

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ КИЇВСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ**

Факультет хімічних та біофармацевтичних технологій

Кафедра хімічних технологій та ресурсозбереження

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА (ПРОЄКТ)

на тему

«Розробка проєкту гальванічного цеху з нанесення блискучого нікелевого покриття в лужному середовищі продуктивністю 11500 м²/рік»

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

Освітня програма Технічна електрохімія та електрохімічна енергетика

Виконав: студент групи МГТЕ-22

Дребот Р.М.

Науковий керівник к.б.н, доц. Кислова О.В.

Рецензент к.т.н., доц. Крюкова О.А.

Київ 2023

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Факультет хімічних та біофармацевтичних технологій

Кафедра хімічних технологій та ресурсозбереження

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

Освітня програма Технічна електрохімія та електрохімічна енергетика

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ХТР

_____ Вікторія ПЛАВАН
« _____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТУ

Дреботу Роману Михайловичу

1. Тема кваліфікаційної роботи (проєкту) «Розробка проєкту гальванічного цеху з нанесення блискучого нікелевого покриття в лужному середовищі продуктивністю 11500 м²/рік»

Науковий керівник роботи Кислова Ольга Володимирівна, к.б.н., доцент
затверджені наказом КНУТД від «12» 09 2023 року № 210-уч

2. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи (проєкту) Розробити технологічну схему та спроектувати цех по гальванічному нанесенню блискучого нікелевого покриття річною програмою 11500 м²/рік

3. Зміст кваліфікаційної роботи (проєкту) (перелік питань, які потрібно опрацювати) Здійснити аналіз особливостей електрохімічного нанесення блискучого нікелевого покриття з лужних електролітів різного складу та властивостей утвореного покриття; розробити технологічну схему процесу блискучого нікелювання з застосуванням лужного електроліту оптимального складу, провести необхідні розрахунки для розробки проєкту гальванічного цеху з заданою річною програмою, обґрунтувати необхідні заходи по охороні навколишнього середовища від шкідливого впливу відходів гальванічного нікелювання та заходів по охороні праці в цеху

4. Дата видачі завдання «01» 08 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапу кваліфікаційної роботи (проєкту)	Орієнтовний термін виконання	Примітка про виконання
1	Вступ		
2	Розділ 1		
3	Розділ 2		
4	Розділ 3		
5	Висновки		
6	Оформлення (чистовий варіант)		
7	Подача кваліфікаційної роботи (проєкту) науковому керівнику для відгуку		
8	Подача кваліфікаційної роботи (проєкту) для рецензування (за 14 днів дозахисту)		
9	Перевірка кваліфікаційної роботи (проєкту) на наявність ознак плагіату та текстових співпадінь (за 10 днів до захисту)		
10	Подання кваліфікаційної роботи (проєкту) завідувачу кафедри (за 7 днів до захисту)		

З завданням ознайомлений:

Студент _____

Роман ДРЕБОТ

Науковий керівник _____

Ольга КИСЛОВА

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота (проект): Дребот Р.М. «Розробка проекту гальванічного цеху з нанесення блискучого нікелевого покриття в лужному середовищі продуктивністю 11500 м²/рік», Київ: КНУТД, 2023.

У кваліфікаційній роботі розроблено технологічну схему нанесення блискучого нікелевого покриття з застосуванням модернізованого лужного електроліту, здійснено розрахунок необхідного обладнання та кількості реактивів. Застосування розбавленого лужного електроліту дає можливість отримати дрібнокристалічні рівномірні по товщині функціональні покриття з поліпшеними фізико-механічними характеристиками, зокрема підвищеною твердістю та корозійною стійкістю, дозволяє проводити процес при незначному нагріванні; знизити вміст солей нікелю в складі електроліту та зменшити кількість реагентів, необхідних для очищення стічних вод гальванічного виробництва. Даний електроліт можна застосовувати для осадження покриття на складнопрофільних деталях.

У роботі описано основні стадії виробничого процесу, оптимізовано технологічні умови їх проведення, проаналізовано заходи з охорони праці та утилізації відходів гальванічного виробництва.

Ключові слова: блискуче нікелювання, лужний електроліт, технологічна схема, гальванічне покриття, корозійна стійкість.

Кваліфікаційна робота (проект), освітній рівень другий (магістерський), 2023 рік, кількість сторінок – 71, таблиць – 19, рисунків – 4.

ANNOTATION

Qualification work (project): Drebot R.M. "Development of a electroplating shop project for applying a shiny nickel coating in an alkaline environment with a productivity of 11,500 m²/year", Kyiv: KNUTD, 2023.

In the qualification work, a technological scheme for applying a shiny nickel coating using a modernized alkaline electrolyte was developed, the necessary equipment and the number of reagents were calculated. The use of a diluted alkaline electrolyte makes it possible to obtain fine-crystalline functional coatings of uniform thickness with improved physical and mechanical characteristics, in particular increased hardness and corrosion resistance, allows the process to be carried out with slight heating; to reduce the content of nickel salts in the electrolyte and to reduce the amount of reagents required for the treatment of wastewater from galvanic production. This electrolyte can be used to deposit a coating on complex profile parts.

The work describes the main stages of the production process, optimized the technological conditions for their implementation, analyzed labor protection measures and waste disposal of galvanic production.

Key words: bright nickel plating, alkaline electrolyte, technological scheme, galvanic coating, corrosion resistance.

Master's degree project, 2023, number of pages - 71, tables - 20, figures - 4.

Зміст

ВСТУП	8
Розділ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНИХ СТАДІЙ ГАЛЬВАНІЧНОГО НАНЕСЕННЯ НІКЕЛЕВОГО ПОКРИТТЯ	11
1.1 Обґрунтування вибору технологічного процесу	11
1.2 Підготовка поверхні виробів перед нанесенням гальванічного покриття	11
1.3 Характеристика обладнання для нанесення покриття	16
1.4 Вибір електроліту для нанесення гальванічного покриття	18
1.4.1 Особливості нікелювання з кислих електролітів	18
1.4.2 Лужні електроліти нікелювання	25
1.5 Коригування складу електроліту	28
1.6 Контроль якості гальванічного покриття	28
1.6.1 Контроль товщини покриття	28
1.6.2 Контроль зовнішнього вигляду покриття	29
1.6.3 Методи визначення пористості покриття	30
1.6.4 Контроль міцності зчеплення	30
1.6.5 Видалення недоброякісного покриття	30
Висновки	31
Розділ 2. ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ	32
2.1 Характеристика деталей, які підлягають обробці. Вибір товщини нікелевого покриття	32
2.2 Технологічний процес нікелювання	33
2.2.1 Карта технологічного процесу	33
2.3 Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання	35
2.4 Визначення виробничої програми цеху	35
2.5 Вибір виду обладнання для електрохімічного нікелювання. Розрахунок його кількості та габаритних розмірів	36
2.6 Перерахунок діючого обладнання	37

2.7	Баланс струму на ванні	39
2.8	Визначення напруги на ванні з підвісним пристроєм	40
2.9	Вибір джерела струму для живлення гальванічної ванни	42
2.10	Баланс енергії	43
2.11	Тепловий розрахунок гальванічних ванн	44
2.12	Визначення витрати теплоти для підтримання робочої температури у ванні	46
2.13	Розрахунок пристроїв для нагрівання гальванічних ванн та витрат енергоносіїв для забезпечення теплового режиму	47
2.14	Розрахунок витрати матеріалів	48
2.14.1	Розрахунок витрати анодів	49
2.14.2	Розрахунок витрат хімічних реактивів	50
2.14.3	Розрахунок витрат води	52
2.15	Автоматизація процесу нанесення гальванічного нікелевого покриття	54
	Висновки	56
Розділ 3. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА		57
3.1	Охорона праці на підприємстві	57
	Аналіз небезпечних і шкідливих факторів на виробництві	
3.2	Охорона навколишнього середовища	60
	Методи очищення стічних вод	
	Висновки	66
	ВИСНОВКИ	67
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	68

ВСТУП

При експлуатації металеві вироби можуть окиснюватись під дією вологого повітря та різних агресивних речовин, що призводить до поступового руйнування металевих виробів. Щорічно в результаті корозії стає непридатним майже четверта частина всього виробленого у світі заліза. Також продукти корозії забруднюють навколишнє середовище та негативно впливають на здоров'я людей [1].

Існує багато способів захисту металів від корозії, в основі яких лежить забезпечення відсутності контакту заліза з повітрям: фарбування, лакування, нанесення шару мастила, окиснення або фосфатування поверхні. Для промислового виробництва часто використовують спеціальні корозійностійкі сплави або вводять інгібітори корозії [2].

Ефективним методом захисту металевих конструкцій та деталей від корозії та надання їм красивого декоративного вигляду є електрохімічне нанесення нікелевих покриттів на Fe, Cu, Ti, Al, Be, W, інші метали та їхні сплави [3].

Їх широке використання у різних сферах промисловості пояснюється фізико-механічними та хімічними властивостями нікелю. Гальванічне покриття полягає в нанесенні тонкої плівки металу, яка навіть при мінімальній товщині (≈ 200 мікрон) захищає вироби з металів та інших матеріалів від корозії, надає додаткову твердість, зносостійкість, красивий зовнішній вигляд [4].

Електрохімічні покриття широко застосовуються в автомобільній промисловості, авіації, будівництві та радіотехніці, для оздоблення предметів широкого вжитку.

Нікелеві покриття наносять на різні метали та сплави: залізо, мідь, алюміній, берилій, титан, вольфрам. При нанесенні нікелевого покриття на сталеві деталі потрібно враховувати, що для забезпечення повного захисту на поверхні не повинно бути пор. Часто для осадження гладеньких покриттів застосовують послідовне нанесення декількох шарів нікелю або використовують підшар іншого металу [5].

