МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Факультет хімічних та біофармацевтичних технологій

Кафедра хімічних технологій та ресурсозбереження

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему:

«Удосконалення технології нанесення нікелевого покриття на мідні деталі в автоматичній лінії»

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 161 Хімічні технологія та інженерія

Освітня програма Технічна електрохімія та електрохімічна енергетика

Виконав: студент групи МгТЕ-23

 Тіщенко Д.І.

Науковий керівник к.т.н., доц. Крюкова О.А.

Рецензент Павлій О.В.

Київ 2024КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Факультет хімічних та біофармацевтичних технологій

Кафедра хімічних технологій та ресурсозбереження

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність161 Хімічні технології та інженерія

Освітня програма Технічна електрохімія та електрохімічна енергетика

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувачка кафедри ХТР

 Вікторія ПЛАВАН

“\_\_\_\_”\_\_\_\_\_\_2024 р.

**З А В Д А Н Н Я**

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

**Тіщенку Давиду Ігоровичу**

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Удосконалення технології нанесення нікелевого покриття на мідні деталі в автоматичній лінії»

Науковий керівник роботи Крюкова Олена Анатоліївна к.т.н., доцент

затверджені наказом КНУТД від “03” вересня 2024 р. № 188-уч.

2. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: матеріали з практики, зарубіжні та вітчизняні монографії та періодичні видання. Електроліт кислий. Завдання з річною програмою 15000 м2.

3. Зміст кваліфікаційної роботи (перелік питань, які потрібно опрацювати): провести літературний огляд з даної тематики, складання технологічної карти, розрахунок балансів струму, напруги, енергії, вибір і обґрунтування покриття, заходи охорони праці, автоматизація процесу нікелювання, екологічна безпека.

4. Дата видачі завдання 06.09.2024

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №з/п | Назва етапу кваліфікаційної роботи | Орієнтовний термін виконання  | Примітка про виконання |
| 1 | Вступ |  |  |
| 2 | Розділ 1. Літературний огляд в області нанесення нікелевих покриттів на мідні деталі |  |  |
| 3 | Розділ 2. Об’єкт та методи досліджень |  |  |
| 4 | Розділ 3. Технологічна частина |  |  |
| 5 | Розділ 4. Охорона праці  |  |  |
| 6 | Висновки |  |  |
| 7 | Оформлення (чистовий варіант) |  |  |
| 8 | Подача кваліфікаційної роботи науковому керівнику для відгуку |  |  |
| 9 | Подача кваліфікаційної роботи для рецензування (за 14 днів до захисту) |  |  |
| 10 | Перевірка кваліфікаційної роботи на наявність ознак плагіату та текстових співпадінь (за 10 днів до захисту) |  |  |
| 11 | Подання кваліфікаційної роботи на затвердження завідувачу кафедри (за 7 днів до захисту) |  |  |

 З завданням ознайомлений:

 Студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_ Давид Тіщенко ( підпис ) (прізвище та ініціали)

 Науковий керівник роботи \_\_\_\_\_\_\_\_\_ Олена КРЮКОВА

 ( підпис ) (прізвище та ініціали)

**АНОТАЦІЯ**

«Удосконалення технології нанесення нікелевого покриття на мідні деталі в автоматичній лінії».

Тіщенко Д.І., Київ. КНУТД

Кваліфікаційна робота, 2024 рік, кількість сторінок - 74, таблиць - 7, рисунків - 3, схем - 2.

У кваліфікаційній роботі запропоновано технологію і проведені відповідні технологічні розрахунки параметрів процесу й обладнання для нанесення нікелевого покриття на мідні деталі в автоматичній лінії річною програмою 15000 м2. Запропоновано оптимальні параметри технологічного процесу, які забезпечать якісне покриття, що надійно захищає мідні деталі від корозії. Осадження нікелевого покриття проводиться у кислому електроліті при катодній густині струму 3 А/дм2.

Було проаналізовано приміщення цеху з точки зору пожежної безпеки, запропоновано ряд протипожежних заходів, а також заходи на випадок виникнення надзвичайної ситуації.

 Ключові слова: нікелювання, автоматична лінія, гальванічна ванна, електроліт нікелювання, електроди, очищення стічних вод.

**ANNOTATION**

«Improvement of the technology of applying nickel coating on copper parts in an automatic line».

Tishchenko D.I., Kyiv. KNUTD

Qualification work, 2024, number of pages - 74, tables - 7, figures - 3, schemes - 2.

In the qualification work, the technology was proposed and appropriate technological calculations of the process parameters and equipment were carried out for the application of nickel coating on copper parts in an automatic line with an annual program of 15,000 m2. The optimal parameters of the technological process are proposed, which will provide a high-quality coating that reliably protects copper parts from corrosion. The nickel coating is deposited in an acidic electrolyte at a cathodic current density of 3 A/dm2.

The premises of the workshop were analyzed from the point of view of fire safety, a number of fire prevention measures were proposed, as well as measures in case of an emergency situation.

Key words: nickel plating, automatic line, galvanic bath, nickel plating electrolyte, electrodes, wastewater treatment.

**ВСТУП**

Для захисту поверхні виробів і конструкцій, додання їм декоративного вигляду, а також певних функціональних властивостей в сучасній промисловості широко використовуються гальванічні покриття хромом, нікелем, їх сплавами і багатошаровими композиціями з цих металів. Деякі недоліки таких гальванічних покриттів, а саме виникнення залишкових розтягуючих напружень в поверхневому шарі готового виробу, наводнювання основи, зниження їх циклічної міцності і твердості при нагріванні, є причинами їх недостатньої ефективності в умовах високої температури або одночасного впливу агресивних середовищ і динамічних навантажень.

 Нікелеві покриття використовуються в промисловості для захисту деталей і виробів зі сталі і кольорових металів від корозії та для підвищення зносостійкості металевих поверхонь, схильних до тертя. Гальванічні нікелеві покриття є катодами по відношенню до заліза і можуть забезпечити захист тільки при відсутності в них отворів. З цієї причини сталь спочатку покривають шаром міді (25-35 мкм), а потім нікелем (10-15 мкм). Найбільш широко використовуються сульфатно-хлоридні електроліти. Електроліти, що містять добавки похідних бутиндіолу, мають властивість осаджувати дрібнозернисте, еластичне, гладке глянсове покриття. Основним недоліком покриття є його низька корозійна стійкість через вміст сірки. Цього недоліку можна уникнути, зробивши покриття в 2 або 3 шари [1].

 Хімічні нікелеві покриття сьогодні користуються все більшим попитом, і було виявлено, що один з типів таких покриттів (наприклад, високий вміст фосфору, середній вміст фосфору, низький вміст фосфору та композитні нікелеві покриття) при необхідності не може володіти всіма фізичними і механічними властивостями, необхідними для конкретного застосування.

***Актуальність теми.*** Двошарові нікелеві покриття зазвичай поєднують два типи покриттів, які можуть покращити властивості окремих шарів. Значна кількість варіантів таких покриттів вже застосовано в металообробній промисловості [2]. Споживчими характеристиками, які можуть бути поліпшені для використання в певних умовах, є:

- підвищена довговічність;

 - підвищена корозійна стійкість;

 - кращі змащувальні і антиадгезійні властивості;

 - більш тривалий термін служби алюмінієвої ванни;

 - краща відбивна здатність покриття.

 Враховуючи актуальність обраної теми, метою було проаналізувати сучасні методи нанесення захисних нікелевих покриттів на мідні деталі, порівняти споживчі характеристики формованої захисної плівки і спроєктувати гальванічний цех для нанесення нікелевих покриттів на мідні деталі в автоматичній лінії.

***Метою*** даного дослідження є процес нанесення захисних і декоративних нікелевих покриттів для додання мідним деталям антикорозійних властивостей.

***Завдання дослідження:***

- проаналізувати поточний стан проблеми надання електрохімічних послуг та визначити, який склад електроліту є актуальним серед виробників гальванічних покриттів;

- розробити технологічний процес нанесення нікелевого покриття на мідні деталі;

- проаналізувати шкідливі і небезпечні виробничі фактори на спланованому виробництві і запропонувати заходи з охорони праці;

***Предметом*** даного дослідження є технічний процес електроосадження нікелю, який оптимізує розміщення деталей на підвісці.

***Методи дослідження:***

- порівняльний аналіз основних видів нікелевих електролітів, які найбільш широко використовуються в сучасній електрохімічній промисловості;

- використання методів розрахунку технічних параметрів процесу електроосадження нікелю;

- використання методів контролю якості готової продукції;

- використання методів аналізу шкідливих і небезпечних виробничих факторів.

***Практична цінність.*** В рамках даної роботи розроблена технологія і проведені розрахунки обладнання для нанесення нікелевого покриття на мідні деталі. Розраховані оптимальні параметри гальванічного процесу, в ході якого наноситься високоякісне покриття, надійно захищає деталь від корозії, і запропоновані відповідні заходи з охорони праці.

***Елементи наукової новизни.*** Запропоновано методику нанесення захисно-декоративного нікелевого покриття на мідь. Розрахунок технологічного процесу та обладнання проводиться з метою оптимізації розташування електродів у ванні та деталей на підвісках, що призводить до зниження енергоспоживання на одиницю продукції. Запропоновано реагентний спосіб очищення стічних вод, який є дуже простим і економічно вигідним.

***Особистий внесок.*** Особистий внесок здобувача полягає в самостійному аналізі літератури з розв’язуваної проблеми, виконанні технологічних розрахунків, аналізі та математичній обробці одержаних результатів, формулюванні в співавторстві з науковим керівником мети, задач, основних теоретичних положень і висновків роботи.

***Публікації.*** За результатами дипломної магістерської роботи було опубліковано одну наукову статтю та тези науково-практичної конференції.

***Структура та обсяг роботи.*** Кваліфікаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел.

Матеріали роботи викладені на 74 сторінках і містять 3 рисунки, 7 таблиць, 3 схеми та 22 посилання на роботи вітчизняних і зарубіжних авторів.

ЗМІСТ

ВСТУП……………………………………………………………………………6

Розділ 1. Літературний огляд в області нанесення нікелевих покриттів……12

1.1 Характеристика нікелевого покриття…………………………….…12

1.2 Вимоги до покриття……………………………………………….…14

1.3 Електроліт для нанесення нікелевого покриття…………………….15

 1.3.1 Огляд електролітів нікелювання…………………………………15

 1.3.2 Вибір електроліту нікелювання……………………………….…17

 Висновки до розділу…………………………………………………….21

Розділ 2. Об’єкт та методи досліджень………………………………………...22

2.1 Об’єкт досліджень……………………………………………………22

2.2 Методи досліджень………………………………………………...…23

 2.2.1 Контроль якості покриттів…………………………………….…23

 2.2.2 Контроль зовнішнього виду покриттів………………………….23

 2.2.3 Контроль товщини покриття…………………………………….25

 2.2.4 Контроль міцності зчеплення……………………………………25

 2.2.5 Контроль пористості покриття……………………………….….26

Висновки до розділу…………………………………………………. ….26

Розділ 3. Технологічні розрахунки…………………………………………..…27

3.1 Визначення фондів робочого часу обладнання………………..……28

3.2 Визначення виробничої програми……………………………..…….29

3.3 Вибір і розрахунок кількості обладнання і його габаритних

розмірів……………………………………………………………………30

3.4 Баланс струму………………………………………..…………….….35

3.5 Баланс напруги в ванні………………………………..………….…..36

3.6 Вибір джерела струму………………………………………..………38

3.7 Баланс енергії…………………………………………………………38

3.8 Тепловий баланс………………………………………………………39

 3.8.1 Розрахунок затрат теплоти на розігрів ванни………………...…40

 3.8.2 Розрахунок затрат теплоти на підтримання робочої

 температури………………………………………………………..……41

 3.8.3 Розрахунок кількості енергії необхідної для підтримання робочої температури у ванній…………………………………………………..42

3.9 Матеріальний баланс……………………………………………..…..43

3.10 Розрахунок споживання анодів……………………………….……43

3.11 Розрахунок споживання хімічних реактивів………………………44

3.12 Розрахунок споживання води………………………………………45

3.13 Автоматизація процесу нікелювання………………………………48

3.14 Очистка стічних вод…………………………………………..….…50

Висновки до розділу……………………………………………………...57

Розділ 4. Охорона праці…………………………………………………………58

4.1 Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на об’єкті проектування. Дії по охороні праці…………………………….…..58

 4.1.1 Повітря робочої зони…………………………………………….58

 4.1.2 Виробниче освітлення…………………………………………....61

 4.1.3 Виробничий шум……………………………………………….…64

 4.1.4 Електробезпека……………………………………………………65

 4.1.5 Безпека технологічного процесу і обслуговування обладнання……………………………………………………………………….68

 4.1.6 Пожежна безпека……………………….…………………………69

Висновки до розділу……………………………….……………………..70

Загальні висновки……………………………………………..…………………71

Список літератури……………………………………………...………………..72

**РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД В ОБЛАСТІ НАНЕСЕННЯ НІКЕЛЕВИХ ПОКРИТТІВ**

1.1 Характеристика нікелевого покриття

Нікелеві покриття широко застосовуються в різних галузях промисловості. Використання нікелю в гальванічних покриттях обумовлене його фізико-хімічними властивостями. Нікель — сріблясто-білий метал з інтенсивним блиском, атомна маса якого становить 58,7. Він має відбивну здатність у видимій частині спектра 58-62%, густину 8900 кг/м³ і температуру плавлення 1452°C. Електрохімічний еквівалент нікелю — 1,095 г/мм². Твердість осадів матового нікелю складає 150-250 кг/мм², а блискучого — 500-550 кг/мм² [1, 2]. Нікель є дуже стійким у середовищі води і повітря за нормальної температури. Проте в атмосфері, що містить забруднювачі на кшталт SO₂ і SO₃, нікель швидко тьмяніє, що може призвести до корозії. При нагріванні на повітрі на поверхні нікелю утворюється тонка, еластична плівка NiO, що змінює забарвлення поверхні.

