{-3}$	Валентність z	Електрохімічний еквівалент k , $\text{г} \cdot \text{А}^{-1} \cdot \text{год.}^{-1}$
Ag	107,87	10,50	1	4,025
Au	196,97	19,3	1	7,35
			3	2,45
Cd	112,4	8,64	2	2,097
Co	58,933	8,9	2	1,10
Cr	51,99	7,19	3	0,647
			6	0,323
Cu	63,54	8,93	1	2,37
			2	1,185
Fe	55,845	7,86	2	1,042
Ni	58,71	8,9	2	1,095
Pb	207,2	11,34	2	3,865
Pd	106,42	12,02	2	1,985
Pt	195,085	21,45	2	3,64
Rh	102,91	12,41	3	1,28
Sn	118,71	7,31	2	2,215
			4	1,107
Zn	65,37	7,13	2	1,22

Навчальне видання

Методичні вказівки
до виконання курсової роботи
«Розробка технологічного процесу нанесення гальванічного покриття»

для студентів
спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія»

Укладачі:
ЛЕЩЕНКО Сергій Анатолійович
ДЕРІБО Світлана Германівна

Відповідальний за випуск проф. Тульський Г. Г.
Роботу рекомендував до друку проф. Штефан В. В.

Комп'ютерна верстка
В авторській редакції

План 2023 р., поз. 126

Підп. до друку __.__.2023.
Гарнітура Times New Roman.

Видавничий центр НТУ «ХП».
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2.

Самостійне електронне видання