Вимоги до корозійної стійкості виробів залежать від його призначення та умов експлуатації. Внаслідок здатності нікелю до пасивації він є стійким в атмосферних умовах, різних хімічних середовищах: у розчинах органічних кислот, лугах в широкому спектрі температур. Тому нікелеві покриття можна використовувати для захисту від корозії деталей та конструкцій, що експлуатуються в різних кліматичних зонах, в атмосфері промислових підприємств, в тому числі при підвищених температурах та в агресивних середовищах [6].

Нікелеве покриття наносять і як проміжний підшар для забезпечення міцного зчеплення покриттів з сталеву основою; для підвищення зносостійкості на поверхнях, які підлягають тертю.

В даному проєкті розроблена технологія нанесення блискучого нікелевого покриття на сталеві деталі з застосуванням лужного електроліту та здійснено розрахунок необхідного обладнання та кількості реагентів та допоміжних речовин. Підібрано оптимальні параметри процесу для утворення якісного покриття, розроблено відповідні заходи по охороні праці та утилізації шкідливих відходів.

Блискучі нікелеві покриття отримують переважно з концентрованих електролітів, які містять солі нікелю, з додаванням блискоутворюючих добавок. Високі концентрації реагентів значно ускладнюють процес утилізації токсичних відходів та очищення стічних вод гальванування. Оскільки процес відбувається при нагріванні, він потребує значних витрат електроенергії [6]. Тому нагальною потребою є вдосконалення процесу нанесення електрохімічного нікелевого покриття.

Мета дослідження. Проаналізувати вплив складу електролітів нікелювання, режимів нанесення блискучого покриття на його властивості та структуру. На основі отриманих даних обрати ефективний електроліт блискучого нікелювання та розробити технологічний процес нанесення покриття з модернізованого лужного електроліту в умовах гальванічного цеху.

Завдання дослідження. Використавши сучасні літературні джерела узагальнити переваги та недоліки електролітів нікелювання різного складу та технологій нанесення блискучих нікелевих покриттів. Провести необхідні розрахунки для розробки проєкту цеху з нанесення нікелевого покриття з застосуванням лужного електроліту оптимального складу.

Об'єкт дослідження. Склад електролітів блискучого нікелювання та вплив окремих його компонентів на характеристики, структуру та якість утвореного покриття; технологія нанесення блискучого нікелевого покриття з застосуванням лужного електроліту покращеного складу.

Методи дослідження. Системий аналіз даних літератури по особливостям та умовам утворення блискучого нікелевого покриття, вивченню залежності його властивостей від складу використаних електролітів та режимів нанесення покриття.

Практична цінність. Охарактеризовано електроліти нікелювання різного складу та режими нанесення гальванічного, обґрунтовано вибір складу ефективного та економічно вигідного електроліту.

Елементи наукової новизни. Застосування лужного тартратного електроліту для гальванічного нікелювання дає можливість отримати дрібнокристалічні рівномірні по товщині функціональні покриття з поліпшеними фізико-механічними характеристиками, зокрема підвищеною твердістю та корозійною стійкістю, дозволяє проводити процес при кімнатній температурі; знизити вміст солей нікелю в складі електроліту та зменшити кількість реагентів, необхідних для очищення стічних вод гальванічного виробництва.. Даний електроліт можна застосовувати для осадження покриття на складнопрофільних деталях.

За результатами кваліфікаційної роботи було опубліковано наукову статтю та проведено апробацію роботи на студентській конференції з публікацією тез.

Розділ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНИХ СТАДІЙ ГАЛЬВАНІЧНОГО НАНЕСЕННЯ НІКЕЛЕВОГО ПОКРИТТЯ

1.1 Обґрунтування вибору технологічного процесу

Гальванічні покриття - сучасні захисно-декоративні покриття металів, які ефективно захищають метали від корозії, підвищують їх зносостійкість, термін експлуатації, надійність металевих виробів. Для електрохімічного нанесення покриттів використовують такі метали, як цинк, хром, олово, нікель, срібло та інші [2].

Відомо, що нікель характеризується високою корозійною стійкістю як в атмосферних умовах, так і в агресивних хімічних середовищах. Його хімічна стійкість пояснюється схильністю до утворення на його поверхні щільної захисної оксидної плівки.

Нікелеві покриття (до 50 мкм) придатні для захисту від корозії виробів зі сталі та кольорових металів. Утворюється гладка (блискуча або матов) поверхня, що захищає оброблену деталь від окиснення, як у вологому середовищі, так і від дії слабких розчинів органічних кислот, солей, лугів [7].

Нанесення гальванічних покриттів - це один з ефективних методів захисту металів від корозії, підвищення ефективності зносостійкості, і відповідно терміну служби, надійності деталей машин і механізмів, приладів і радіоелектронної апаратури, покращення електрохімічних характеристик численних струмопровідних деталей. Гальванічне нікелювання широко застосовується в багатьох сферах виробництва: автомобільна та радіотехнічна промисловості, виробництво побутових товарів, будівельних деталей, сувенірної продукції [3].

1.2 Підготовка поверхні виробів перед нанесенням гальванічного покриття

Попередня підготовка поверхні металу необхідна для забезпечення міцного зчеплення покриття з основним металом, створення умов для зниження

його пористості та покращення зовнішнього вигляду. Забруднення з поверхні деталей (мастила, шліфувальні й полірувальні пасти, окалина, іржа) необхідно видалити.

Залежно від стану поверхні деталі шліфування проводять з поступовим зменшенням зерна абразиву за декілька стадій.

При шліфуванні поверхні знімається тонкий шар металу: від 0,01 - 0,03 мм при використанні дрібнозернистого абразиву до 0,1 - 0,2 мм крупнозернистим абразивним матеріалом. Найчастіше це відбувається на ділянках мікроступів, що призводить до вирівнювання та згладжування покриття [7].

Як абразивні матеріали застосовуються оксиди хрому, феруму, алюмінію (глинозем), віденське вапно (суміш оксиду кальцію з невеликою домішкою магнію), оксид силіцію. Зв'язуючими речовинами є парафін, стеарин, віск, технічне сало, а активують добавками - сірка, олеїнова кислота.

Абразивним шліфуванням позбуваються грубих нерівностей та шорсткості. Для досягнення декоративного блиску поверхні застосовують полірування. Використовують м'які еластичні круги, на які наносять спеціальні пасти. Полірування супроводжується перерозподілом металу по поверхні та втиранням його на ділянках мікротріщин при проходженні хімічних та термохімічних процесів, що відбуваються під дією активних компонентів полірувальних паст. Поверхня металу при поліруванні покривається тонкими сольовими або окисними плівками. При поліруванні твердість зерен абразиву не настільки важлива, як при шліфуванні, оскільки вони контактують з тонкими плівками, а не з металом. Склад пасти підбирається з урахуванням матеріалу полірувального кола та марки металу виробу. Полірувальні пасти містять дрібнодисперсні шліфувальні порошки, додаткові сполучні речовини та поверхнево-активні добавки (загалом до 70% абразивного матеріалу та 30 - 40% зв'язуючих компонентів). При подальшому знежирюванні пасти повинні легко відшаровуватися з поверхні деталі [6].

Режим полірування еластичними колами з пастами визначається твердістю основного металу.

Поверхня деталей після обробки абразивними матеріалами не повинна містити травильного шламу, залишків шлаків, продуктів корозії і задирок. Якісна поверхня шліфованих і полірованих деталей є однорідною, без дефектів від рихтувального інструменту та забоїн, вм'ятин, задирок.

В результаті механічної обробки деталей кристалічні зерна покриття подрібнюються і витягуються в напрямку деформації, що значно впливає на твердість поверхневого прошарку.

Шліфування та полірування є основними операціями механічної підготовки поверхні деталей перед нанесенням гальванічного покриття є.

При шліфуванні відбувається зняття тонкої стружки металу гострими гранями абразивних матеріалів. Шліфуванням усувають подряпини, забоїни та інші дефекти. В результаті одержують гладку і рівну поверхню [6].

При механічному поліруванні утворюється дзеркальна поверхня покриття внаслідок вирівнювання дрібних нерівностей попередньо шліфованої поверхні. Це досягається шляхом використання кругів з фетру, спеціальних тканин, гуми, пластмаси, шкіри та інших матеріалів.

Хімічне та електрохімічне знежирення

Для хімічного знежирення поверхні металів використовують розчини лугів, солей лужних металів, суміш органічних і неорганічних розчинників (табл.1.1).

Таблиця 1.1

Склад для хімічного знежирення

№ п/п	Склад електроліту	Формула	Концентрація, г/л	Температура, °С	Тривалість, хв.
1	Натрій гідроксид	NaOH	5 – 15	65 – 85	3 – 20

2	Технічна сода	Na_2CO_3	15 – 35	65 – 85	3 – 20
3	Натрій ортофосфат	Na_3PO_4	15 – 35	65 – 85	3 – 20

Для видалення жирових забруднень частіше застосовується електрохімічна обробка поверхні деталей. Вона може проводитись як на катоді, так і на аноді. Плівка жиру руйнується шляхом омилення та механічного відриву краплин жиру і мастил бульбашками газів: воднем на катоді і киснем на аноді, які є побічними продуктами електролізу [7]. Катодне знежирення більш ефективне, ніж анодне, оскільки на катоді виділяється в 2 рази більше газу, ніж на аноді. Склад електролітів, режими електрохімічного знежирення наведено в таблиці 1.2. При застосуванні реверсивного знежирення час анодної обробки становить звичайно 1/5-1/15 часу катодної обробки.

Переважно застосовують випрямлячі з напругою 6-12 В, оскільки робоча напруга на ванні повинна бути більшою, ніж напруга розкладання води у ваннах знежирення (2,5-3 В). Для економії електроенергії відстань між електродами роблять мінімальною (0,05-0,15 м). При анодному знежиренні використовують сталевий катод, при катодному й реверсивному знежиренні - нікельовану вуглецеву сталь нікелеві пластини.