Нікелеві покриття наносяться на метали, такі як Fe, Cu, Ti, Al, Be, W, а також їх сплави. Нікель стабільний у природній, дистильованій і рухомій воді, проте піддається корозії в стоячій морській воді. У розбавлених H₂SO₄ і HCl нікель розчиняється повільніше за залізо, легко розчиняється у розведеній азотній кислоті, а концентрована HNO₃ робить його пасивним. Нікель не реагує з азотом навіть при температурі до 1400°C. У лужних розчинах він стабільний, а органічні кислоти впливають на нього лише при тривалому контакті. Нікель не шкодить вітамінам і не є токсичним.

Нікель має недолік у здатності поглинати велику кількість газів, що погіршує його механічні характеристики. Його реакція з киснем розпочинається лише при температурі від 500°C [3].

Стандартний електродний потенціал нікелю дорівнює 0,25 В, і в усіх середовищах він виступає катодним покриттям для заліза. Основна умова для забезпечення захисту заліза від впливу зовнішніх факторів — непористість нікелевого покриття. Менша товщина шару нікелю підвищує пористість, тоді як товщина 25-30 мкм робить його майже непористим. Через високу вартість та обмеженість нікель наносять на мідний підшар, що допомагає зменшити необхідну товщину. За відсутності ціаністих електролітів іноді використовують тонкий шар нікелю, поверх якого наноситься мідний шар. Така комбінація підвищує захист сталі від корозії краще, ніж одинарний нікелевий шар такої ж товщини. Це пояснюється меншою ймовірністю появи наскрізних пор у разі двошарового покриття, що доходять до основного металу.

Застосування нікелевих покриттів обмежене через дефіцитність цього металу, адже він активно використовується для виробництва численних корозійностійких і жароміцних сплавів [2, 3].

Для захисно-декоративних цілей нікелеві покриття часто замінюють тонкими шарами білої бронзи, а також покриттями на основі нікелевих сплавів з цинком, фосфором або бором. У випадках, де потрібна висока зносостійкість, застосовують хромові або композитні покриття на основі нікелю, заліза з корундом або іншими твердими матеріалами.

Корозійний вплив навколишнього середовища, що визначається умовами експлуатації виробів, є одним з найважливіших чинників для вибору покриттів. Згідно з ДСТУ 9.032-2005, умови експлуатації класифікуються на чотири групи за рівнем агресивності: легкі (Л1), середні (С2), жорсткі (Ж3) і дуже жорсткі (охолоджуюча рідина ОР4), з урахуванням таких факторів, як рівень забруднення повітря, корозійні агенти, температура та інші кліматичні умови.

*Таблиця 1.1.*

Класифікація деталей по групам складності

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Група складності | Характеристика | Представники |
| 1 | Деталі простої геометричної форми, плоскі і кільцеподібної форми без різьблення | Пластини, накладки, шайби, упори, кільця. |
| 2 | Деталі складних геометричних форм, які не мають ділянок, що важко відмиваються. | Рельєфні деталі з наскрізними отворами і різьбленням, кронштейнами, болтами. |
| 3 | Деталі, які мають важкодоступні місця промивання, які можуть містити електроліти. | Деталі з глухими отворами, деталі зі сліпим різьбленням і т.д. |

Під час нікелювання деталей з міді та її сплавів, які використовуються за різних умов експлуатації, рекомендується наступна товщина нікелевого шару: для легких умов — 3 мкм, для середніх умов — 6 мкм, а для жорстких умов — 9 мкм [4]. Це забезпечує оптимальний захист виробів від корозії та зносостійкість відповідно до рівня агресивності навколишнього середовища.

1.2 Вимоги до покриття

До нікелевих покриттів пред'являються такі вимоги:

1. Зовнішній вигляд: колір покриття може варіюватися від білого до сріблясто-сірого. При зберіганні нікельованих деталей допускається потьмяніння поверхні, але не допускаються темно-жовті чи коричневі відтінки.
2. Якість покриття: покриття повинно бути блискучим, гладким і рівномірним по товщині в межах допуску по всій поверхні. Наявність дефектів, таких як дендрити, припухлості або лущення, є неприпустимою.
3. Однорідність: покриття повинно бути однорідним по товщині, тверде та непористе. Ці характеристики перевіряються під час контролю якості покриття після його нанесення.

Ці вимоги сприяють забезпеченню необхідної функціональності та естетичності нікелевих покриттів у різних галузях застосування [5].

1.3 Електроліт для нанесення нікелевого покриття

1.3.1 Огляд електролітів нікелювання

Для нікелювання використовуються різноманітні електроліти, такі як сульфатний, хлоридний, сульфаматний, борфторидний, силікафторидний та інші.

Основними компонентами нікелевих електролітів є:

1. Сіль нікелю, яка забезпечує джерело іонів металу, що осідають на катоді.
2. Солі, що підвищують електропровідність розчинів і допомагають депасивувати аноди нікелю.
3. Буферні сполуки, які підтримують стабільний рівень кислотності розчину.

До складу електролітів також додають спеціальні присадки, що збільшують розчинність анодів, запобігають утворенню шламу, покращують твердість покриття та зменшують його пористість. Це сприяє досягненню високої якості покриттів, що є важливим для їх довговічності та ефективності.

 Сульфатні електроліти є найпоширенішими в промисловості для нікелювання. Існує велика кількість складів та режимів осадження, які дозволяють отримувати нікелеві покриття з різними фізичними та хімічними властивостями. Вихід катодного струму при використанні сульфатних електролітів становить близько 90-100% [6].

Хлористий нікель, який активно використовується за кордоном, практично не застосовується в Україні через високу вартість і обмежене виробництво. Раніше популярна ванна з подвійною сульфатною сіллю нікелю і амонію зараз використовується рідше, оскільки вона має низьку розчинність і дозволяє працювати тільки зі слабо концентрованими електролітами, що обмежує густину струму.

У міжнародній практиці використовуються електроліти на основі фториду нікелю бору, які відзначаються підвищеною дисперсійною здатністю та високою продуктивністю, що робить їх ефективними для отримання якісних покриттів.

Сульфат натрію та сульфат магнію іноді додаються до електролітів сульфату нікелю для підвищення їх електропровідності. Сульфат натрію покращує провідність розчинів, але в присутності сульфату магнію нікелеві осади стають м'якшими, легшими і легше полірованими [5-7].

Борна кислота зазвичай використовується як буферна речовина для підтримки стабільної кислотності електроліту. Органічні кислоти, такі як лимонна, винна та оцтова, а також їх солі, застосовуються значно рідше, здебільшого в особливих випадках. Вони можуть використовуватися як буфери в специфічних технологічних процесах, але це менш поширена практика.

Для покращення розчинення анодів у ванну можуть додаватися солі хлориду натрію або калію. Важливу роль у цьому відіграє хлористий нікель, який активно використовується за кордоном для цього процесу.

Щоб отримати блискучі покриття, до електроліту вводять спеціальні добавки — блискоутворювачі. Сучасна промисловість знає багато різних блискотворювачів органічного і неорганічного походження. Однак більшість з цих добавок можуть погіршити фізичні, механічні та корозійні властивості нікелевих покриттів, а також сприяти утворенню ямок на поверхні. Деякі глянцеві концентрати можуть збільшувати товщину відкладень у мікрозападинах катодної поверхні, що сприяє вирівнюванню або згладжуванню мікропрофілю. Такі добавки називаються вирівнюючими, і вони сприяють поліпшенню якості покриття [7].

Ряд сполук, що знижують поверхневий натяг розчинів нікелю, сприяють зменшенню точкового утворення в нікелевих електролітах, покращуючи якість осадів. Ці добавки допомагають досягти рівномірного і високоякісного покриття.

В Україні широко використовуються електроліти для блискучого нікелювання, оскільки вони дозволяють отримати покриття безпосередньо з ванни, що значно спрощує виробничий процес. Це скорочує кількість операцій і сприяє автоматизації обробки. Блискучий нікель, завдяки своїй здатності згладжувати дрібні нерівності на деталях, надає їм естетичний вигляд. Це особливо важливо для деталей зі складним профілем, які не можуть бути піддані механічному поліруванню. Навіть після механічної обробки, деталі з блискучим нікелевим покриттям виглядають гарно і мають привабливий декоративний вигляд.

Необхідно зазначити, що процес нікелювання вимагає найвищого рівня підготовки поверхні деталей і суворого дотримання технологічних режимів, порівняно з іншими методами гальванічного покриття. Нікелеві ванни дуже чутливі до забруднень, тому важливо дотримуватись високих стандартів чистоти як для вихідних реагентів, так і для середовища, в якому проводиться процес. Будь-яке стороннє забруднення може призвести до погіршення якості покриття, а в деяких випадках — до повної неефективності нікелювання.

1.3.2 Вибір електроліту нікелювання

Електроліти для блискучого нікелювання, окрім основних компонентів, таких як сульфат нікелю, борна кислота та хлориди, мають включати спеціальні добавки, відомі як глянцеутворювачі. Ці добавки суттєво змінюють процес електрокристалізації нікелю, дозволяючи отримувати блискучі покриття на достатній товщині як на глянцевих, так і на матових поверхнях. Для досягнення кращого ефекту глянцю та якісного покриття при підвищеній щільності струму необхідно збільшити концентрацію основних компонентів електроліту. Так, вміст нікелю підвищують до 60-100 г/л, хлоридів — до 10 г/л або навіть до 68 г/л, а борну кислоту вводять у кількості не менше 38 г/л. Висока концентрація борної кислоти сприяє покращенню пластичності покриттів, а також їх здатності добре склеюватися [8].

 Згідно з класифікацією, глянцеутворюючі добавки поділяються на два класи: слабкі глянцеві речовини та сильні глянцеві речовини.

Слабкі глянцеві речовини призводять до отримання блискучих покриттів лише на добре полірованих поверхнях, при цьому їх блиск зменшується з товщиною покриття. Вони не впливають на катодну поляризацію. До таких добавок відносяться [9]:

* уротропін;
* паратолуолсульфамід;
* сахарин;
* хлорамін B та інші.

Ці речовини зазвичай використовуються для отримання високоякісних глянцевих покриттів при малих товщинах шарів.

Концентрати сильного блиску забезпечують досягнення блиску не лише на полірованих, але й на матових поверхнях, при цьому блиск не залежить від товщини покриття. Вони підвищують катодну поляризацію і сприяють вирівнюванню мікрорельєфу, однак це може погіршити механічні властивості осадів [10]. До таких добавок відносяться:

* кумарин;
* тіосечовина;
* 1,4-бутиндіол.

При спільному використанні присадок 1-го і 2-го класу утворюються пластичні осади з рівномірним блиском. У таких випадках концентрати 1-го класу виконують роль пластичних добавок. Важливо, щоб присадки 2-го класу не пригнічували адсорбцію присадок 1-го класу на катоді для забезпечення оптимальних результатів [9-11].

Більшість глянцеутворюючих і змочувальних добавок є сульфоновими сполуками. Під час електроосадження вони можуть утворювати сульфамід нікелю, що може негативно впливати на механічні та корозійні властивості покриттів через вміст сірки в шламі.

Режим експлуатації має значний вплив на властивості нікелевих покриттів. Зокрема, підвищення температури і щільності струму в межах оптимальних значень сприяє зниженню внутрішнього напруження та покращенню блиску покриттів. Ідеальна температура для нанесення нікелевих покриттів становить 50-60°C. Це дозволяє досягти рівномірних і високоякісних результатів.

Для забезпечення стабільності і високої якості покриттів, всі електроліти повинні постійно змішуватися, фільтруватися та очищатися вибірково. Це гарантує відсутність домішок, що можуть негативно впливати на якість осадів і їх експлуатаційні характеристики [11].

 Електроосадження нікелю з розчинів простих солей має кілька специфічних особливостей. Одна з них полягає у високій катодній поляризації, що виникає через малу перенапругу водню. Це створює певні труднощі, оскільки водень виділяється одночасно з металом на катоді. Це може призвести до небажаних ефектів, таких як утворення пористих і неприязних покриттів. Висока катодна поляризація та виділення водню можуть значно погіршити якість осадів і знизити ефективність процесу, що потребує коригування параметрів для досягнення бажаного результату.

 Ni2++mH2O + *2е* → Ni + nН2О;

 Процес електроосадження нікелю містить кілька складних взаємодій на поверхні електрода. Іони нікелю в електроліті оточені шаром молекул води. Під час процесу осадження частина молекул води відривається від оболонки іона, що вимагає енергії. Цей процес, відомий як хімічна поляризація, призводить до збільшення перенапруги, що спостерігається на електроді.

При низьких значеннях рН (менше 1-2) осадження нікелю майже не відбувається, і замість нього на катоді виділяється водень. При підвищенні рН потенціал виділення водню стає більш негативним, створюючи умови для спільного осадження водню та нікелю. Однак на високих значеннях рН осадження нікелю припиняється через гідроліз, що призводить до утворення оксиду або гідроксиду нікелю, який проникає в покриття. Це призводить до пористості, шорсткості та потемніння покриттів. При дуже високих значеннях рН можна навіть побачити зеленуватий осад нерозчинних солей нікелю на деталях [10-12].

Ця взаємодія між рН розчину, виділенням водню та осадженням нікелю є критично важливою для досягнення якісних покриттів нікелем без дефектів.

Точкове вивчення, або точкове утворення пор, є одним з головних дефектів при нікелюванні. Це явище виникає, коли бульбашки газоподібного водню затримуються на поверхні катода під час електроосадження. Вони блокують подальший процес осадження нікелю на цих ділянках, внаслідок чого на покритті утворюються пори. Це погіршує як механічні, так і декоративні властивості покриття, знижуючи його захисні властивості проти корозії.

Сприятливими факторами для утворення цих пор є підвищений поверхневий натяг, що сприяє затримці бульбашок на поверхні. Гідроксиди, органічні сполуки та навіть продукти їх розпаду або пил можуть значно погіршити цей процес, збільшуючи ймовірність утворення дефектів на покритті. Вони можуть діяти як каталізатори для формування точок, де водень затримується, що призводить до пористості покриття.

 Для ефективного нікелювання часто використовують плоскі рамки зі смугового титану зі стінками з перфорованого пластику в якості анодів. Цей конструктивний підхід дозволяє збільшити активну поверхню анодів, що забезпечує більш рівномірний і ефективний процес осадження нікелю. У рамки, як правило, вставляють шматочки нікелю, що дозволяє ще більше збільшити активну площу, підвищуючи ефективність осадження [12].

Аноди, включаючи рамки, повинні бути обгорнуті спеціальними чохлами з тканини, як «хлор» або «пояс», які попередньо обробляються в 2-10% розчині хлороводневої кислоти. Цей процес допомагає вивести залишки забруднень та окислів з поверхні, забезпечуючи кращу ефективність осадження. Для підготовки анодів вони також очищуються сталевими щітками від шламу, що утворюється під час процесу [11].

 **Висновки до розділу.** У розділі проведений огляд електролітів для електрохімічного нікелювання. Проаналізовані склади електролів нікелювання для різних видів покриттів та виявлені фактори, які мають найбільший вплив на якість утворених покриттів.

**РОЗДІЛ 2. ОБ’ЄКТ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

2.1 Об’єктом дослідження є процес нанесення нікелевих покриттів на

мідні деталі з метою надання їм антикорозійних властивостей.

Вихідні дані для технічних розрахунків:

- задана продуктивність обладнання (ванн): 15500 м2/рік;

- товщина гальванічного покриття: 9 мкм;

Характеристика деталей:

- габаритні розміри: h=5мм, d=50мм;

- площа вкриваємої поверхні: 4,71·10-3 м2 ;

Характеристика розчину електроліту [8].

Склад електроліту:

NiSO4·6H2O - 66 г/л;

NiCl2 - 12 г/л;

H3BO3 40 г/л.

Густина та електропровідність розчину електроліту:

1190 кг/м3; 0,4 Ом -1·см [7].

Режим проведення процесу електролізу.

- Напруга на клемах ванни:12 В.

- Потенціал під струмом: катода та анода: Е К =-0,73В; Е А =0,43В.

- Основні та побічні катодні і анодні електродні реакції:

Катод: Ni2+ + 2e = Ni0 (98%)

2H + + 2e = H2 (2%)

Анод: Ni0 = Ni2+ + 2е (100%)

Густина струму: на катоді 3A/дм3

Температура електроліту: 55°С [6].

Значення ентальпії вихідних і кінцевих продуктів електродних

реакцій, що протікають в процесі нанесення покриття

ΔН(Ni) = - 53,14 кДж/моль; ΔН(Н2) = 0.

2.2 Методи дослідження

2.2.1 Контроль якості покриттів

Контроль якості проводиться відповідно до ДСТУ 9.302

 Якість нікелевих покриттів значною мірою залежить від стану основного металу, тому контроль за його підготовкою та станом є важливою частиною процесу. Перш ніж наносити покриття, необхідно перевірити шорсткість поверхні основного металу, щоб забезпечити хорошу адгезію. Також важливо виявити будь-які дефекти поверхні, такі як тріщини, піттінг або корозія, оскільки вони можуть погіршити якість покриття та знижувати його захисні властивості [11-13].

Металеві покриття повинні відповідати певним вимогам, серед яких важливими є:

* Зовнішній вигляд: покриття повинно бути рівним, без плям або дефектів.
* Товщина: вона повинна відповідати нормативам і гарантувати надійний захист від корозії.
* Пористість: покриття не повинно бути пористим, оскільки це може призвести до його руйнування і зниження ефективності захисту.
* Міцність зчеплення: покриття повинне мати хорошу адгезію до основного металу, що забезпечує його стійкість до механічних навантажень і термічних коливань.

Таким чином, контроль якості покриття та основного металу є важливим етапом для досягнення бажаних механічних і корозійних властивостей фінішного покриття.

2.2.2 Контроль зовнішнього виду покриттів

Всі деталі, що проходять нікелювання, повинні бути оглянуті без спеціальних інструментів, в добре освітленому приміщенні, на відстані 25 см від поверхні. Основні вимоги до зовнішнього вигляду покриття, отриманого з нікелевого електроліту, такі:

1. Колір покриття: покриття повинно мати колір від сріблясто-сірого до сріблясто-білого.
2. Допустимі дефекти: на поверхні можуть залишатися сліди механічної обробки прокату та інші відхилення, що дозволені стандартами або технічними умовами на основний метал. Також можуть бути допустимі плями і темні смуги в отворах, що важко очистити.
3. Невизначені ознаки: не вважаються дефектами нерівномірність кольору і блиску, сліди водяних патьоків або «підсвічування», які з'являються при огляді вимірювальними інструментами і пристроями [14].

Ці критерії дозволяють забезпечити належну якість покриття, враховуючи можливі невеликі варіації, що не впливають на функціональні характеристики.

При покритті деталей декількома видами покриттів або за допомогою утеплювача, деякі ознаки, що виникають на поверхні, не вважаються дефектами, якщо вони не порушують функціональності покриття. До таких ознак можна віднести:

1. Зміщення облямівки покриття: допустиме зміщення облямівки до 2 мм вниз або в іншу сторону, що може виникнути через зміни в умовах нанесення або взаємодії з іншими покриттями.
2. Перетворення спайок покриття: окремі спайки одного покриття, що переходять в інше, можуть бути допустимими за умови, що це не впливає на міцність або ефективність захисних властивостей.
3. Потемніння металу: потемніння металу в зоні переходу від одного покриття до іншого, хоча й може бути помітним, але вважається допустимим, якщо воно не погіршує механічні або корозійні властивості покриття.

Ці дефекти є допустимими за умови, що вони не впливають на функціональність і захисні властивості покриття.

2.2.3 Контроль товщини покриттів

Для контролю товщини нікелевого покриття використовують різні методи, в залежності від вимог точності та виду покриття. Ось основні методи:

1. Струменевий метод застосовують для визначення місцевої товщини покриття в діапазоні від 3 до 30 мкм на площі 0,3 см². Цей метод полягає у напрямленні струменя розчину на покриття для його руйнування. Товщина покриття визначається за часом руйнування або обсягом використаного розчину.
2. Крапельний метод також дозволяє вимірювати місцеву товщину покриття. Краплі розчину наносяться на покриття, і визначається кількість крапель, які знадобляться для повного знищення покриття. В результаті порівнюються з калібрувальним графіком для визначення товщини.
3. Металографічний метод є арбітражним і використовується для більш точного вимірювання товщини, зокрема при налагодженні процесу. Це вимагає розрізання деталі, підготовки металографічного зрізу та вимірювання товщини покриття через оптичні прилади.
4. Гравіметричний метод використовується для дорогих покриттів (золото, срібло, паладій). Метод заснований на зважуванні деталі до і після зняття покриття. Вимірюючи зміни маси, можна визначити товщину покриття, якщо відома площа поверхні [15].

2.2.4 Контроль міцності зчеплення

Для контролю пористості покриття застосовуються два основних методи:

1. Метод сітки подряпин використовується для покриттів товщиною до 20 мкм. Він полягає у нанесенні на поверхню покриття 4-6 паралельних ліній на відстані 2-3 мм одна від одної, а потім додатково перпендикулярних ліній. Після цього перевіряється, чи не відшаровується покриття на місцях перехрещення ліній. Якщо лущення не спостерігається, покриття має достатню міцність зчеплення.
2. Метод підпилювання застосовується до деталей з товщиною покриття понад 5 мкм. Для цього зразок з покриттям затискається в лещатах, і по його зрізу напилком проводиться підпилювання з напрямком тирси від основного металу до покриття під кутом 45º. Якщо покриття не відшаровується, то його міцність зчеплення є задовільною [13-15].

Ці методи дозволяють перевіряти не тільки товщину покриття, але й його надійність та адгезію до основного матеріалу, що критично важливо для довговічності покриття.

2.2.5 Контроль пористості покриття

Для контролю пористості покриття можна використовувати метод фільтрувального паперу. Цей метод полягає в накладанні змоченого розчином залізо-синерододного калію або хлориду натрію фільтрувального паперу на поверхню деталі, при цьому важливо, щоб між поверхнею і папером не залишалося повітряних бульбашок. Після витримування на поверхні деталі протягом 5 хвилин, папір знімається, і на ньому з'являються відбитки пір у вигляді точок або плям. Після цього папір промивають дистильованою водою та сушать на чистому склі [15].

* Сині точки на папері вказують на пори, що утворилися на сталевих деталях.
* Червоні або коричневі точки свідчать про пори на мідних поверхнях.

**Висновки до розділу.**

В розділі визначений об’єкт дослідження, яким являється процес

електролітичного нікелювання на мідні деталі та методи дослідження якості утворених покриттів.

**РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ**

Вихідні дані для технічних розрахунків:

- зазначена потужність обладнання (ванни) становить 15000 м2/рік.

- товщина гальванічного покриття: 9 мкм.

Характеристика деталей з покриттям:

- габаритні розміри: Н=5мм, D=50мм.



Рис. 1. Мідна деталь

- площа поверхні: 4,71·10-3 м2

Характеристика розчину електроліту.

- Склад електроліту з конкретною вказівкою на концентрацію окремих компонентів:

 NiSO4·6H2O 66 г/л; NiCl2 12 г/л; H3BO3 40 г/л

* Щільність і електропровідність розчину електроліту: 1190 кг/м3; 0,4Ом-1·см.

Режим електролізу.

* Напруга на клемах ванни:12.
* Потенціал струму: катод і анод: EK = -0,73 В, EA = 0,43 В.