Таблиця 1.2

Склад електролітів та режими електрохімічного знежирення

Компоненти електроліту	1	2	3
	вміст компонентів в г/л		
NaOH	20-40	5-10	8-12
Na_2CO_3	20-40	20-40	8-12
Na_3PO_4	240	20-40	4-6
Na_2SiO_3	-	3-5	25-30
NaCN	-	5-15	-
$t, ^\circ\text{C}$	60-80	60-80	60-70
$i_k, \text{A}/\text{дм}^2$	2-10	2-10	1-2
$\tau_k, \text{хв.}$	3-10	3-10	0,5
$\tau_a, \text{хв.}$	1-3	1-3	-

Електроліти № 1 та 2 рекомендовано застосовувати для знежирення сталевих деталей на підвісках, а електроліт № 3 - у барабанах.

Для даного технологічного процесу застосовуємо анодне електрохімічне знежирення при $t = 60 - 80^{\circ}\text{C}$; густині струму $3 - 8 \text{ А/дм}^2$ протягом 10 хв. До складу електроліту входять такі компоненти: натрій гідроксид – 30-40 г/л; сода кальцинована – 20-30 г/л; натрій ортофосфат – 50-60 г/л. Промивання деталей проводиться у гарячій воді - $50-60^{\circ}\text{C}$, а потім холодній протягом 1 хв.

Процес активації

Для активації поверхні металів застосовують різні варіанти складу розчинів і режими проведення процесу (табл. 1.3).

Таблиця 1.3

Склад розчинів та режими хімічної активації

Компоненти розчинів	вміст компонентів в г/л			
	1	2	3	4
H ₂ SO ₄	50-100	-	25-50	-
HCl	-	50-100	25-50	-
NaOH	-	-	-	10-20
Na ₃ PO ₄ · 12H ₂ O	-	-	-	30-50
Na ₂ SiO ₃	-	-	-	5-10
t, °C	15-30	15-30	15-30	50-60
τ, с	15-60	15-45	5-10	10-30

Оптимальний склад розчину активації та технологічні параметри для даного процесу наступні: $[\text{NaOH}] = 10-20 \text{ г/л}$; $[\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}] = 30-50 \text{ г/л}$; $[\text{Na}_2\text{SiO}_3] = 5 \text{ г/л}$; $\tau = 30 \text{ сек}$; $t = 50^{\circ}\text{C}$.

Наступним етапом є видалення оксидних плівок, іржі й інших хімічних сполук з поверхні деталі – процес травлення. Склад розчинів та режими травлення наведено нижче (табл. 1.4).

Майже 80% всіх нікелевих покриттів є блискучими. Вони використовуються як захисно-декоративні з відносно високою корозійною стійкістю [4].

Таблиця 1.4

Склад розчинів та режими травлення

Назви компонентів	вміст компонентів, г/л	t, °C	τ , хв.
Нітратна кислота	270	18 – 25	0,3 – 0,5
Сульфатна кислота	63		
Хлоридна кислота	0,5		

Перевагами блискучого нікелювання є:

- 1) відсутність необхідності механічного полірування;
- 2) зниження витрати солей нікелю;
- 3) зменшення кількості технологічних операцій;
- 4) можливість автоматизації процесу;
- 5) зростання швидкості процесу в результаті застосування вищих густин струму.

Серед основних недоліків блискучого нікелювання слід відзначити:

- 1) значне наводнювання;
- 2) наявність внутрішніх напружень.

Для зменшення таких негативних факторів застосовують блискоутворюючі добавки органічного та неорганічного походження [3, 7].

1.3 Характеристика обладнання для нанесення покриття

Основним видом устаткування гальванічних цехів і дільниць для нанесення покриття є гальванічні ванни, які використовуються для проведення як підготовчих, так і основних процесів нанесення покриття, а також заключних операцій електрохімічної або хімічної обробки поверхні деталей. Всі гальванічні ванни повинні відповідати ряду загальних вимог: герметичність,

хімічна інертність матеріалу ванни до робочого розчину, здатність витримувати необхідний тепловий режим; зручність і безпека обслуговування. Ванни для гальванування виготовляють із нержавіючої сталі та покривають внутрішню поверхню різними ізоляційними матеріалами. Для захисту ванн з застосуванням кислих електролітів, наприклад, використовують вініпласт [6].

Відмінність в конструкції гальванічних ванн визначається особливостями технологічного процесу, режимом нанесення покриття: нагрівання, перемішування, хитання штанг, можливість безперервного фільтрування і т.п. Важливим фактором є підведення електричного струму з його рівномірним розподілом по поверхні деталей і меншими втратами електричної напруги [8]. Такі ванни встановлюють на опорних електроізоляторах. На бортах ванни у спеціальних електроізоляторах встановлюють мідні або латунні штанги (3 або 5) для підведення електричного струму до деталей. Штанги мають круглий або прямокутний переріз, їх діаметр не менше 25 мм.

Анод нікелювання можуть бути розчинними або нерозчинними (табл.1.5). Для завішування анодів використовують спеціальні анодні тримачі та контактні гачки. Аноди розміщують у захисних чохлах з хлорину або поліпропілену для запобігання потрапляння анодного шламу в електроліт.

Таблиця 1.5

Характеристика анодів для процесу нікелювання

Аноди	Розміри, мм	ДЕРЖСТАНДАРТ, ТУ
Нікелеві, марок НПА1, НПА2 і НПАН (непасивовані)	Товщина 4,6,8,10,12, ширина 100-600, довжина 400-2000	Випускаються по ДЕРЖСТАНДАРТУ 2132-75. Склад по ДЕРЖСТАНДАРТУ 492-73
Нікелеві, марок Н1, Н1у (анод, катод)	10x200x800	Випускаються по ТУ 48-3-40-76 Склад по ДЕРЖСТАНДАРТУ 8419-70

Для гальванічних процесів, які потребують нагрівання, ванни обладнують нагрівними пристроями (змійовики, водяні оболонки і електронагрівачі типу ТЕН) і системами регулювання заданої температури.

Нанесення гальванічних покриттів часто супроводжується необхідністю перемішування електроліту, зокрема в прикатодному просторі, яке здійснюють пропускання очищеного повітря через барботери. Іншим методом перемішування електролітів є застосування хитних катодних штанг з механізмом їх прямолінійно-зворотного руху [6]. Деталі підвішують за допомогою спеціальних підвісних пристроїв або підвісок, а на дрібні вироби покриття наносять в барабанах.

1.4 Вибір електроліту для нанесення гальванічного покриття

1.4.1 Особливості нікелювання з кислих електролітів

Електрохімічно осаджене нікелеве покриття на відміну від хімічно осадженого дуже добре полірується. Введення до складу розчинів різноманітних блискоутворювачів дозволяє отримати блискучі покриття з достатньою товщиною без полірування.

Неорганічні блискоутворюючі добавки - солі кобальту чи кадмію - використовуються відносно рідко через високу вартість. Проте широкого розповсюдження набули різні органічні добавки. Електроліти з слабкими блискоутворювачами (уротропін, паратолуолсульфамід, сахарин, хлорамін Б) осаджують блискучі покриття тільки на полірованій поверхні. Їх блиск обернено пропорційний товщині покриття [3].

Електроліти з сильними блискоутворювачами (кумарин, тіосечовина, 1,4-бутиндіол) утворюють блискучі покриття не тільки на полірованій, а й на матовій поверхні. Їх блиск не залежить від товщини покриття, вони вирівнюють мікрорельєф, підвищують катодну поляризацію. Проте механічні властивості осадів погіршуються.

В промисловості для осадження нікелевого блискучого покриття використовують сульфатні, хлоридні, сульфаматні, борфторидні електроліти

кислі електроліти, а також комплексні лужні цитратні, етилендіамінові, тартратні та інші електроліти [6].

Найбільш поширеними в промисловості є сульфатні електроліти різного складу, які осаджують покриття з різними фізико – хімічними властивостями при застосуванні різних режимів нанесення. Катодний вихід за струмом становить близько 90 – 100%.

Осадження нікелю на катоді супроводжується значною електродною поляризацією та виділенням бульбашок водню, що призводить до утворення пор.

Для одержання блискучих осадів нікелю до складу електролітів вводять композиції поверхнево-активних речовин, які є або слабкими, або сильними блискоутворювачами.

Так, використання слабких блискоутворювачів дає можливість отримувати блискучі покриття тільки на полірованій поверхні. Вони не впливають на катодну поляризацію, їх блиск обернено пропорційний товщині. Це такі речовини, як уротропін, хлорамін Б, сахарин та інші.

Введення в електроліт сильних блискоутворювачів (кумарин, тіосечовина, 1,4 – бутиндіол) сприяють нанесенню блискучого покриття не тільки на поліровану поверхню, але й на матову. Проте механічні властивості покриття погіршуються.

Основний компонент електролітів блискучого нікелювання - нікель сульфат. Сульфат-аніон не зазнає окисно-відновних перетворень при електролізі та менш агресивний, ніж аніони хлору. Проте хлориди також є необхідним компонентом в складі електролітів. Зокрема, до складу електролітів вводять хлориди лужних металів – натрію або калію.

При осадженні нікелевого покриття високої якості з застосуванням кислих електролітів необхідно підтримувати значення рН в вузькому інтервалі. Такі процеси, як відновлення водню на катоді, перевищення анодного виходу за струмом над катодним, призводять до підвищення значень рН. Наявність буферних сполук у складі електролітів дає можливість підтримувати

кислотність розчину в певному інтервалі. Серед таких сполук варто відзначити органічні кислоти - лимонну, винну, оцтову кислоти або їх солі з лужними металами, неорганічну борну кислоту та інші. На практиці як буферні добавки для підтримання значення рН найчастіше застосовують борну кислоту і натрій ацетат. Як блискоутворюючі та вирівнювальні добавки найчастіше застосовують сахарин або 1,4 – бутиндіол [9, 10].