Реакції основного і бічного катодного і анодного електродів:

К: 1. Ni2+ + 2e = Ni0 (98%)

1. 2H+ + 2e = H2 (2%)

А: 3. Ni0 = Ni2+ + 2е (100%)

Густина струму: катод 3А/дм3

Температура електроліту: 55°C [8]

Значення ентальпії вихідних і кінцевих продуктів електродних реакцій, що протікають в процесі нанесення покриття

ΔН(Ni)=-53,14кДж/моль; ΔН(Н2)=0

3.1 Визначення фондів робочого часу обладнання

Режим роботи, згідно з яким встановлюється номінальний фонд робочого часу Тн, залежить від характеру і виду виробництва всього підприємства, місцевих умов праці, особливостей процесів і обладнання.

Тн = [Тсут (Тв + Тпр)/Тр.д.· Тр.н. - Тпр'] · Nсм,

де Тсут - кількість днів у році, 365; Тв – кількість вихідних днів у році, 104 дні; Тпр – кількість офіційних святкових днів у році, 10 днів; Тр.д – кількість робочих днів на тиждень, 5 днів; Тр.н. - кількість робочих годин на тиждень, 36 годин; Тпр' — кількість годин, на які скорочуються святкові дні, 6 годин; Nсм - число змін.

Тн = [365 – (104 + 10)∙41/5 - 6]∙1 = 2052 год.

При визначенні фактичного тимчасового фонду обладнання /Тд/ необхідно враховувати сумарні щорічні втрати часу на неминучі простої обладнання, які становлять від 3 до 10% від Тн. на рік.

Тд = Тн – К∙Тн,

де К - коефіцієнт, що враховує втрати часу на ремонт обладнання і простої обладнання через відсутність працівників з поважних причин. Втрати часу на ремонт обладнання залежать від складності його ремонту, для третьої групи (автомати) К = 5%.

Тд = 2052 – 0,05∙2052 =1950 год.

3.2 Визначення виробничої програми

Розрахунок виробничої програми проводиться на рік, день або годину. Щорічне завдання цеху – Рзад = 15000м2/рік. Для того щоб встановити річну виробничу програму Рр, річне завдання необхідно збільшити на кількість деталей, що підлягають корекції

Ргод = Рзад + α∙Рзад,

Де α - коефіцієнт, що враховує виправлений дефект деталей, становить 2%.

Рріч =15000 + 0,02∙15000 = 15300 м2/рік

Добова виробнича програма Рдоб:

Рдоб = Рріч/Тдоб,

Де Тдоб – кількість днів у році.

Рдоб = 15300/251 =61м2/доба

Годинна виробнича програма Ргод

Ргод= Ррік/Тд ,

де Тд – Діючий річний фонд часу роботи обладнання

Ргод = 15300/1950 = 7,8 м2/год.

3.3 Вибір і розрахунок кількості обладнання і його габаритних розмірів

Вибір обладнання визначається характером обробки деталей, обсягом поставленого завдання, а також прийнятим технологічним процесом. Стаціонарні ванни з перфорованими стінками використовуються для обшивки сталевих деталей.

Щоб розрахувати кількість обладнання, необхідно знати:

- час τ, необхідний для обробки деталей в даній операції з урахуванням часу на їх завантаження, хв;

- час τ(k), на організацію і проведення початкового завантаження і остаточного розвантаження ванн, хв.

- час τ відноситься до переробки однієї вантажної одиниці і складається з двох значень:

τ = τ1 + τ2,

де τ1 –технологічний час (час обробки деталей в барабані), хв; τ2 – допоміжний час, хв.

Час τ1 розраховується за формулою

τ1 = δ∙d∙60/ik∙Bт∙Ке

де δ – товщина покриття, 9∙10-6м; d – щільність металу, що підлягає наплавленню, 8900 кг/см3; ik – Середня густина катодного струму, 300 А/м2; Bт – вихід по струму, 98 %; Ке – електрохімічний еквівалент, 1,095∙10-3 кг/(А·год)

τ1 = 9∙10-6∙8900∙60/300∙0,98∙1,095∙10-3 = 15 хв.

Час витрачений τ2 при початковому навантаженні і вивантаженні деталей при відключенні струмом збільшується до 2 хв.

τ1 = 2 + 15 = 17 хв.

Виходячи з фактичного річного фонду часу роботи обладнання Тд Визначення кількості завантажень n

n= Тд ∙60/τ∙ Кобор = 1950∙60/17∙1,08= 6373

Де Кобор – коефіцієнт, що враховує витрачений час (1,08 при роботі в одну зміну).

Потім одноразове завантаження всіх ванн Ус, кг:

Ус = Ргод /n=15300/6373=2,4

Виходячи з розмірів деталей, визначають кількість деталей на підвісці:

P = Nдет ∙Sдет м2.

Nдет - Кількість деталей на підвісці

Sдет – площа деталі

Площа деталі:

Sдет= 2πr(r+h)= 4712,4мм2 =4,71∙10-3м2

Vдет=πr2 h=9,8∙10-6м3

m=87,7 гр

d=8900 кг/м3

Матеріал: мідь

Одна підвіска вміщує в себе 20 рядів деталей. У кожному ряду по 6 деталей. При цьому ванна вміщує:

Nдет= 20·6=120 дет.

Р=4,71·10-3·120=0,564 м2



Рис. 2. Схематичний вигляд лінії для гальванічного покриття деталей

Габарити підвіски: lп=1,4 м, Вп=0,14 м, hп=0,4 м

Визначення необхідної кількості ванн n:

n = Pn/P = 2.4/0.56 =4,25=5

Виходячи з отриманих значень, розраховується річна місткість ванни:

Ргод' = P∙n∙Тд∙60/ τ =0,56 ∙5∙1950∙60/17 = 19408 м2/год

Коефіцієнт завантаження обладнання:

К1 = Ргод / Ргод' = 15300/19408 = 0,78

Зовнішній вигляд лінії для гальванічного покриття деталей:



Рис.3. Автоматична лінія електролітичного нікелювання

Внутрішня довжина ванни:

Lвн=lп+2l1

Де; lп-Розмір підвішування по довжині ванни, м; l1- відстань між анодом і торцевою стінкою, м;

Lвн=1,4+2∙0,10=1.6 м

l1- Відстань між підвісом і торцевою стінкою приймається рівним в межах 0,1…0,15 м;

Внутрішня ширина ванни:

Ввн =Вп+2lа-к+2Ва+2В1

Вп - Розмір підвіски по ширині ванни; Вп=0,14 м;

lа-к- відстань між підвіскою і анодом; Приймаємо 0,1…0,25м

lа-к=0,20 м;

Ва-товщина анода; Приймаємо Ва=0,005м.

В1- відстань між внутрішньою стінкою ванни і анодом; приймаємо 0,05…0,1м; В1=0,1м;

Ввн=0,14+2·0,2+2·0,005+2·0,1=0,75 м.

Внутрішня висота ванни:

Hвн=hп+ h1+h2+h3

hп - Висота підвісу;

hп= 0,4м ;

h1- відстань від дна ванни до нижнього краю підвісу; приймаємо 0,15…0,2м; h1=0,2 м;

h2 - висота електроліту над верхнім краєм підвіски; приймаємо h2=0,15 м;

h3 -відстань від поверхні дзеркала електроліту до верхнього краю бортів ванни; приймаємо h3=0,2 м;

Hвн=0,4+0,2+0,15+0,2=0,95 м.

Виходячи з отриманих розрахунків, вибираємо ту ванну, яка найбільш близька за своїми габаритними розмірами:

L=1600мм B=1000мм

H=1000мм.

Так як коефіцієнт навантаження знаходиться в межах (0,75 - 0,95), то ванна буде працювати в штатному режимі. Таким чином, обрана ванна повністю відповідає нашим вимогам.

Позначення 66.000-08, позначення ванни по ОСТ2П-65-1-80 1808.

Вага ванни: мв =465 кг

Вага підкладки: мф =34 кг

Об'єм ванни: - vв =1,45 м2

3.4 Баланс струму

Сила струму, що протікає в ванні:

I = iк·Sсум·К ,

Де iк - густина катодного струму дорівнює 3 А/дм2 = 300 А/м2; К – Коефіцієнт, що враховує площу контакту (1,1); Sсум - Загальна площа покритої поверхні деталей S = 0,564м і неізольована частина поверхні занурювальної підвіски S2, м2. Значення S2зазвичай береться за рівне 3....15% величини S=10%.

Sсум = ( S + S2) · nп ,

Де nп – Кількість підвісок з деталями в одній ванні, шт.

Sсум = (0,564 + 0,05) · 1 = 0,62м2

Отже, сила струму, що протікає в ванні, дорівнює:

I = 300 · 0,62 · 1,1 = 205 А

На електродах протікають такі електрохімічні процеси:

К: 1. Ni2+ + 2e = Ni0 ( 98% )

1. 2H+ + 2e = H2 (2% )

А: 3. Ni0 = Ni2+ + 2е (100% )

Частка струму, що йде на той чи інший процес, визначається струмом на виході процесу, А:

I = I· Вт / 100

Сила струму при реакціях, А:

I1 = 205 · 98 / 100 = 201 А

I2 = 205 · 2 / 100 = 4 А

*Таблиця 3.1.*

Баланс струму

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Прихід | Q, А·год | % | Витрата | Q, А·год | % |
| Від зовнішнього джерела живлення |  205 | 100 | Виділення NiВиділення H2 | 2014 | 982 |
| Підсумок  | 205 | 100 | Підсумок  | 205 | 100 |

3.5 Баланс напруги на ванні

Напруга на ванні складається з різниці електродних потенціалів на катоді і аноді ЕК  і ЕА,і суми втрат на омічні напруження ΔUОМ  На окремих ділянках електролізера:

Uна ванні = ЕА - ЕК + ΔUОМ,

ΔUОМ = ΔUОМ. ЕЛ-ТА + ΔUОМ. ЕЛ-ДА

ЕА-потенціал електрода на аноді;

ЕК- потенціал електрода на катоді;

ΔUОМ. ЕЛ-ТА - Омічне падіння напруги в електроліті;

ΔUОМ. ЕЛ-ДА - Омічне падіння напруги в провідниках першого роду і в контактах.

ΔUОМ. ЕЛ-та = (iср· l) / æ,

де L - відстань між анодом і катодом.

З довідника ми дізнаємося, що електропровідність для нікелевого електроліту дорівнює æ = 4 См/дм.

Визначимо відстань між анодом і підвісом:

ΔUОМ. ЕЛ-та = 2,12· 2/4 = 1,06 В

iср = ; так как SА/SК = 2/1, то iА/ iК = 1/2, Звідси можна знайти iср як

iср = == 2,12 А/дм2

Uна ван. = (ЕА - ЕК + ΔUОМ.ЕЛ-ТА)/0,9 = (-0,43 – (-0,73) + 1,06)/0,9 = 1,51 В;

Напруга джерела постійного струму для ванни з нікелюванням:

UИ.Т. = Uна ван. / 0,9 = 1,51/0,9 = 1,68 В

Падіння напруги в контактах і провідниках першого роду

ΔUш = 0,1[(ЕА - ЕК)+ ΔUОМ.ЕЛ-ТА]/0,9 = 0,1 [(-0,43 – (-0,73) + 1,06] /0,9 = 0,15 B

Складові балансу узагальнені в таблиці нижче.

*Таблиця 3.2.*

Баланс напруги

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Прихід | U, B | % | Споживання | U, B | % |
| Напруга на Ванна | 1,51 | 100 | 1. Різниця потенціалів електрода під дією струму, (ЕА - ЕК).
2. Падіння напруги для подолання омічного опору електроліту, ΔUОМ. ЭЛ
3. Падіння напруги в контактах і в провідниках першого виду.
 | 0, 31,060,15 | 520770110 |
| Підсумок | 1,51 | 100 | Підсумок  | 1,51 | 100 |

3.6 Вибір джерела струму

Виходячи з сили струму на ванні I = 205 А і напруги на ванні

E = 3-6 В, вибираємо джерело постійного струму.

Електрохімічні покриття ванн живляться від випрямних установок. Випрямний блок серії Т має високу точність стабілізації параметрів, можливо їх дистанційне керування.

Т – вказує на тип випрямного блоку (територіальний);

Е – тип охолодження (природний);

Вибираємо ТЕ1 - 400/12Т.

Перший числовий індекс означає клас характеристик перевантаження по ДСТУ 7505:2014, другий - номінальний струм (постійний) в амперах I = 400 А; третя - номінальна постійна напруга у вольтах U=12В.

3.7 Баланс енергії

Електрична енергія Wзаг., з'єднаний з електролізером, перетворюється в хімічну Wхім і в термальному (джоулеве тепло) Wдж енергії. Енергія Wхім Він впливає на зміни в складі матеріалу, що відбуваються в результаті електрохімічних реакцій на поверхні електродів і хімічних реакцій в обсязі розчину. Енергія Wдж витрачається на нагрівання розчину.