Іншим необхідним компонентом електролітів нікелювання є антипіттингові добавки. Утворення бульбашок водню на поверхні катоду заважає осадженню гладких покриттів, призводить до утворення пор різного діаметру. Наявність в розчині електроліту домішок органічних сполук збільшує цей процес.

Для зменшення виділення бульбашок водню застосовують поверхнево-активні речовини з довгим ланцюгом атомів Карбону (8-18) – натрій алкілсульфат або натрій лаурилсульфат.

Склад електроліту нікелювання, який широко використовується в промисловому виробництві, відповідає Держстандарту 9.305 – 84.

Таблиця 1.6

Склад електроліту та режими нанесення блискучого нікелевого покриття

Назва та формула Сполуки	Концент- рація, г/л	Темпе- ратура °С	рН	Густина струму, А/дм ²	Швидкість осадження мкм/хв.
Сульфат нікелю $NiSO_4 \times 7H_2O$	280 – 320	45 - 55	3,7- 4,2	2 – 6 (до 10)	0,8 – 0,9
Хлорид нікелю $NiCl_2 \times 6H_2O$	40 – 60				
Кислота борна H_3BO_3	30 – 40				
Бутиндіол	0,15 – 0,18				
Сахарин	1 – 2				

Процес нікелювання потребує ретельної підготовки поверхні деталей, використання вихідних реактивів з високим ступенем чистоти, дотримання технологічних особливостей процесу [6].

Перевагами кислих електролітів є стабільність у роботі. Проте потрібно чітко дотримуватись режиму роботи та очищати електроліт від шкідливих домішок.

Найчастіше блискучі нікелеві покриття осаджують при нагріванні. Основні їх характеристики: дрібнокристалічні, низькопористі, гладкі, майже не потребують кінцевого полірування, проте крихкі внаслідок наводнювання.

В електролітах блискучого нікелювання шкідливими домішками є ряд металів: залізо, мідь, цинк і свинець, які можна видалити у вигляді гідроксидів при вищих значеннях рН ($\approx 6,3$) (табл.1.7). Мідь, цинк і свинець також видаляють селективною очисткою при обробці розчину струмом з густиною $0,1 - 0,15 \text{ A/дм}^2$.

Таблиця 1.7

Вплив шкідливих домішок на осадження нікелевого покриття

Хімічні елементи	Вплив домішки на властивості покриття та умови нанесення
Залізо	Погане розсіювання і зчеплення, висока твердість і внутрішня напруга, утворюються малоеластичні осади При високих значеннях рН йони заліза утворюють нерозчинний гідроксид або основні солі, які в катодний осад включаються механічно. При рН = 1,5-3 залізо знаходиться у вигляді двохвалентних іонів і відновлюється на катоді одночасно з іонами нікелю, утворюючи крихкі покриття
Свинець	Напруга осаду після термообробки, мала твердість. Наявність свинцю призводить до відшарування і розтріскування покриття.
Мідь	Осадження малоеластичних осадів, зниження розсіювальної здатності електроліту, темний колір, малий вихід за струмом. Мідь накопичуються при нікелюванні виробів з міді, латуні і цинкових сплавів.
Цинк	Висока твердість, утворення малоеластичних осадів темного кольору, піттинг, низький вихід за струмом. Значна кількість цинку обумовлює утворення темних полос напокритті
Алюміній	Утворення пригорілих осадів
Хром (III) або (VI)	Малоеластичні осади, низька твердість, малий вихід за струмом
Органічні Сполуки	Утворення темних осадів, піттинг, погане зчеплення з металевою основою, вузький інтервал доступних густин струму

Наявність домішок як органічного так і неорганічного походження в електроліті нікелювання впливає на фізико – механічні та декоративні властивості отриманих гальванічних покриттів. Тому перед введенням в електроліт нікелювання блискоутворювачів, потрібно по можливості видалити всі домішки.

Видалення домішок заліза, цинку, міді здійснюють шляхом обробки електроліту карбонатом чи гідроксидом нікелю. Для видалення органічних домішок використовують активоване вугілля та пероксид гідрогену.

Іншою обов'язковою умовою проведення електролізу є селективне очищення та фільтрування електролітів, їх безперервне перемішування. Ванни нікелювання також досить чутливі до різних забруднень, що потребує застосування чистих вихідних реагентів. При проведенні нікелювання аноди поміщають в чохла, а деталі ретельно очищають від жирових забруднень.

Оскільки електроліти нікелювання містять високі концентрації солей нікелю, це значно ускладнює очищення стічних вод. Перспективним напрямком є розробка розбавлених електролітів нікелювання.

Осадження нікелю може супроводжуватися пасивацією анодів, яка відбувається за складним механізмом. Так, при низьких густинах струму відбувається розчинення нікелевого аноду та утворення йонів Ni^{2+} , які при певному значенні густини струму можуть утворювати пористу плівку на поверхні анода та зменшують її. Це призводить до значного збільшення анодної густини струму та початку протікання побічного процесу розряд іонів OH^- . В результаті окиснення гідроксильних груп на аноді утворюється кисень. Нікель реагує з киснем з утворенням на поверхні оксидної плівки, що значно гальмує процес розчинення аноду. На катоді починає виділятися водень. Вихід за струмом падає. Саме для депасивації анодів в склад електролітів вводять аніони хлору. В результаті їх окиснення утворюється вільний хлор, який розчиняє пасивну плівку [7].

Для приготування електроліту блискучого нікелювання у гарячій дистильованій воді (80–90°C) при перемішуванні поступово розчиняють солі нікелю та борну кислоту. Кожний наступний компонент вводять після розчинення попереднього. Електроліт доводять водою до потрібного об'єму, видаляють з розчину шкідливі домішки металів або органічних сполук. В охолоджений електроліт додають 2,5 мл/л 33% - го розчину пероксиду гідрогену, далі перемішують (30 хв). Додають активоване вугілля (3 г/л) і перемішують стисненим повітрям (3-4 год). Розчин відстоюють протягом ночі та фільтрують. рН розчину доводять розбавленою сульфатною кислотою до 4,8 – 5,1 та вводять блискоутворюючі добавки. Такий електроліт застосовують для нікелювання складно-профільованих деталей при вищих значеннях густин струму, проте спостерігається зменшення виходу за струмом.

Солі нікелю гідролізують в розчинах з значеннями рН, близьких до нейтральних. При додаванні солей амонію рівновага цього процесу зміщується в сторону лужних значень рН.

Важливу роль для проведення технологічного процесу і осадження покриття з певними фізико-хімічними властивостями відіграє підтримання певного значення температури. З застосуванням більшості електролітів нікелювання здійснюється при температурі 45-55 °С. При нижчих температурах погіршується якість осадів, знижується їх блиск, підвищується крихкість. При вищих значеннях температури відбувається значне випаровування електроліту, що призводить до зростання концентрацій його компонентів та погіршує стан повітря в цеху [8].

Осадження нікелевого покриття можливе при кімнатних температурах, проте зчеплення його з поверхнею металу може бути слабким, що призводить до можливого відшаровування.

В процесі пасивації анодів можливе зростання значень рН електроліту. Склад одного з електролітів холодного нікелювання наведено нижче (табл. 1.8).

Таблиця 1.8

Склад електроліту холодного нікелювання та режим його нанесення

Назва та формула Сполуки	Концент- рація, г/л	Темпера- тура °С	pH	Густина струму, А/дм ²
Сульфат нікелю <i>NiSO₄ × 7H₂O</i>	150 – 200	20 - 35	5-5,5	0,5 – 2
Хлорид натрію <i>NaCl</i>	5 – 10			
Кислота борна <i>H₃BO₃</i>	25 – 30			
Сульфат натрію <i>Na₂SO₄ × 10H₂O</i>	40 – 50			

Основними перевагами низькотемпературних електролітів є їх енергоефективність та зменшення втрати електроліту внаслідок випаровування. Тому розробка холодних електролітів нікелювання є перспективною. Досліджують застосування різних компонентів замість ортоборатної кислоти, зокрема її замінюють на ізобутинову кислоту. Такий електроліт має високу буферну ємність, проте осаджені покриття мають низьку мікротвердість [9]. Електроліти на основі фторборату нікелю та незначним вмістом вільної борної та тетрафторборатної кислот (табл.1.9) мають високу буферну ємність та стабільність, вихід за струмом становить 100%, використовується для швидкісного осадження нікелю при густині струму до 20 А/дм².

Таблиця 1.9

Склад фторборатного електроліту та режим його нанесення

Назва сполуки	Концент- рація, г/л	Темпера- тура °С	pH	Густина струму, А/дм ²
Фторборат нікелю	300 – 400	45 - 55	3,0-3,5	10 – 20
Хлорид нікелю	10 – 15			
Кислота борна	10 – 15			

Його застосовують для нанесення покриттів як в стаціонарних ваннах, так і в барабанах та дзвонах, а мікротвердість утворених покриттів становить 3,0-3,5 ГПа.

Покриття з мінімальними внутрішніми напруженнями можна отримати з застосуванням сульфаматних електролітів. Орієнтовний склад електроліту наведено в таблиці 1.10.

При використанні сульфаматного електроліту не потрібно проводити селективну очистку та фільтрацію, а вихід за струмом становить майже 100 %. Для осадження небажаних іонів використовують селективну електролізну ванну.

Таблиця 1.10

Склад сульфаматного електроліту та режим його нанесення

Назва та формула Сполуки	Концент- рація, г/л	Темпе- ратура °С	pH	Густина струму, А/дм ²	Швидкість осадження мкм/хв.
Сульфамат нікелю <i>(NH₂SO₃)₂Ni × 4H₂O</i>	300 – 400	50 - 60	3,6- 4,2	5 – 12	0,65 – 1,6
Хлорид нікелю <i>NiCl₂ × 6H₂O</i>	12 – 15				
Кислота борна <i>H₃BO₃</i>	25 – 40				
Натрій лаурілсульфат <i>C₁₂H₂₅SO₄Na</i>	0,1 – 1				

Сульфаматний електроліт застосовують для нанесення покриттів у гальванопластичі, для неметалів по провідному шару, для покриттів магнітних сплавів.

1.4.2 Лужні електроліти нікелювання

Лужні електроліти нікелювання утворюють дрібнокристалічні та рівномірні по товщині функціональні покриття з поліпшеними фізико-механічними характеристиками, які часто використовують на

складнопрофільних деталях. До таких електролітів належать цитратні, етилендіамінові, тартратні та деякі інші. Вони обумовлюють високу катодну поляризацію, яка визначається структурою комплексної сполуки. Для електродних процесів, які протікають за участю комплексних сполук, характерною є наявність стадії хімічної взаємодії, яка відбувається перед стадією розряду. При малих перенапругах виділення нікелю визначається конкурентними процесами та утворенням поверхневого покриття в результаті хімічного окиснення проміжного продукту з осадженням плівки $Ni(OCH_3)_2$. Одночасно спостерігається електрохімічне відновлення йонів Ni^{2+} та виникнення граничного струму у катодній області.

Цитратний електроліт з добавками солей амонію є найбільш відомим комплексним електролітом нікелювання. Орієнтовний склад електроліту та режим електролізу наведено нижче (табл. 1.11).

Таблиця 1.11

Склад цитратного електроліту та режим його нанесення

Назва та формула Сполуки	Концент- рація, г/л	Темпе- ратура, °C	pH	Густина струму, А/дм ²
Сульфат нікелю $NiSO_4 \times 7H_2O$	80 – 180	45 - 50	7-7,2	1 – 3
Хлорид амонію NH_4Cl	15 – 25			
Натрій цитрат $Na_3C_6H_5O_7$	120-220			
1,4- бутиндіол	0,2 – 2			
Додекагідрокаборат	0,01 – 2			

Оскільки в лужному середовищі утворюються важкорозчинні солі і гідроксиди металів-домішок, вони можуть включатися в склад покриттів та змінювати їх функціональні властивості. Проте покращити склад електроліту можна шляхом їх розбавлення за основними компонентами.

Іншим прикладом лужного електроліту нікелювання є тартратний. Він має наступний склад (табл. 1.12). Наявність боргідриду в складі електроліту

обумовлює додаткове протікання процесу хімічного осадження нікель-бор, а також процес гідролізу боргідриду.

Таблиця 1.12

Склад тартратного електроліту нікелювання та режим його нанесення

Назва та формула Сполуки	Концентрація, г/л	Темпе- ратура, °С	pH	Густина струму, А/дм ²
Хлорид нікелю <i>NiCl₂ × 6H₂O</i>	35 – 50	20 - 50	8,5-10,5	3
Тартрат калію <i>KC₄H₅O₆</i>	15 – 20			
Боргідрид натрію <i>NaBH₄</i>	0,5 – 1,5			
Етилендіамін <i>H₂NCH₂CH₂NH₂</i>	10 – 25			

Внаслідок включення нікель гідроксидів в покриття виникають високі внутрішні напруження. Проте в кінцевому результаті з даного електроліту утворюються покриття з покращеними фізико-механічними властивостями.

При використанні щавелевокислого електроліту одержують тверді, зносостійкі блискучі покриття. Орієнтовний склад такого електроліту нікелювання та режим осадження наведено в таблиці 1.13.

Таблиця 1.13

Склад щавелевокислого електроліту нікелювання та режим його нанесення

Назва та формула Сполуки	Концент- рація, г/л	Темпе- ратура, °С	pH	Густина струму, А/дм ²
Сульфат нікелю <i>NiSO₄ × 7H₂O</i>	140	80	7,5-8,5	10
Амоній оксалат <i>(NH₄)₂C₂O₄</i>	300			
Хлорид натрію <i>NaCl</i>	10			

Тартратний електроліт обрали для електрохімічного осадження блискучого нікелевого покриття на обрану деталь, оскільки з даного

електроліту утворюються покриття з покращеними фізико-механічними властивостями.

1.5 Коригування складу електроліту

Раз на місяць електроліт нікелювання необхідно піддавати фільтруванню. Робочу ванну очищають від осаду, аноди миють. Очищеним електролітом наповнюють ванну та завішують аноди на вичищених штангах.

Двічі на тиждень проводять аналіз електроліту на вміст сульфату нікелю та інших компонентів за даними хімічного аналізу. Повна заміна електроліту здійснюється раз на рік.

1.6 Контроль якості гальванічного покриття

Нікелеві покриття характеризують за наступними критеріями: зовнішній вигляд, товщина, пористість, міцність зчеплення з основою.

Значну роль в осадженні якісного покриття відіграє рівень підготовки поверхні металу основи. Контроль виробу передбачає визначення стану шорсткості поверхні, а також дефектів [6].

1.6.1 Контроль товщини покриття

Найбільш поширеними є хімічні методи контролю товщини покриттів: краплі, струменя, зняття. Ці методи прості, не потребують використання спеціального устаткування й приладів. Проте вони характеризуються значною похибкою виміру (можливо до 30%), особливо при вимірі тонкошарових покриттів.

- 1) Метод краплі заснований на розчиненні покриття краплями розчину наступного складу: суміш солей FeCl_3 (300 г/л) та CuSO_4 (100 г/л). Його наносять на поверхню на певний проміжок часу. За цим методом товщину нікелевих покриттів визначають за формулою:

$$h = 0,8(0,5 - n) \cdot h_k ,$$

де n — число крапель розчину,

h_k — товщина покриття, що знімається однією краплею розчину, мкм.

- 2) Струменевий метод визначення товщини покриття потребує менше часу та є точнішим. Метод полягає у визначенні часу розчинення покриття під дією струменя розчину, який подають з певною швидкістю під кутом до поверхні, котру тестують.

1.6.2 Контроль зовнішнього вигляду покриття

Контроль зовнішнього вигляду покриття проводять візуально або за допомогою мікроскопа для виявлення можливих дефектів: наростів на кутах виробів, шорсткості покриття, наявності сторонніх часток та плям, місць відшаровування та непокритих ділянок, піттингу. Можливі причини та методи усунення різних дефектів блискучого нікелювання наведено в таблиці 1.14.

Таблиця 1.14

Дефекти блискучого нікелевого покриття та методи їх усунення

Характер дефекту	Причина	Спосіб усунення
Слабкий блиск по всій поверхні	Недостатня кількість блискоутворювачів	Введення блискоутворювачів
	Відхилення від режиму	Коригування режиму осадження
Утворення темного покриття	Значний вміст шкідливих металічних домішок	Проведення електрохімічної очистки
Нарости на покритті	Недостатня фільтрація	Покращити фільтрацію
	Неякісна підготовка поверхні	Забезпечити якісну підготовку
	Підвищена концентрація заліза	Проведення електрохімічної очистки
Піттинг	Недостатня температура	Підвищення температури до 60°C
	Недостатнє перемішування	Інтенсифікувати перемішування
	Неправильне кріплення деталей	Збільшити жорсткість кріплення деталей на підвісці, а також підвіски на катодній

		штанзі
	Підвищений вміст заліза	Проведення електрохімічної очистки

1.6.3 Методи визначення пористості покриття

Для визначення пористості покриття застосовують методи накладання фільтрувального паперу або паст.

Для визначення пористості катодних металічних покриттів на деталі простої форми зі сталі, міді та її сплавів застосовують метод накладання фільтрувального паперу, тоді як для деталей будь-якої форми та розмірів можна використати метод нанесення паст спеціального складу. Візуально визначають кількість забарвлених ділянок та відносять до одиниці поверхні [8].

1.6.4 Контроль міцності зчеплення

Для контролю міцності зчеплення найчастіше використовують методи крацювання та нанесення сітки подряпин залежно від призначення і типу деталі.

В методі крацювання поверхню покриття крацюють латунними щітками з діаметром дроту 0,3 мм протягом 15 сек. На якісно нанесеному покритті не повинно утворюватись здуття та відшаровуватись покриття.

У методі нанесення сітки на поверхню покриття наносять сталевими вістрями 4 – 6 паралельні подряпини до основного металу на відстані 2 - 3 мм і 4 – 6 перпендикулярних до них ліній. Контролюють можливість відшаровування покриття [6].

1.6.5 Видалення недоброякісного покриття

Видалення недоброякісного нікелевого покриття здійснюють за допомогою розчину наступного складу:

Гліцерин 20–25 г/л (ДСТУ 2548–77)

Сульфатна кислота 500–555 г/л (ДСТ 4204–76)

Електрохімічне розчинення нікелю проводять при температурі 18–25 °С, протягом 3–5 хв, анодна густина струму 3 – 8 А/дм².

Висновки

Технологічний процес нанесення блискучого нікелевого покриття потребує ретельної підготовки поверхні деталей шляхом здійснення наступних операцій: хімічного та електрохімічного знежирення, травлення.

Основними вимогами до електролітів, які застосовуються для осадження покриття, є задані фізико-хімічні та механічні властивості осаду, висока швидкість осадження та рівномірний розподіл металу, стабільність електроліту.

Для операції нанесення блискучого нікелевого покриття обрано тартратний лужний електроліт нікелювання наступного складу:

Хлорид нікелю $NiCl_2 \times 6H_2O$	35 – 50 г/л
Тартрат калію $KC_4H_5O_6$	15 – 20 г/л
Боргідрид натрію $NaBH_4$	0,5 – 1,5 г/л
Етилендіамін $H_2NCH_2CH_2NH_2$	10 – 25 г/л

Його перевагами є:

- 1) здатність утворювати дрібнокристалічні та рівномірні по товщині функціональні покриття з поліпшеними фізико-механічними характеристиками;
- 2) підвищена твердість та корозійна стійкість покриття;
- 3) можливість проведення гальванічного нікелювання при кімнатній температурі;
- 4) невисокий вміст нікель хлориду порівняно з іншими електролітами;
- 5) можливість застосування електроліту для осадження покриття на складнопрофільних деталях.