Wзаг = Wхім + Wдж

Wзаг = I·Uв·τд·60 = 205·1,51·53·60 = 984369 Дж = 984кДж,

 де τд – Час роботи ванни, 53 хв.

Процес електроосадження здійснюється за допомогою розчинних анодів і з виходом струму, близького до 100%, тому вся електрична енергія, що подається, перетворюється в тепло. Wзаг = Wдж

*Таблиця 3.3.*

Баланс енергії

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Прихід | Wзаг , кДж | % | Споживання | Wдж, кДж | % |
| Загальний прихід енергії | 984 | 100 | Тепло Джоуля | 984 | 100 |
| Підсумок | 984 | 100 | Підсумок | 984 | 100 |

3.8 Тепловий баланс

В гальванічних цехах для нагрівання розчинів використовують різні методи, включаючи електричний струм, водяну пару і гарячу воду. Найбільш часто застосовується пар під тиском 0,2-0,3 МПа, оскільки він ефективно передає тепло до ванн, зберігаючи стабільну температуру для процесів, які вимагають постійного нагріву. У випадках, коли температура ванни повинна бути вищою за 110°C (наприклад, при хімічному окисленні сталі), або коли необхідно обігрівати невеликі ділянки, використовують електричний підігрів. Це також є зручним для маленьких ванн, де обсяг розчину обмежений.

Метою теплового розрахунку ванн є визначення необхідної кількості тепла, яку потрібно подавати для досягнення і підтримки робочої температури в процесі. Під час цього розрахунку визначають параметри опалювальних приладів та витрату теплоносія, що забезпечить стабільність температурного режиму і ефективність процесу.

3.8.1 Розрахунок затрат теплоти на розігрів ванни

Кількість теплоти Qраз, необхідної для обігріву ванни складається з витрати тепла Q1 Для нагріву розчину, матеріалу і облицювання ванни і витрати тепла Q2/2 та компенсації теплових втрат у навколишнє середовище:



де - теплові втрати при робочій температурі при нагріванні ванни} приймаються, що в процесі нагрівання тепловтрати в два рази нижче.

Величину визначають как

= (V1·C1·γ1 + C2·m2 + C3·m3 + Ca·ma)·(tk-tн),

де V1, C1, γ1 - відповідно об'єм, питома масова теплоємність, 3060 Дж/кгК і щільність нагрітого розчину, 1190 кг/ м3; C2 и C3, Ca - Теплоємність ванни, анода, футерувальних матеріалів: для сталі – близько 500 Дж/(кг·К), для вінілового пластику - близько 1630 Дж/( кг·К), для нікелевих анодів – 448 Дж/(кг·К); m2, m3, ma, вага корпусу ванни, анодів - 112 кг і підкладки; tk и tн -кінцева і початкова температури розчину.

V1 = 1,45м3, m2 =465 кг,

m3 = Vф·γ3 = 0,02 м3·1405кг/ м3 = 34 кг

Vф =2∙VB + 2∙ VL + Vдно

Vф=2∙0,00284 +2∙0,0064+ 0,00568 = 0,02416 м3

Кількість тепла для компенсації тепловтрат в навколишнє середовище складається з тепловтрат нагрітою рідиною через стінки ванни і втрати тепла через дзеркало електроліту

Q2 = Q3 + Q4

Втрати тепла через стіни ванни

Q3 = q3∙Fk∙τp,

 Q4 = q4∙Fз∙τp.

Де величина тепловипромінюючої поверхні (корпусу ванни Fk, 6,8м2 або дзеркала з електролітом Fз, 1,6м2); Величина питомої тепловтрати q через стінки ванни; час розігріву ванни τp.

Величина питомих тепловтрат q3 (Bт/м2) через стінки бані в діапазоні температур у ванні 40-100°С дорівнює:

q3 = b0 + b1·t = -40,54 + 2,435·60 = 105,56 Bт/м2

q4 = 82+ 0,0115·t3 = 82 + 0,0115·(60)3 = 2566 Bт/м2

Q3 = 105,56 ·6,8·3600·10-3 = 2584 кДж

Q4 = 2566·1,6·3600·10-3 = 14780 кДж

Q2 = 2584 + 14780 = 17364 кДж

= (1,45∙3060∙1190 + 500∙465 + 34∙1630 + 448∙56) ∙(60-20) = 223721 кДж

Qраз = 223721 + 17364 /2 = 232403 кДж

3.8.2 Розрахунок затрат теплоти на підтримання робочої температури

Кількість тепла Qраб необхідний для підтримки робочої температури в лазні, яка складається з витрати тепла Q2 для компенсації теплових втрат в навколишнє середовище і споживання тепла Q5 нагрівання приладів з періодично надходять в ванну деталями. Для електрохімічної обробки ванн від суми Q5 і Q2 відняти значення Q6 – кількість тепла, що виділяється при проходженні електричного струму по ванні. Таким чином,

Qраб = Q2 + Q5 - Q6

Q6 = WДж = 984 кДж

Q5 = (C4·m4 + C5·m5)·(tk-tн)·nед.зав.

де - C4, C5 -питома масова теплоємність оброблюваних деталей і підвіски; m4, m5 – маса підвіски (12 кг) і оброблюваних деталей одного одиничного навантаження (10,5 кг); nед.зав.- Кількість завантажувальних одиниць оброблюваної в ванні за годину.

Q5 = (452∙12 + 385,2∙10,5)∙(60-20)∙3,53 = 1337 кДж

Qраб = 12059 + 1337 -984 = 12412 кДж

3.8.3 Розрахунок кількості енергії необхідної для підтримання робочої температури у ванній

Wроб = Qроб/3600∙1000= 12412∙103/3600∙1000 = 3,4 кВт∙год.

Розрахуємо кількість енергії, необхідної для нагріву ванни

Wроз = Qроз/3600∙1000 = 133223∙103/3600∙1000 = 64 кВт∙год.

*Таблиця 3.4.*

Тепловий баланс

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Прихід | Q, кДж | % | Споживання | Q, кДж | % |
| Тепло Джоуля | 984 | 7 | Для підігріву розчину і матеріалу ванни Q2 | 12059 | 90 |
| Для підтримки робочої температури ванни Qраб | 12412 | 93 | Витрата тепла на опалювальні прилади з деталями Q5 | 1337 | 10 |
| Підсумок | 13396 | 100 | Підсумок | 13396 | 100 |

3.9 Матеріальний баланс

Матеріальний баланс ванни складається для визначення потреби виробництва в вихідній сировині при отриманні даного виду покриття.

3.10 Розрахунок споживання анодів

Розрахунок розчинних електродів для пуску нового обладнання:

Gэ= k1· k2· na · l · h · δа · dм = 0,48· na · l · h · δа · dм ,

де k1- Коефіцієнт, що враховує сумарну ширину анодів по відношенню до довжини ванни, приймається рівним 0,6 ; k2 - Коефіцієнт, що враховує довжину анодів по відношенню до глибини ванни, приймається рівним 0,8 ; na - Кількість анодів; l, h - Внутрішня довжина і висота ванни, м ; δа - Товщина анода, м; dм - Щільність анодного матеріалу (нікелевий анод) = 8900 кг/м3.

Gэ= 0,48·2·,005·8900·5·1,6·1,0 = 342 кг

Витрата розчинних анодів на реалізацію річної виробничої програми, кг:

Gр = S · Ap · п = 15300 · 0,0094 · 9 = 1294,4кг/рік

Ap = dм · (1 + 0,06 ) · 10-6 = 8900 · (1 + 0,06 ) · 10-6 = 0,0094 кг/м2

3.11 Розрахунок споживання хімічних реактивів

Витрата реагентів на хімічні та електрохімічні процеси включає кількість матеріалів, необхідна для реалізації річної програми з урахуванням технологічних втрат на перенесення електроліту з частинами, перенесення в атмосферу при вентиляції, на регулювання і зміну розчину (електроліту), матеріалів на пуск нового обладнання.

Витрата кожного реагенту на реалізацію річної програми:

 G = Aел · ( S + Sп ) · С = C∙ Vзаг,

де Aэл - норма витрати електроліту, 0,2 л/м2, С - концентрація кожного компонента в розчині; Vзаг -загальний об’єм втрати електроліту, м3. V - Робочий об'єм ванни дорівнює 1,45м3; Sп – Площа поверхні занурюваної частини, м2 (S + Sп = 1,15·S = 1,15·15300 = 17595м2). S – Річна площа поверхні покриття виробів, м2

Vзаг =Aел(S + Sп ) = 0,2 ·17595 = 3519л = 3,5м3.

Отримуємо витрати кожного реагенту:

G NiSO4·6H2O = 66 ·3519 · 10-3 = 232,25кг

G NiCl  = 12 · 3519 · 10-3 = 42,23кг

G H3BO3. = 40 · 3519 · 10-3 = 140,76кг

G блискоутвор. = 3 · 3519 · 10-3 = 10,56кг

G формальдегід = 0,2 · 3519 · 10-3 = 0,7кг

G пос.глянц.=0,35 · 3519 · 10-3 = 1,23кг.

G змоч.= 1 · 3519 · 10-3= 3,52кг.

Витрата реагентів на запуск нового обладнання:

G = C· Vв · Kзап· nв,

де Vв – Об'єм ванни, м3; Kзап – Коефіцієнт заповнення, 0,8

G 'NiSO4·6H2O = 66 ·1,45 · 0,8·5 = 383кг

G' NiCl  = 12 · 1,45 · 0,8·5 = 69,6кг

G' H3BO3. = 40 ·1,45 · 0,8·5 = 232кг

G' блескоутв. = 3· 1,45 · 0,8·5 = 17,4кг

G' формальдегід = 0,2 · 1,45 · 0,8·5 = 1,16кг

G' посил.глянц.=0,35 · 1,45 · 0,8·5 = 2,03кг.

G' змоч. = 1 · 1,45 · 0,8·5 = 5,8кг.

Загальна витрата реагентів:

М = G + G'

М NiSO4·6H2O = 232,25 + 383 = 615,25кг

М NiCl = 42,23 + 69,6 = 111,83кг

М H3BO3.= 140,76 + 232 = 372,76кг

М блискоутв. = 10,56 + 17,4= 27,96кг

М формальдегід = 0,7 + 1,16 = 1,86кг

М посил.глянц = 1,23 + 2,03 = 3,26кг

М змоч. = 3,52 + 5,8 = 9,32кг

3.12 Розрахунок споживання води

Вода в гальванічних процесах виконує кілька важливих функцій. По-перше, вона використовується для приготування електролітів, оскільки є основним розчинником для солей та інших компонентів. Під час електролізу вода може також розкладатися на водень і кисень, що є природним супутнім процесом. Крім того, вода бере участь у перенесенні газів, що виникають в результаті хімічних реакцій, і може випаровуватися з поверхні електролітів, що вимагає регулювання рівня рідини для підтримки стабільних умов [16].

Важливим аспектом використання води в гальванічних цехах є її роль в промивних операціях. Після обробки деталей у ваннах вони часто промиваються для видалення залишків електроліту, що потребує значних обсягів води. Це робить водозабезпечення критичним фактором для ефективної роботи таких цехів, оскільки витрати води можуть бути значними.

*Витрата води на приготування електроліту:*

G'H2О=CH2O· Vзаг,

де CH2O– вміст води в 1 м3 розчину, кг/м3;

Vзаг –річна витрата розчину, м3.

CH2O=dЕЛ - (С NiSO4·6H2O +С NiCl2 +С H3BO3 +С блискоутв. +С формальдегід +

+С посил.глянц +С змоч )

де dЕЛ – густина електроліту, кг/м3; С – концентрація компонентів електроліту кг/м3.

CH2O=1190–(66+12+40+3+0,2+0,35+1) = 1067,45 кг/м3

Vзаг = Vвин + nв· Vв·Кзап

де Vв – Об'єм ванни, м3; Кзап – Коефіцієнт наповнення ванни (Кзап =0,7...0,9);nв  – Кількість ванн;Vвин – Об'єм електроліту, винесеними деталями.

Vзаг  = 3,5 + 5· 1,45 · 0,8= 9,3 м3

G'H2О = 9,3· 1067,45 = 9927,3 кг.

*Витрата води на перенесення з газами:*

G'''H2O=с'H2O·VГт,

де сH2O–Питома кількість води, що відводиться з ванни з виділеним газом, кг/м3:

с'H2O=0,805· РH2O/(Рб – РH2O)=0,805·118,8/(760-118,8)=0,15 кг/м3

VГт – об’єм вологого газу при реальній температурі, що викидається під час виконання річної програми, м3.

Об’єм газу, приведеного до нормальних умов:

V0H2=0,418·I·ТД·ВТ'·10-5=0,418·205·2·1950·10-5 = 3,3м3

Об'єм вологого газу при фактичній температурі :

VГт = V0H2·760·(273+tэл)/273·(Рб – РH2O)

VГт = 3,3·760·(273+55)/273·( 760 – 118,8)=4,7 м3

G'''H2O=0,15·4,7=0,705 кг

*Витрата води на випаровування з поверхні електроліту:*

GNH2O=45,6·КВ·Sдз(РH2O – РП)·ТД·nВ/Рб=

=45,6·0,71·1,6 · (118,8-13,9)·1950·5/760 = 69712,34 кг;

де 45,6– коефіцієнт пропорційності кг/(м2·год); КВ – коефіцієнт, що залежить від швидкості руху повітря КВ=0,71); Sз– поверхня дзеркала випаровування, м2 (Sдз=1,6); РП– Парціальний тиск водяної пари при вимірюванні вологості і температури повітря, Па (РП=РS·у/100 =19,83·70/100=13,9).

*Витрата води для промивки виробів:*

Витрата води на промивку виробів залежить від кількості етапів промивки.

Q = 

де q – специфічне видалення розчину з ванни за поверхню деталей, 0,2·10-3 дм3/м2; K – Критерій остаточної промивки деталей; F – Щоденна виробнича програма, 7,8 м2/год. Питоме видалення - це обсяг розчину, що видаляється з ванни в 1 м2 поверхні виробів; N – Кількість етапів промивки.

K = С/Сп

де С – концентрація основного компонента в розчині, г/л; Сп – Межа допустимої концентрації основного компонента у воді після промивки, 0,1 г/л.

##### K = 66·0,4/0,1 = 264

#### Q = 0,1·10-3 ·264·7,8 = 0,21 м3/год.

Річна витрата води на промивку виробів:

Qріч = Q ·Тд = 0,21·1950 = 409,5 м3/рік.

3.13 Автоматизація процесу нікелювання

Технологічна схема процесу нікелювання є важливою для забезпечення якості покриттів. Ось детальні етапи, які включають очищення, активізацію та нанесення покриття:

1. Знежирення — деталі очищають від жирів та бруду за допомогою лужних або органічних розчинників.
2. Промивка в теплій воді — після знежирення деталі промиваються теплою водою для видалення залишків миючих засобів.
3. Промивка в холодній воді — додаткове промивання холодною водою для остаточного очищення.
4. Травлення — цей етап потрібен для видалення оксидів або інших забруднень з поверхні металу за допомогою кислотних розчинів.
5. Промивка в холодній воді — для промивання залишків кислотного розчину.
6. Промивка в гарячій воді — промивання гарячою водою для видалення залишків і забезпечення більшої чистоти.
7. Активація — використання хімічних розчинів для покращення адгезії нікелевого покриття до основного металу.
8. Промивка в холодній воді — для очищення деталей після активації.
9. Нікелювання — основний процес, при якому на деталі наноситься нікелеве покриття.
10. Промивка в теплій воді — останнє промивання для видалення залишків електроліту після нікелювання.
11. Сушіння — завершальний етап, при якому деталі висушуються для забезпечення міцності покриття [18].

Склад нікелевого електроліту:

С(NiSO4)=66 г/л;

C(NiCl2)=12 г/л;

C(H3BO3)=40 г/л.

При температурі 550С ik=3 А/дм2.

 Процес нікелювання як об'єкт автоматизації.

У процесі нікелювання, для ефективного контролю технологічних параметрів, таких як температура, рівень витрати електроліту та густина струму, використовуються різноманітні вимірювальні прилади та автоматизовані системи:

1. Прилад для вимірювання температури — автоматичний індикативний і регулюючий потенціометр КСП-2, який дозволяє точно вимірювати температуру в ванні, підтримуючи її на оптимальному рівні для процесу нікелювання (55°C).
2. Прилад для вимірювання рівня рідини — поплавковий рівнемір, що працює на принципі примусового руху поплавця по поверхні рідини. Такі прилади не мають шкали, але мають дистанційну передачу сигналу, що дозволяє регулювати рівень електроліту в гальванічних ваннах або відстійниках.
3. Пневматичні перетворювачі — ці прилади призначені для роботи в автоматичних системах контролю і регулювання технологічних процесів. Вони генерують стандартний пневматичний сигнал (0,02-0,1 МПа), який відображає рівень рідини.
4. Вторинні прилади для реєстрації пневматичних сигналів, наприклад, датчик рівня ПВ 10. Ці прилади використовуються для фіксації змін рівня електроліту в процесі роботи.
5. Блок управління вимірювальною системою (ПРЗ.31) — забезпечує автоматичне регулювання і моніторинг технологічних параметрів.
6. Пневматичний привід — відповідає за механічне керування процесом, який потребує точного та швидкого реагування для підтримки параметрів технологічного процесу [18, 19].

3.14 Очистка стічних вод

Промивні води та відпрацьовані електроліти, що утворюються в процесах гальванічного покриття, знежирення, травлення та активації, містять значні концентрації важких металів, кислот і лугів, що створює складні проблеми для їх подальшої обробки. Такі води часто змішуються, утворюючи суміші з кислими, лужними водами та важкими металевими іонами, що потребують спеціальних методів очищення перед скиданням у довкілля або поверненням в обіг.

Зазвичай у стічних водах гальванічних заводів присутні катіони важких металів, таких як Fe²⁺, Fe³⁺, Cu²⁺, Zn²⁺, Ni²⁺ і Cd²⁺. Ці метали можуть бути токсичними для водних екосистем і здатні накопичуватися в організмах. Рівень pH у стічних водах може варіювати від 10-12 для лужних вод до 2-5 для кислих, що визначає необхідність різних підходів до нейтралізації та очищення [20].

Концентрація іонів важких металів у стічних водах може досягати значних значень, наприклад:

* Fe³⁺ і Fe²⁺ до 1,5 г/л,
* Cu²⁺, Ni²⁺ до 100 мг/л.

Для ефективного очищення стічних вод, які містять важкі метали, кислоти та луги, застосовують різні методи нейтралізації та очищення, такі як реагентний, іонообмінний і електрохімічний методи. Змішування технологічних вод різних типів (кислих і лужних) дає можливість частково нейтралізувати їх перед подальшим очищенням. Після цього проводиться коригування рівня pH до допустимого нормативами значення, що зазвичай знаходиться в межах 6,5–8,5 для скидання в міську каналізаційну мережу.

### Методи очищення:

1. Реагентний метод: застосовуються спеціальні хімічні реагенти для нейтралізації кислот та лугів, а також для осадження іонів важких металів. Цей метод простий в експлуатації, але вимагає точного дозування реагентів для досягнення необхідного результату.
2. Іонообмінний метод: використовує смоли або інші іонообмінні матеріали для вилучення важких металів з води. Іонообмінники можуть ефективно очищати воду від іонів металів, таких як Cu²⁺, Ni²⁺, і Fe³⁺.
3. Електрохімічний метод: застосовується для видалення важких металів за допомогою електролізу. У процесі електролізу метали осаджуються на електродах, що дозволяє очищати воду до рівня, який відповідає гранично допустимим концентраціям (ГДК) [20].

Реагентний метод очищення стічних вод застосовується для нейтралізації кислотно-лужних стоків, які містять іони важких металів, таких як Fe³⁺, Cu²⁺, Ni²⁺, Cd²⁺, і інших, за умови, що стоки не містять ціанідів та сполук хрому. Цей метод полягає у додаванні до стічних вод хімічних реагентів, які нейтралізують кислоти або луги і сприяють осадженню важких металів у вигляді нерозчинних сполук.

Принцип роботи реагентного методу:

1. Нейтралізація: Кислотні стоки нейтралізуються лужними реагентами (наприклад, вапном, гідроксидом натрію), а лужні стоки нейтралізуються кислотами (наприклад, сірчаною або хлористоводневою кислотою).
2. Осадження важких металів: Після нейтралізації додаються реагенти для осадження важких металів. Це можуть бути солі, що утворюють малорозчинні сполуки з іонами металів. Наприклад, додають сульфати, фосфати, сірководень або інші реагенти, що викликають осадження металів у вигляді солей.
3. Фільтрація: Після осадження металів, отримані осади фільтруються, а очищена вода може бути скинута в каналізацію або відправлена на подальшу обробку [20].

Цей метод є простим і ефективним для очищення стічних вод, що не містять ціанідів чи сполук хрому, і дозволяє досягти необхідних стандартів для скиду стічних вод у навколишнє середовище. Він також є економічно вигідним у порівнянні з іншими методами очищення, такими як іонообмінний або електрохімічний. Проте для забезпечення ефективності та безпеки цього процесу важливо правильно підбирати реагенти та дотримуватись точних дозувань.

 *Основні процеси.*

 Хімічна нейтралізація кислих (при рН<6,9) і лужних (при рН>8,5) вод відбувається шляхом реакції:

H+ + OH- = H2O

Нейтралізація вільних мінеральних кислот добавками водорозчинних лужних реагентів.

При нейтралізації іони важких металів перетворюються в погано розчинні гідроксиди, які випадають в осад:

 Men+ + mOH- = Me (OH )n ↓.

 Реагентна обробка стічних вод від важких металів складається з двох процесів: утворення погано розчинних сполук і випадіння їх в осад. Для кращої і більш швидкої коагуляції осаду використовується флукулянт - поліакриламід.

*Обладнання.*

Очищення кислотно-лужних стічних вод, що містять іони важких металів, здійснюється за традиційною схемою в рамках загальної системи водовідведення та періодичної нейтралізації вод, що містять ціаніди та хром. Кожен тип стічних вод зливається окремо, щоб уникнути змішування, яке може призвести до утворення небезпечних токсичних сполук. З цієї причини утримуються покриття, що містять ціановмісні реагенти.

Під час осадження гідроксидів важких металів утворюється значний обсяг осаду, для видалення якого застосовуються різні типи відстійників (горизонтальних та вертикальних), а для зневоднення використовуються вакуумні фільтри, фільтр-преси та центрифуги [18].

*Таблиця 3.5*

Нейтралізація та очищення використаної води

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Но-мер операції | Назва та зміст операції | Обладнання | Матеріал | Режим роботи, час витрим-ки, хв. |
| Назва, марка | Кількість |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1. Очищення кислотно-лужних стоків, нейтралізація
 |
| 005 | Нейтрализація | Інструкція №260 з охорони праці для гальванічного цеху |
| Нейтралізація стоків, що надходять з накопичувального бака, розчином їдкого натрію в реакторі | 10% розчин NaOHтех. СОУ-Н ЕЕ 40.11-21677681-40:2011 |  |  | 15 |
| 010 | Контрольна | Інструкція з охорони праці №262 для інспекторів гальванічного цеху |
| Повноту нейтралізації перевіряють по значенню рН, яке повинно бути 7-8. | Іонометр ЕВ-74 |  |  |  |
| 015 | Нейтрализація | Інструкція №260 з охорони праці для гальванічного цеху |
| При необхідності підкислення розчину в реакторі додають розчин сірчаної кислоти. Подати стічні води у відстійник, попередньо повторивши операцію 010. | 10% розчин технічної сірчаної кислоти ДСТУ 2184:2018 |  |  | 15 |

Технологічний процес нейтралізації та очищення стічних вод.

1. У міру накопичення кислотно-лужних стоків з накопичувального бака стоки перекачуються в нейтралізатор поз.6.

2. Кислотно-лужні стоки нейтралізують 10% розчином їдкого лугу (NaOH) до величини рН = 7-8 (для осадження катіонів важких металів). Розчин подається в реактор вручну через люк, потім включається мішалка. Час контакту стічних вод з лугом становить 15 хвилин.

3. Перевірка повноти нейтралізації, яка проводиться шляхом перевірки значення рН на універсальному іонометрі ЕВ-74. Значення рН повинні бути 7-8. Якщо необхідно підкислити розчин, в нього додають 10% розчин H2SO4.

4. Закачати стічні води у відстійник.

5. З усіх конвертерних реакторів рідини надходять в реактор відстоювання поз.8.

6. У відстійник додають 10% розчин їдкого натру і H2SO4 для регулювання рН розчину в міру необхідності. Час контакту стічних вод з лугом - 15 хвилин, час нейтралізації - 1 година. Для поліпшення процесу седиментації на станції нейтралізації планується приготування 0,5% розчину поліакриламіду, який додається в відстійник.

7. Отримання 0,5% розчину поліакриламіду здійснюється в міксері шляхом тривалого змішування з гарячою водою.