Розділ 2. ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ

2.1 Характеристика деталей, які підлягають обробці.

Вибір товщини нікелевого покриття

В гальванічному цеху здійснюють електрохімічне нанесення металевих покриттів на попередньо підготовлені металеві поверхні або відновлення деталей електролітичним осадженням металу.

Для нанесення нікелевого покриття в даному проєкті обрали втулку, яка широко використовується у машинобудуванні як з'єднувальний елемент деталей трубної конструкції для стягування та кріплення колес, підшипників, труб. Основними вимогами до даної деталі є висока механічна міцність, корозійна стійкість та зносостійкість. Вона виготовлена зі сталі 40, маса деталі становить 0,2 кг, площа поверхні, що покривається, складає 0,74 дм². Внутрішня частина деталі захищена полімерним покриттям.

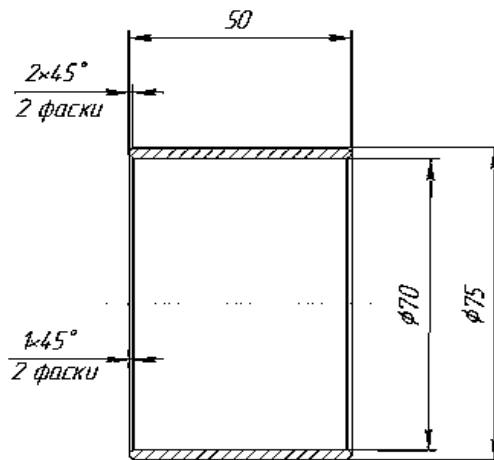


Рис. 1. Схема деталі

Блискучі нікелеві покриття мають значну пористість поверхні. Її можна зменшити шляхом збільшення товщини нікелевого шару або за рахунок зменшення блискучості поверхні. Проте для даної деталі покриття є декоративно-захисним, тому для зменшення пористості поверхні необхідно нанести покриття більшої товщини, обрати відповідний склад електроліту та режим проведення електролізу, якісно підготувати поверхню деталі.

Нанесення блискучого нікелевого гальванічного покриття з лужного електроліту надає поверхні сталей деталей декоративного вигляду, підвищує їх твердість та корозійну стійкість.

Для нанесення якісного покриття поверхня деталі має бути гладкою, без здуттів, розшарувань. Декоративно-захисне покриття не повинно містити непокритих ділянок. Це забезпечує надійний захист від корозії. Колір блискучого нікелевого покриття світло-сірий, проте в отворах, внутрішніх поверхнях, увігнутих ділянках деталей складної конфігурації покриття має темно-сіре забарвлення. Товщина нікелевого покриття може становити від 1 мкм до 50 мкм залежно від призначення, умов експлуатації та матеріалу виробу.

2.2 Технологічний процес нікелювання

2.2.1 Карта технологічного процесу

В таблиці 2.1 наведено основні операції для нанесення блискучого нікелевого покриття, перелік необхідного обладнання, склад електролітів та режим проведення операції.

Таблиця 2.1

Технологічна карта процесу нікелювання

Найменування операції, зміст та час (хв)	Обладнання	Реагенти	Концентрація, г/л	Температура, °С	Густина струму, А/дм ²
1	2	3	4	5	6
1. Монтаж деталей (1 – 2 хв)	Монтажний стіл				
2. Електрохімічне знежирення (катодне) (5 – 10 хв)	Ванна стаціонарна	Натрій гідроксид Натрій карбонат Натрій ортофосфат	30 – 40 20 – 30 50 – 60	60 – 70	3 – 5
3. Промивка в гарячій воді (1 – 2 хв)	Ванна стаціонарна	Вода водопровідна		50 – 60	

4.Електрохімічне знежирення (анодне) (2 – 4 хв)	Ванна стаціонарна	Натрій гідроксид Натрій карбонат Натрій ортофосфат	30 – 40 20 – 30 50 – 60	60 – 70	3 – 5
5.Промивка в гарячій воді (1 – 2 хв)					
6. Промивка в холодній воді (0,5 – 1 хв)	Ванна стаціонарна	Вода водопровідна		15 – 25	
7. Травлення (3 – 5 хв)	Ванна стаціонарна	Нітратна кислота Сульфатна кислота Хлоридна кислота	270 63 0,5	18 – 25	
8. Промивка в холодній воді (1 – 2 хв)	Ванна стаціонарна	Вода водопровідна		15 – 25	
9. Декапірування (5 – 10 хв)	Ванна стаціонарна	Сульфатна кислота Хлоридна кислота	630 5	18 – 25	
10. Промивка в холодній воді (1 – 2 хв)	Ванна стаціонарна	Вода водопровідна		15 – 25	
11. Нікелювання (33 хв) рН=8,5-9,0	Ванна стаціонарна	Хлорид нікелю $NiCl_2 \times 6H_2O$ Тартрат калію $K_2C_4H_4O_6$ Боргідрид натрію $NaBH_4$ Етилендіамін $H_2NCH_2CH_2NH_2$	40 20 1 15	30	3
12. Вловлювання (1– 2 хв)	Ванна стаціонарна	Вода водопровідна		15 – 25	
13. Промивка в гарячій воді (1 – 2 хв)	Ванна стаціонарна	Вода водопровідна		80 – 90	
14. Сушка (10 хв)	Сушильна шафа			80 – 90	

2.3 Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання

Час роботи обладнання залежить від режиму роботи підприємства, технологічної схеми процесу та особливостей технологічного обладнання [11].

Номінальний фонд часу роботи обладнання T_n за рік обчислюють з врахуванням кількості календарних днів (365) без вихідних (104) та святкових (10) днів. Тому при однозмінній роботі та п'ятиденному робочому тижні тривалістю 40 год номінальний фонд часу роботи обладнання складає приблизно

$$T_n = \{ [365 - (104 + 10)] 40 / 5 - 6 \} = 2002 \text{ год}$$

Враховують ще скорочені передсвяткові дні (6 год)

Дійсний річний фонд часу роботи обладнання T_d (год) визначають з урахуванням T_n та загальних річних витрат часу на можливі простої обладнання ($K_{пр}$). При роботі автоматизованого обладнання в одну зміну $K_{пр}$ складає 8 %, тобто

$$T_d = T_n - K_{пр} \cdot T_n$$

$$T_d = 2002 - 0,08 \cdot 2002 = 1842 \text{ год}$$

2.4 Визначення виробничої програми цеху

Для визначення річної виробничої програми P_p загальну площу покриття P_z необхідно збільшити на величину виправного браку виробів, який складає зазвичай 0,5 – 3 % річного обсягу (m^2)

$$P_p = P_z + K_{бр} \cdot P_z$$

$$P_p = 11500 + 0,03 \cdot 11500 = 11845 \text{ м}^2/\text{рік}$$

Добова виробнича програма складає:

$$P_{доб} = P_z / T_{доб},$$

де $T_{доб}$ – кількість робочих діб у році.

$$P_{доб} = 11845 / 251 = 47 \text{ м}^2/\text{доб}$$

Годинна виробнича програма $P_{год}$

$$P_{год} = P_p / T_d$$

$$P_{год} = 11845 / 1842 = 6,4 \text{ м}^2/\text{год}$$

2.5 Вибір виду обладнання для електрохімічного нікелювання. Розрахунок його кількості та габаритних розмірів

Вихідними даними для проведення розрахунку є:

Обсяг річної виробничої програми — 11845 м² /рік

Габаритні розміри деталі – 50 мм × 75 мм

Товщина покриття — 20 мкм

Час обробки однієї завантажувальної одиниці τ складається із двох величин

$$\tau = \tau_m + \tau_{об},$$

де τ_m – час обробки деталей у ванні, хв.

$$\tau_m = \frac{\delta \cdot d_{Ni} \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{B_c \cdot K_{екв} \cdot i_k}$$

$$\tau_m = \frac{20 \times 8,9 \times 60 \times 10^{-2}}{1,1 \times 3 \times 0,98} = 33 \text{ (хв)}$$

де δ – товщина покриття, мкм; d_{Ni} – густина нікелевого покриття, 8,9 г/см³; B_c – катодний вихід за струмом, 98%; $K_{екв} = 1,1$ г/А. год – електрохімічний еквівалент; i_k – середня катодна густина струму 3 А/дм²;

$\tau_{об}$ – час обслуговування, який необхідний для завантажування деталей у ванну та їх вивантаження. Прийmemo

$$\tau_{об} = 2 \text{ хв.}$$

$$\tau = 33 + 2 = 35 \text{ хв}$$

Для розрахунку обладнання беремо такі вихідні дані:

де $\delta_{п} = 20$ мкм – товщина покриття;

$d_m = 8,9$ г/см³ – густина нікелю - металу покриття;

$B_c = 0,98$ – катодний вихід за струмом;

$K_{екв} = 1,1$ г/А год – електрохімічний еквівалент;

$i_k = 3$ А/дм² – середня катодна густина струму.

Витрати часу на початковий запуск обладнання, кінцеве вивантаження ванн, на допоміжні операції враховуємо за допомогою коефіцієнта $K_{обл}$: для роботи в 1 зміну – 1,06–1,1 [11].

Виходячи з річної виробничої програми P_p визначаємо сумарний час обробки усіх завантажень, год:

$$\tau_c = P_p \cdot \tau \cdot K_{обл} / 60,$$

$$\tau_c = 11845 \times 35 \times 1,09 / 60 = 7531 \text{ год}$$

Розраховуємо кількість одночасних завантажень усіх ванн, m^2

$$Y_c = \tau_c / T_d$$

$$Y_c = 7531 / 1842 = 4,1 \text{ м}^2$$

2.6 Перерахунок діючого обладнання

Вибираємо ванну, яка призначена для гальванічного нанесення нікелевого покриття, з наступними внутрішніми розмірами:

довжина $l = 1400\text{мм}$,

ширина $b = 800\text{мм}$,

висота $h = 1000\text{мм}$.

Визначаємо, виходячи із габаритних розмірів ванни, довжину l_n та висоту h_n підвісного пристрою, (м):

$$l_n = l - 2l_1,$$

$$l_n = 1,4 - 2 \cdot 0,1 = 1,2 \text{ м},$$

де l – внутрішня довжина ванни, м; $l_1 = 0,1$ м – відстань від краю підвіски до стінки ванни.

$$h_n = h - h_1 - h_2 - h_3,$$

$$h_n = 1,0 - 0,15 - 0,05 - 0,15 = 0,65 \text{ м},$$

де h – внутрішня висота ванни, м;

$h_1 = 0,15$ м – відстань від дна ванни до нижнього краю підвіски;

$h_2 = 0,05$ м – відстань від верхнього краю підвіски до дзеркала електроліту;

$h_3 = 0,15$ м – відстань від дзеркала електроліту до верхнього краю ванни.

На одній підвісці розміщується 102 деталі

$$S_n = S_d \cdot n_d,$$

$$S_n = 7,4 \times 10^{-3} \times 102 = 0,75 \text{ м}^2$$

де S_d – поверхня однієї деталі, м^2 ;

n_d – кількість деталей на підвісці.

Визначають площу поверхні одноразового завантаження у ванну S_{03} , (м^2):

$$S_{03} = S_n \cdot N_n,$$

$$S_{03} = 0,75 \cdot 1 = 0,75 \text{ м}^2$$

де N_n – кількість підвісок, які одночасно завантажують у ванну.

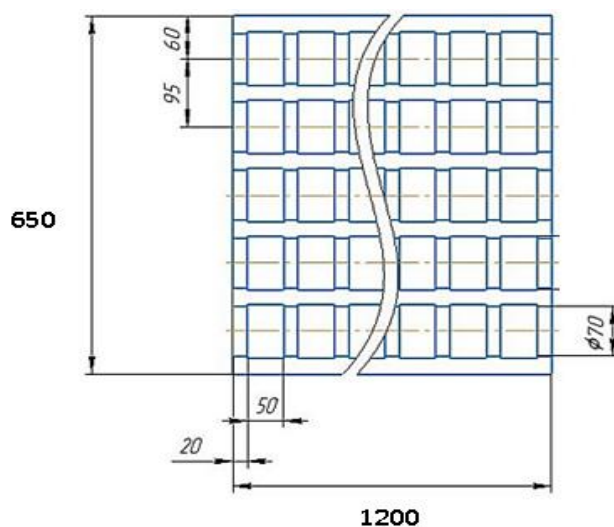


Рис.2. Схема розташування деталей на підвісці

Відстань між анодом і ближнім краєм підвіски з деталями l_{a-k} , (м):

$$l_{a-k} = (B - B_n - 2B_a - 2B_1) / 2,$$

$$l_{a-k} = (0,8 - 0,14 - 2 \times 0,01 - 2 \times 0,1) / 2 = 0,22 \text{ м},$$

де $B = 0,8$ м – внутрішня ширина ванни;

$V_n = 0,14$ м – товщина підвіски з деталями;

$V_a = 0,01$ м – товщина анодів;

$V_1 = 0,1$ м – відстань між анодом і боковою стінкою ванни.

Кількість ванн, необхідних для виконання річної виробничої програми:

$$P_B = Y_c / S_{O_3}$$

$$P_B = 4,1 / 0,75 = 5,5 \approx 6 \text{ ванн}$$

Виходячи з визначеної кількості ванн, розраховуємо річну продуктивність вибраного обладнання:

$$P_p = S_{O_3} \times P_B \times T_d \times 60 / \tau \times K_{obl}$$

$$P_p = 0,75 \times 6 \times 1842 \times 60 / 35 \times 1,0 = 14209,7 \text{ м}^2$$

$$K_{obl} = 1,0.$$

Коефіцієнт завантаження обладнання:

$$K_{zav} = P_p / P_p$$

$$K_{zav} = 11845 / 14209,7 = 0,83 \text{ або } 83\%.$$

Коефіцієнт завантаження обладнання знаходиться в необхідному діапазоні від 0,75 до 0,85.

2.7 Баланс струму на ванні

Для подальшого вибору джерела живлення постійним струмом проводимо розрахунок сили струму на ванні [11].

$$I = K_1 \times i_k \times S_{O_3},$$

$$I = 1,1 \times 300 \times 0,75 = 247,5 \text{ А.}$$

де i_k – катодна густина струму $3 \text{ А/дм}^2 = 300 \text{ А/м}^2$, $K = 1,03 - 1,15$ ($K = 1,1$).

На електродах протікають наступні електрохімічні процеси:

К: (–)

А: (+)

1. $Ni^{2+} + 2e = Ni^0$ (98%, $I_1=242,6 \text{ А}$)

3. $Ni^0 = Ni^{2+} + 2e$ (100%)

2. $2H^+ + 2e = H_2$ (2%, $I_2=4,95 \text{ А}$)

$I_1=247,5 \text{ А}$

Баланс кількості електрики наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Баланс електрики ванни нікелювання

Надходження	Q, А·год	%	Витрати	Q, А·год	%
На катоді: від зовнішнього джерела струму	247,5	100	Відновлення Ni ²⁺ до Ni	242,6	98
			Відновлення водню	4,9	2
Разом	247,5	100	Разом	247,5	100
На аноді: від зовнішнього джерела струму	247,5	100	Окислення Ni до Ni ²⁺	247,5	100
Разом	247,5	100	Разом	247,5	100

2.8 Визначення напруги на ванні з підвісним пристроєм

Робоча напруга при заданій густині струму U_i визначає мінімальну величину напруги на джерелі струму $U_{дс}$. Визначаємо електричну потужність, яка витрачається на електроліз.

Напруга на ванні U складається із різниці електродних потенціалів анода і катода під струмом $E_a - E_k$, омичного падіння напруги в електроліті $\Delta U_{ом}$, у провідниках першого роду (електродах, струмопідводах у ванні, штангах) ΔU_I та в контактах ΔU_k :

$$U = E_a - E_k + \Delta U_{ом} + \Delta U_I + \Delta U_k,$$

Омичне падіння напруги в електроліті $\Delta U_{ом}$, В:

$$\Delta U_e = \frac{i_{cp} \cdot l_{a-k}}{\chi},$$

або

$$\Delta U_e = i_{cp} \times R_c \times l_{a-k}$$

де i_{cp} – середня густина струму в міжелектродному просторі, А/м², розраховується за формулою : $i_{cp} = \sqrt{i_k \cdot i_a}$:

$$i_{cp} = \sqrt{300 \times 150} = 212,13 \text{ А/м}^2;$$

$i_k=300 \text{ А/м}^2$ – середня катодна густина струму;

$i_a=150 \text{ А/м}^2$ – середня анодна густина:

E_k – потенціал катода;

E_a – потенціал анода;

χ – питома електропровідність електроліту

$l_{a-k} = 0,22 \text{ м}$ – відстань між анодом і краєм підвіски з деталями;

$R_c = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ – питомий електричний опір електроліту.

$$\Delta U_e = 212,13 \times 2,5 \times 10^{-2} \times 0,220 = 1,17 \text{ В.}$$

Сума падіння напруги в електродах, провідниках 1 – го роду та в контактах ванни $\Delta U_I + \Delta U_k$ не перевищує 10 % загальної напруги на ванні U, В:

$$U_i = \frac{E_a - E_k + \Delta U_e}{0,9},$$

$$U_i = \frac{0,43 - (-0,73) + 1,17}{0,9} = 2,59 \text{ В}$$

Сума падіння напруги на електродах, провідниках і контактах ванни:

$$\Delta U_i + \Delta U_k = 0,1 \times U_i = 0,1 \times 2,59 = 0,259 \text{ В.}$$

Напруга джерела струму для живлення ванни нікелювання:

$$U_{dc} = U_i / 0,9 = 2,59 / 0,9 = 2,88 \text{ В.}$$

Баланс напруги на ванні нікелювання

Надходження	В	%	Витрати	В	%
Напруга на ванні	2,59	100	Різниця потенціалів під струмом $E_a - (-E_k)$	1,16	44,8
			Падіння напруги в електроліті ΔU_e	1,17	45,2
			Падіння напруги в електродах, контактах і провідниках $\Delta U_1 + \Delta U_k$	0,26	10
Разом	2,59	100	Разом	2,59	100

2.9 Вибір джерела струму для живлення гальванічної ванни

Враховуємо силу струму на ванні $I_1 = 247,5$ А та напругу $U = 2,59$ В, обираємо джерело постійного струму - випрямний агрегат певного типу. Зокрема, випрямний агрегат серії Т характеризується високою точністю стабілізації параметрів, перевагою є також можливе дистанційне керування їх роботою.

Т – зазначає вид випрямного агрегату;

Е – природне охолодження

Обираємо ТЕ1 – 400/12Т.

Цифрові індекси означають: 1) клас перевантажувальної характеристики, 2) номінальна можлива сила струму (постійного) в амперах $I = 400$ А; 3) номінальна постійна напруга в вольтах $U = 12$ В.

Коефіцієнт завантаження для вибраного випрямного агрегату становить

$$K = \frac{N_{dc}}{N_{наcn}} = \frac{247,5 \times 2,59}{4800} = 0,13 \text{кВт},$$

де $N_{\text{дс}}$ – потужність, необхідна для виконання заданої програми, $N_{\text{дс}} = U_i \cdot I \cdot 10^{-3} = 2,59 \cdot 247,5 \cdot 10^{-3} = 0,641$ кВт.

$N_{\text{пасп}} = 400 \cdot 12 \cdot 10^{-3} = 4,8$ кВт – паспортна потужність вибраного агрегату.