8. З відстійника стічні води направляються в вакуумний фільтр поз.10.

9. У вакуумному фільтрі відбувається відділення мулу від очищеної води. Вода направляється в каналізацію. Шлам вивантажується в ящики, просушується і відправляється на утилізацію або на місце зберігання відходів.

СХЕМА ДІЛЯНКИ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

# **Стоки важких**

 **металів**

 6

9

1

1

2

2

10

11

12

**Шлам**

**Лужні стічні води**

### **Кислі**

### **стічні води** воды

**Освітлена**

**вода**

**Осад**

 3

 7

**Каналізація**

 8

 5

 4

Рис 4. Схема ділянки очищення стічних вод

1 – фільтр грубої очистки; 2 – кришка бака; 3 – стоки важких металів; 4 – луг; 5 – кислотні; 6 - перетворювач; 7 – флокулянт; 8 – відстійник; 9 – ущільнювач осаду; 10 – вакуумний фільтр; 11 – сховище зневодненого мулу; 12 – мулова платформа.

**Висновки до розділу.** У розділі проведені технологічні та конструктивні розрахунки, обґрунтований вибір відповідного обладнання, розроблена технологічна схема процесу електролітичного нікелювання, запропонована схема очистки стічних вод.

**РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ**

Очевидно, що сучасне виробництво неможливе без впровадження нових енергоємних і наукоємних технологій, які підвищують ефективність виробництва, зменшують його негативний вплив на навколишнє середовище, а також знижують рівень шкідливості для працівників та частку ручної праці. Однак для того, щоб ці технології працювали ефективно, потрібні висококваліфіковані кадри. Тому розділ охорони праці має не менше значення, ніж технологічний та економічний аспекти при проєктуванні або реконструкції виробництва.

З технологічної точки зору, процес виробництва включає в себе циркуляцію шкідливих, вибухонебезпечних і легкозаймистих матеріалів, а також використання електричної та механічної енергії. До того ж, шум і вібрація, які створюються цеховим обладнанням, також є небажаними виробничими факторами [20].

У цьому розділі розроблено заходи для забезпечення безпечних і здорових умов праці, пожежної безпеки та охорони навколишнього середовища, з урахуванням сучасних норм охорони праці та вимог до екологічності виробництва.

4.1 Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів на об’єкті проєктування. Дії по охороні праці

4.1.1 Повітря робочої зони

Робота, що виконується на ділянці, пов'язана з обслуговуванням лінії автооператора, включає ходьбу та перенесення вантажів до 10 кг. Це веде до енергетичних витрат організму, що класифікується як робота середньої тяжкості.

Згідно з ДСТУ 3.3.6.042-99, проэкт повинен відповідати санітарним нормам параметрів мікроклімату в робочих зонах приміщень, що визначаються в залежності від категорії робіт за ступенем тяжкості та пори року (див. таблицю 4.1).

*Таблиця 4.1*

Нормуються значення температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні приміщення.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Період року | Категорії робіт | Оптимальні норми |
| T.oC | Відносна вологість повітря,% | Швидкість руху повітря, м/с |
| Холодний | Легкая | 17-19 | 40-60 | 0,3 |
| Теплий | ||а | 19-21 | 40-60 | 0,4 |

У таблиці 4.2 нижче наведено коротка санітарна характеристика цеху.

*Таблиця 4.2*

Короткі санітарні характеристики спроєктованого виробництва [20]

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Най-менування виробничої зони | Шкідливі речовини (вибухові речовини) і причини їх виведення | Група ШР і особливості токсичної дії | ГДК вибухо-вих речовин у повітрі робочої зони, мг/м | Клас небезпеки ШР | Засоби індиві-дуального захисту | Засоби першої допомоги | Методика контролю вибухонебезпечного вмісту в повітріРобоча зона | Клас виробництва по СН245-71 | Сан. Група процесів по СНиП2.09.04-87 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|  Гальванічний цех | NaOH. При приготуванні розчинів,Випаровуван-ня  | Запалення,вражає шкіру і дихальні шляхи, хімічні опіки | 2 | 3 | Спец-одягРеспіратор пелюсткового типу | Змийте проточною водою, потім лосьйонами з 5% оцту або лимона кислота | Фотометричний | || | |Б |
| ПЕИ ТУ6-09-40-2871-81. Під час приготування розчинів відбувається випаровування  | Запалення,діє на шкіру, очі | 2 | 2 | Непро-никний костюмгумові рукавиці, щільно облягаючі окуляри | Промийте проточною водою | Фотометричний |
| ZnO. Під час проготування відбувається випаровування  | Загально-токсичний, вдихання найдрібніших частинок викликає минущу хворобу ( «ливарна лихоманка), що протікає як інфекційний катар дихальних шляхів | 2 | 3 | Особ-лива части-наЇжачок, респіратор типу "Пелюстка" | Викликати блювоту, дати яйце або протиотруту Стрижевського | Фото-метричний |

У гальванічному цеху передбачена система механічної припливної та місцевої витяжної вентиляції, що сприяє видаленню шкідливих речовин безпосередньо з місць їх викиду. Для підтримки комфортних умов праці цеху застосовується система центрального водяного опалення однотрубного типу з нижнім підключенням, температура води в якій не перевищує 70°C, відповідно до ДБН В.2.5-28:2010 [21].

Чистота повітря та підтримка необхідних метеорологічних умов залежать від ефективності організації вентиляційних систем. Згідно з ДСТУ 12.1.005-88, рівень шкідливих речовин у робочому середовищі контролюється за допомогою місцевої, загальної та аварійної вентиляції. Ванни, що мають шкідливі викиди, оснащуються бічними підсосами, виготовленими зі сталі 12Х18Н10Т для ефективного очищення повітря від забруднень.

Кімнати в гальванічному цеху обладнані системою повітряного опалення за допомогою калориферів, що працюють у поєднанні з припливною вентиляцією, для забезпечення оптимальної температури в холодну пору року. Для запобігання переохолодженню працівників і простудним захворюванням на вході в цех встановлюються теплові повітряні завіси, що сприяють перенаправленню холодного повітря в верхню зону приміщення.

Контроль за чистотою повітря, особливо при низьких концентраціях пилу, здійснюється за допомогою фотоелектричного аналізатора типу АЗ-2М. Визначення частинок пилу різних розмірів одночасно виконується автоматичним аналізатором мікрочастинок CMF-5 [22].

Згідно з ДСТУ 12.1.007:2018, контроль за вмістом шкідливих речовин у повітрі робочої зони проводиться:

* Суцільний контроль — для речовин 1-го класу небезпеки;
* Періодичний контроль — для речовин 2, 3, 4 класів небезпеки.

4.1.2 Виробниче освітлення

Одним із ключових аспектів охорони праці є правильне та ефективне освітлення робочих місць і виробничих приміщень. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2006, в гальванічному цеху робочі умови освітлення належать до категорії IV6, що визначає вимоги до освітленості для забезпечення належних візуальних умов для працівників [22].

У виробничому приміщенні використовуються різні типи освітлення, зокрема природне, штучне та комбіноване освітлення. Це дозволяє підтримувати оптимальні умови для роботи. Аварійне освітлення, у свою чергу, призначене для забезпечення видимості у випадку відключення основного робочого освітлення, що є важливим для підтримки безпеки працівників у надзвичайних ситуаціях.

*Таблиця4.3*

Норми і фактичні значення освітленості при штучному освітленні і КЕО при природному і комбінованому освітленні [22]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Категорія візуальних робіт | Освітленість при штучному освітленні, лк | Значення КЕО,% |
| При звичайному осв. | При змішаному осв. |
| Верхнє, або верхнє бокове | Бокове | Верхнє, або верхнє бокове | Бокове |
| IVб | 200 | 0.7 | 0.2 | 0.5 | 0.2 |

Штучне освітлення є необхідним у виробничих приміщеннях, оскільки компанія працює в години, коли природне освітлення відсутнє. Проєкт передбачає встановлення загального рівномірного освітлення, яке поділяється на кілька типів за функціональним призначенням:

* Робоче освітлення — обов'язкове в усіх приміщеннях для забезпечення нормальних умов праці та безпеки для працівників і підтримки безперебійного виробничого процесу.
* Чергування освітлення — включається в неробочі години для економії енергії.
* Аварійне освітлення — активується у разі відключення основного робочого освітлення, щоб забезпечити мінімальну освітленість і безпеку працівників.

*Таблиця 4.4*

Норми освітлення аварійного, евакуаційного, ремонтного та чергового освітлення [22]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № з/п | Тип освітлення | Приміщення, територія | Стандарт освітленості |
| 1 | Аварійне | Робоча поверхня виробничих приміщень, територія підприємства | Не менше 2Не менше 1 |
| 2 | Евакуаційне | Уздовж основних проходів, на рівні підлоги і на сходинках сходів (в закритих приміщеннях) на відкритих майданчиках | Не менше0.5Не менше 0.2 |
| 3 | Ремонтне | Пульт управління різними агрегатами і верстатами, поверхнею робочого місця | Не менше 2 |
| 4 | чергове | На рівні землі в горизонтальній площині | Не менше 0.5 |

Для загального освітлення цеху, відповідно до галузевих норм, використовуються газорозрядні лампи низького тиску типу НРЦ або ЛБ, які підходять для приміщень з робочими категоріями II. Аварійне освітлення підключається до окремої мережі, яка не залежить від основного джерела електроживлення. Для аварійного освітлення застосовуються лампи розжарювання типу Б або В (за ДСТУ 6238:2012) і люмінесцентні лампи типу ЛДЦ (за ДСТУ 6825:2019).

Управління освітленням проводиться шляхом регулярної перевірки світильників за допомогою люксметра Ю-116 (ДСТУ 8790:2018), який використовується один раз на рік і після кожного ремонту освітлювальних установок для забезпечення відповідного рівня освітленості в робочих зонах [21, 22].

4.1.3 Виробничий шум

Джерела шуму в розглянутому цеху включають випрямлячі змінного струму, вентиляційну систему, рух автооператора та електроприводи. Рівень звукового тиску на виробництві становить 86 дБА, що перевищує допустиме значення, згідно з ДСТУ 3273:1995, яке обмежує рівень звукового тиску на постійних робочих місцях і в робочих зонах до 80 дБА. Це свідчить про необхідність вжиття заходів для зниження рівня шуму, таких як покращення шумозахисту обладнання та застосування засобів індивідуального захисту для працівників.

Згідно з ДБН В.2.5-56:2014, проєктом передбачено кілька способів зниження рівня шуму в цеху:

1. Ізоляція джерел шуму: Використання звукоізоляційних і звукопоглинальних перегородок і кожухів, які запобігають поширенню шуму.
2. Зниження шуму на джерелі: Це включає мінімальні допуски на виготовлення, ретельне балансування, а також гасіння коливань деталей, що контактують.
3. Архітектурно-планувальне рішення: Раціональне розміщення технологічного обладнання, акустична обробка приміщень із використанням звукопоглинаючих пористих матеріалів [22].

Завдяки цим заходам, рівень звуку в цеху був знижений до 80 дБА, що відповідає вимогам ДСН 3.3.6.039-99.

Для моніторингу рівня шуму та вібрацій у проєктованому цеху використовується прилад ІШВ-003.

 Для захисту рук від локальної вібрації, згідно з вимогами ДСТУ 12.4.002-97, використовуються спеціальні рукавички з віброізоляційними або демпфуючими вкладишами. Ці рукавички зменшують вплив вібрацій, що виникають під час роботи з механічними пристроями, та допомагають знижувати ризик виникнення вібраційного синдрому, який може призвести до проблем зі здоров'ям, зокрема, з порушенням кровообігу та нервової системи рук.

4.1.4 Електробезпека

Електроцехи, в тому числі гальванічні, відносяться до категорії особливо небезпечних приміщень через наявність хімічно активного середовища, яке може пошкоджувати ізоляцію та струмоведучі частини електрообладнання. Це підвищує ризик ураження електричним струмом, оскільки хімічні реакції або контакти з агресивними електролітами можуть значно знижувати ефективність ізоляції і робити електричне обладнання більш вразливим до коротких замикань або витоків струму [21-22].

В електрообладнанні такого цеху зазвичай використовується трифазна чотирипровідна електрична мережа змінного струму напругою 380/220 В і частотою 50 Гц з глухозаземленою нейтраллю. Така система забезпечує стабільність електроживлення і мінімізує ризики електричних уражень при належній технічній експлуатації та за умови дотримання норм безпеки.

Причини ураження електричним струмом:

1. Випадковий контакт з струмоведучими частинами, які потрапили під напругу в результаті:

* + помилкові дії під час роботи;
	+ несправність захисних засобів, якими потерпілий торкався струмоведучих частин тощо.

2. Поява напруги на металевих конструктивних деталях електрообладнання в результаті:

* + пошкодження ізоляції струмоведучих частин;
	+ замикання фази мережі на землю;
	+ падіння проводу (під напругою) на конструктивні деталі електрообладнання і т.д.

3.Поява напруги на відключених струмоведучих частинах в результаті:

* + помилкове спрацьовування відключеної установки;
	+ короткі замикання між відключеними і струмоведучими частинами, що перебувають під напругою;
	+ розряд блискавки в електроустановку і т.д.

4.Виникнення ступінчастого напруження на земельній ділянці, де знаходиться людина, в результаті:

* + замикання фази на землю;
	+ видалення потенціалу протяжними струмопровідними предметами;
	+ несправності в пристрої захисного заземлення і т.д.

Сила струму, що проходить через людину при однофазному дотику в електричному ланцюзі:

 

 де Uф = 220 - Фазна напруга, В;

 Rл - 1000 -Опір організму людини, Ом;

 R0 – 4- Опір заземлення, Ом.

 

Згідно з ДСТУ 12.1.038:2008 в нормальному режимі роботи електрообладнання I = 0.3 мА, U = 2 В, і в аварійному режимі – I= 6 мА, U = 36 В.

Напруга дотику:



Звідси випливає, що при порушенні вимог Правил улаштування на виробництві можливі електротравми з важкими наслідками.

Для захисту персоналу від ураження електричним струмом у гальванічному цеху застосовуються такі заходи безпеки:

1. Захисне відключення електроустановок: забезпечує автоматичне відключення живлення при виявленні короткого замикання або пошкодження ізоляції, що допомагає мінімізувати ризик ураження електричним струмом.
2. Захисні засоби для персоналу: використовуються діелектричні рукавички, гумові килимки та інструменти з ізолюючими ручками, щоб зменшити ймовірність прямого контакту з електричними провідниками під час роботи з обладнанням.
3. Мережа з ізольованою нейтраллю в нормальному режимі та з заземленою нейтраллю в аварійний період: така конфігурація забезпечує додатковий захист при коротких замиканнях або інших неполадках, щоб запобігти потраплянню небезпечних струмів на обладнання чи людей.
4. Контроль та попередження пошкоджень ізоляції: проводяться періодичні огляди та перевірки електричної ізоляції проводів і обладнання, щоб вчасно виявити будь-які дефекти та уникнути аварій.
5. Регулярні інструктажі та наочні матеріали: організовуються інструктажі з безпеки для персоналу, а також розміщуються наочні матеріали (плакати, таблиці), що допомагають нагадати працівникам про основні правила безпеки і необхідні заходи у разі надзвичайних ситуацій [22].

4.1.5 Безпека технологічного процесу і обслуговування обладнання

У технологічному процесі гальванічного покриття існують кілька джерел потенційної небезпеки:

1. Рухомий автооператор: він переносить підвіски між ваннами з електролітами і може становити небезпеку для працівників, які обслуговують ванни, оскільки існує ризик травм при неправильному розміщенні або несправності обладнання.
2. Приготування та заміна електролітів: технологічний процес передбачає взаємодію з великими обсягами кислот і лугів, що створює ризики для здоров'я працівників при неправильній обробці або витоках цих речовин.
3. Монтаж автоматичної лінії: автоматичні лінії, як у випадку з нікелюванням, повинні відповідати певним нормам, таким як ДСП 173-96. Важливою вимогою є правильне розташування обладнання, яке повинно забезпечувати безпечну відстань для роботи, щоб знизити можливі травми та нещасні випадки. Наприклад, відстань від стіни до робочого обладнання на робочій стороні повинна бути не менше 1,5 м.
4. Площа виробничого приміщення: площа на одного працівника повинна бути не менше 4,5 м², а висота приміщення для нижнього поверху – не менше 5 м. Це сприяє не тільки комфортним умовам для працівників, але й дозволяє дотримуватися вимог до безпеки в процесі роботи з обладнанням та хімічними речовинами [21].

Для аварійної зупинки всіх рухомих частин передбачена аварійна кнопка «Зупинка загальна», «Аварійна зупинка».

 Автоматична коробка передач оснащена різними механізмами безпеки, такими як обмежувачі та гальмівні пристрої. У процесі роботи з електролітами в гальванічному виробництві важливо уникати переливу електроліту з ванни. Для цього при опусканні суспензій повинна дотримуватися відстань між верхнім краєм ванни і дзеркалом електроліту не менше 200 мм. Це дозволяє уникнути витоків і забезпечити стабільність процесу.

Для зменшення виносу електроліту з поверхні ванни використовуються різні хімічні добавки, серед яких: інгібітори корозії, спеціальні присадки та поверхнево-активні речовини. Ці добавки допомагають знижувати втрати електроліту і покращують ефективність процесу гальванічного покриття [22].

4.1.6 Пожежна безпека

 Пожежі в електроустановках можуть виникати через кілька основних причин, таких як коротке замикання, розряди статичної електрики, механічні пошкодження обладнання або електропроводки. Коротке замикання може статися через пошкодження ізоляції, попадання предметів на неізольовані проводи або вплив хімічно активних речовин, що руйнують ізоляцію. Для запобігання таких інцидентів застосовуються автоматичні вимикачі, запобіжники та спеціальні пристрої для захисту від перевантажень.

Система гасіння пожеж в електроустановках включає водопровідну мережу з пожежними гідрантами, які розташовуються на відстані не менше 20м один від одного. Цех також обладнаний вогнегасниками, сповіщувачами та системою охоронної і пожежної сигналізації.

Для зняття статичної електрики використовують занулення металевих частин технологічного обладнання і конструкцій. Це дозволяє запобігти накопиченню статичних зарядів, що можуть призвести до іскрових розрядів та займання [22].

 У спроєктованій лінії всі ділянки відносяться до категорії В. Гальванічна ванна містить вибухонебезпечну речовину H2, зміст яких становить <2,5% від загального об’ємуТому ми не відносимо її до вибухонебезпечних зон.

Для захисту від вибухів в проєкті передбачені активні засоби, спрямовані на зниження ризику виникнення та поширення вибуху. До таких заходів відносяться:

1. Придушення вибуху на його початковій стадії — введення в вогнище вибуху спеціальних вогнегасних речовин, які знижують інтенсивність вибухової хвилі та температуру, що дозволяє запобігти поширенню вибуху.
2. Блокування апарату — за допомогою відсічних пристроїв, що ізолюють апарат, в якому стався вибух, від інших частин виробничого процесу, щоб мінімізувати шкоду від вибуху.
3. Автоматичне відключення обладнання — для запобігання подальшому розвитку аварії, автоматичні системи можуть вимикати обладнання, що знаходиться в небезпечній зоні, тим самим знижуючи ймовірність виникнення більш серйозних наслідків.

**Висновки до розділу.** Відповідно до аналізу виробництва, а також існуючими нормативами були розроблені заходи з охорони праці: нормалізація повітря в робочій зоні, проведено промислове освітлення, проведено захист від шуму та вібрації, від ураження електричним струмом, підібрані засоби індивідуального захисту для працівників.

**ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ**

Для отримання захисно-декоративного покриття в даній кваліфікаційній роботі розроблена лінія автооператора з блискучого нікелювання потужністю 15000 м2/рік. Був проведений розрахунок технологічного процесу.

Оптимізація розміщення деталей на підвісках і електродах у ванні була проведена з метою зниження енерговитрат на одиницю продукції.

Запропоновано метод очищення стічних вод хімічним методом. Це дуже просто і економічно вигідно.

Відповідно до аналізу спроєктованого виробництва, а також існуючими нормативами були розроблені відповідні заходи з охорони праці: нормалізація повітря в робочій зоні, проведено промислове освітлення, проведено захист від шуму і вібрації, від ураження електричним струмом, підібрано засоби індивідуального захисту для працівників.

Дана кваліфікаційна робота гальванічної дільниці була розроблений з метою підвищення виробничих показників, використання нових економічно вигідних технологій, поліпшення умов праці.

**Список літератури**

1. Кондращенко О. В. Корозія і захист матеріалів та конструкцій // Харків: ХНАМГ, 2005. – 124 с.

2. Кунтій О. І. Гальванотехніка // Навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2004. – 236 с.

3. Fumitaka S. Nickel electroplating bath using malic acid as a substitute agent for boric acid / S.Fumitaka, K.Keisuke, N.Yuzuru, K.Koichi, S.Yuichi // Metal Finish.–2007. – Vol. 105, № 12. – P. 34-38.

4. D. Yu. Ushchapovskiy, O. V. Linyuicheva, T. I. Motronyuk, A. S. Tsymbaliuk, Promising materials and processes in applied electrochemistry: monograph. Kyiv.: KNUTD, 2017. pp. 81 – 88.

5. Гальванотехнічне обладнання / В. І. Петришин, О. М. Мазур, І. В. Руденко. – Київ: Техніка, 2004.

6. Технологія гальванічного покриття / О. О. Григорович, Н. В. Матвійчук. – Львів: Вид-во Національного університету "Львівська політехніка", 2012.

7. Гальванічні процеси і обладнання / І. П. Іваненко, Л. М. Таран. – Київ: Вища школа, 1988.

8. Довідник хіміка / О. В. Молчанова, М. В. Логінова. – Київ: Вища школа, 1999.

9. Гальванічне покриття: Технологія та обладнання / А. Н. Гречанінов. – Київ: Техніка, 1997

10. Tripathy B. Effect of organic extractants on the electro-crystallization of nickel from aqueous sulphate solution / B. Tripathy, P. Singh, D. Muir, S. Das // Journal of Applied Electrochemistry.–2001.–V.34.– P. 301-308.

11. Якименко Г. Я., Артеменко В. М. Технічна електрохімія.ч.3. Гальванічні виробництва: Підручник. – Харків: НТУ «ХПІ», 2006. – 272 с.

12. Gamburg Y. D., Zangari G. Theory and Practice of Metal Electrodeposition. - New York: Springer, 2011. – р. 385, DOI: 10.1007/978-1-4419-9669-5.

13. Електроосадження нікелю і композиційних нікель-алмазних покриттів реверсним струмом / М. І. Донченко, С. В. Бистріцький, Р. М. Редько, Н. А. Щур // Наукові вісті НТУУ «КПІ» : науково-технічний журнал. – 2010. – № 3(71). – С. 60–66.

14. Антропов Л. І. Теоретична електрохімія. – К: Либідь, 1993. – 544 с.

15. Гальванопластика: Лабораторний практикум навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Енергоефективна технічна електрохімія та захист металів від корозії» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Д. Ю. Ущаповський, Т. І. Мотронюк, О. В. Лінючева, М. В. Бик. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,49 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 95 с.

16. Protsenko, V. S. Physicochemical and Electrochemical Properties of Deep Eutectic Solvents Containing Dissolved Ni(II) and Cr(III) Salts: The Effects of Water Content (Chapter 1) / V. S. Protsenko, A. A. Kityk, L. S. Bobrova, D. A. Shaiderov, F. I. Danilov // Ionic Liquids Electrochemistry, Uses and Challenges. Monograph (Editor Bính Xuân). – New York: Nova Science Publishers, 2017. – P. 1-34.

17. Watson S. A. The Throwing Power of Nickel and Other Plating Solutions // Transactions of the IMF. – (2017 online). – 37(1), pp. 28 – 39, DOI: 10.1080/00202967.1960.11869799

18. Технологія нанесення гальванічних покриттів [Текст] : метод. вказівки до викон. лаборатор. робіт. з кредит. модуля «Захисні і захисно-декоративні покриття» для студ. спец. 7.05130103 «Технічна електрохімія» / Уклад.: В. Ф. Панасенко, Л. А. Яцюк, Т. І. Мотронюк та ін. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 60 с. 10. Кінетика контактного обміну металів: монографія / А. О. Майзеліс; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків: Іванченко І. С., 2021. – 180 с.

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

20. Технологія нанесення неметалевих покриттів та виробництво плат друкованого монтажу [Електронний ресурс] : підручник / Л. А. Яцюк, О. В. Косогін, Д. Ю. Ущаповський, О. В. Лінючева, Ю. Ф. Фатєєв. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. – 330 с.

21. Лінючева О.В. Гальванічні покриття у виробництві друкованих плат. Дипломне проектування: навч. посіб. / О. В. Лінючева, Л. А. Яцюк, Ю. Ф. Фатєєв, та ін. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 145 с.

22. Житецький В. Ц., Джигирей В. С., Сторожук В. М. та ін. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник / За ред. В. Ц. Житецького.- Львів, Афіша, 2000- 352 с.