2.10 Баланс енергії

При проходженні електролізу електрична енергія $W_{\text{заг}}$ переходить в хімічну енергію $W_{\text{хім}}$ та в теплову енергію (джоулеву теплоту) $W_{\text{дж}}$:

$$W_{\text{заг}} = W_{\text{хім}} + W_{\text{дж}}.$$

Хімічна енергія $W_{\text{хім}}$ характеризує зміни матеріального стану, які відбуваються в результаті перебігу електрохімічних реакцій, а тепла енергія $W_{\text{дж}}$ використовується на нагрівання електроліту [11].

Кількість електричної енергії, яка використовується на перебіг процесу в ванні, визначаємо за наступною формулою:

$$W_{\text{заг}} = U_i \cdot I \cdot \tau \cdot 3600 \cdot 10^{-3},$$

Час роботи ванни під струмом $\tau = 33 \text{ хв} / 35 \text{ хв} = 0,943$

$$W_{\text{заг}} = 2,59 \cdot 247,5 \cdot 0,943 \cdot 3600 \cdot 10^{-3} = 2176,2 \text{ кДж},$$

де I – струм на ванні, А; U_i – напруга на ванні, В;

Хімічну енергію визначаємо за формулою:

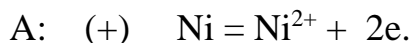
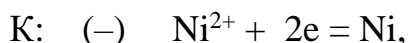
$$W_{\text{хім}} = - \frac{I \times 10^{-2} \times \sum V_i \times \Delta H_i^0 \times B_{ci} \times \tau}{z_i \cdot F}, \text{ кДж}$$

де $\sum \Delta H_i^0$ – зміна ентальпії усіх електрохімічних процесів, яка розраховується за значеннями ентальпії реагентів та продуктів реакції за стандартної температури, z_i – число електронів, які беруть участь у реакції.

Для розрахунку зміни загальної ентальпії усіх процесів, які протікають одночасно, беруть направленість реакції в одну сторону.

$$\sum \Delta H_i^o = \sum v_{i_{вих}} \times \Delta H_{i_{вих}} - \sum v_{i_{кин}} \times \Delta H_{i_{кин}} = 0,$$

На електродах відбувається тільки один процес, що йде у двох напрямках:



Отже, $W_{хим} = 0$, а $W_{заг} \approx W_{дж} \approx 2176,2$ кДж.

Загальні дані щодо балансу енергії на ванні нікелювання наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Баланс енергії на ванні нікелювання.

Надходження	кДж	%	Витрати	кДж	%
Електрична енергія від джерела струму	2176,2	100	Джоулева теплота	2176,2	100
			Хімічна енергія	0	0
Разом	2176,2	100	Разом	2176,2	100

2.11 Тепловий розрахунок гальванічних ванн

Тепловий розрахунок ванн здійснюють для визначення кількості теплоти, яку необхідно підводити до ванни як для розігріву, так і для підтримки робочої температури. Використовуючи отримані дані визначають параметри нагрівального пристрою та витрати теплоносія [11].

Визначимо витрату теплоти на розігрів ванни. Кількість теплоти $Q_{роз}$ для розігріву ванни складається із витрат теплоти Q_1 на розігрів електроліту та ванни, анодів і витрат теплоти $Q_2 / 2$ на компенсацію втрат у навколишнє

середовище. Q_2 – теплові втрати ванни при робочій температурі. Враховують, що в процесі розігріву теплові втрати орієнтовано у 2 рази нижчі.

$$Q_{роз} = Q_1 + Q_2 / 2,$$

$$Q_1 = (V_1 C_1 d_1 + C_2 m_2 + C_3 m_3 + C_4 m_4) \cdot (t_k - t_n)$$

$$V_1 = HB L K_{зав} = 1,2 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,83 = 0,80 \text{ м}^3,$$

де $V_1 C_1 d_1$ – відповідно об'єм, питома масова теплоємність і густина електроліту, що нагрівається $d_1 = 1170 \text{ кг/м}^3$, $C_1 = 3060 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$, $V_1 = 0,80 \text{ м}^3$;

C_2 – теплоємність матеріалу корпусу ванни, для сталі близько $500 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$;

$m_2 = 465 \text{ кг}$ – маса ванни;

C_3 – теплоємність матеріалу футеровки (для вініпласту – близько $1630 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$);

$m_3 = 34 \text{ кг}$ – маса футеровки;

C_4 – теплоємність матеріалу анодів, $C_4 = 448 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$;

m_4 – маса анодів у ванні, $m_4 = 112 \text{ кг}$;

$t_k - t_n = 30 - 20$ – кінцева та початкова температура електроліту.

$$\begin{aligned} Q_1 &= (0,80 \cdot 3060 \cdot 1170 + 500 \cdot 465 + 34 \cdot 1630 + 448 \cdot 112) \cdot (30 - 20) = \\ &= 32023 \text{ кДж}. \end{aligned}$$

Кількість теплоти на компенсацію теплових втрат у навколишнє середовище Q_2 складається із втрат теплоти нагрітим електролітом через стінки ванни Q_3 і втрат теплоти через дзеркало електроліту Q_4 ;

$$Q_2 = Q_3 + Q_4,$$

Q_3 і Q_4 розраховуємо за такими формулами:

$$Q_3 = q_3 \cdot F_k \cdot \tau_p,$$

$$Q_4 = q_4 \cdot F_3 \cdot \tau_p,$$

де F_k – площа поверхні корпусу ванни, м^2 ;

$$F_k = LB + 2LN + 2BH = 1,4 \cdot 0,8 + 2 \cdot 1,4 \cdot 1,0 + 2 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 5,52 \text{ м}^2,$$

F_3 – площа поверхні дзеркала електроліту, м^2 ;

$$F_3 = LB = 1,4 \cdot 0,8 = 1,12 \text{ м}^2$$

τ_p – час розігрівання ванни (приймаємо 3600 сек);

q_3 – величина питомих витрат теплоти через стінки ванни (Вт/м²).

$$q_3 = b_0 + b_1 \cdot t.$$

$b_0 = -40,54$; $b_1 = 2,435$ – значення коефіцієнтів при товщині стінки 25 мм

$$q_3 = -40,54 + 2,435 \cdot 30 = 32,51 \text{ Вт/м}^2,$$

Величину питомих витрат теплоти q_4 (Вт/м²) через дзеркало електроліту можна вирахувати за таким емпіричним рівнянням:

$$q_4 = 82 + 0,0115 \cdot t^3 = 82 + 0,0115 \cdot 30^3 = 392,5 \text{ Вт/м}^2,$$

$$Q_3 = 32,51 \cdot 5,52 \cdot 3600 \cdot 10^{-3} = 646 \text{ кДж},$$

$$Q_4 = 392,5 \cdot 1,12 \cdot 3600 \cdot 10^{-3} = 1582,6 \text{ кДж},$$

$$Q_2 = 646 + 1582,6 = 2228,6 \text{ кДж}$$

$$Q_{роз} = 32023 + \frac{2228,6}{2} = 33137,3 \text{ кДж},$$

2.12 Визначення витрати теплоти для підтримання робочої температури у ванні

Кількість теплоти $Q_{роб}$ для підтримання робочої температури в електрохімічній ванні складається з суми витрат теплоти на компенсацію теплових втрат у навколишнє середовище Q_2 та витрат теплоти Q_5 на підігрів підвісок з деталями, які періодично занурюють у ванну, за вирахуванням величини теплоти $Q_{дж}$, яка виділяється при електролізі [11].

Розрахунок величини $Q_{роб}$ проводять на одну годину роботи ванни та використовують значення величини Q_2 .

$$Q_{роб} = Q_2 + Q_5 - Q_{дж}.$$

$$Q_5 = (C_5 \cdot M_5 + C_6 \cdot M_6) \cdot (t_k - t_n) \cdot n_{03},$$

C_5 і C_6 – питомі масові теплоємкості матеріалу підвіски та деталей відповідно, Дж/кг·К;

$$C_5 = 480 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К},$$

$$C_6 = 440 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К},$$

M_5 і M_6 – маси підвісочного пристрою та деталей на одній підвісці, кг;

$M_5 = 10$ кг;

$M_6 = 20,4$ кг;

n_{03} – кількість підвісок з деталями, які обробляються у ванні за одну годину.

Величину n_{03} можна визначити як $60/\tau$, де $\tau = \tau_T + \tau_{об}$.

$$n_{03} = 60/35 = 1,71$$

Величині $Q_{дж}$ відповідає значення $W_{дж}$, $Q_{дж} = W_{дж} = 2176,2$ кДж,

$$Q_5 = (480 \cdot 10 + 440 \cdot 20,4) \cdot 10 \cdot 1,71 = 235570 \text{ Дж} = 235,57 \text{ кДж},$$

$$Q_{роб} = 2228,6 + 235,57 - 2176,2 = 184,97 \text{ кДж}$$

2.13 Розрахунок пристроїв для нагрівання гальванічних ванн та витрат енергоносіїв для забезпечення теплового режиму

Для нагрівання ванн у заводських умовах використовують водяну пару або електричне нагрівання. Враховуючи вид енергоносія розрахунки його витрат та пристроїв для нагрівання ванни здійснюють за одним із двох варіантів [11].

Розрахунок витрат водяної пари та розмірів змішувача для нагрівання гальванічної ванни

Витрати пари для розігріву ванн, кг

$$G_{п роз} = Q_{роз} \cdot n_v / 2122,$$

де 2122 кДж/кг – кількість тепла, що віддається паром при переході до конденсату з температурою 130°C,

n_v – кількість ванн даного типу.

$$G_{п роз} = 33137,3 \cdot 6 / 2122 = 93,7 \text{ кг},$$

Витрати пари на підтримування теплового режиму протягом 1 години, кг

$$G_{п роб} = Q_{роб} \cdot n_v / 2122$$

$$G_{п роб} = 184,97 \cdot 6 / 2122 = 0,52 \text{ кг}$$

Витрати пари на виконання річної виробничої програми:

$$G_n = (G_{п роз} \cdot T_{дб} + G_{п роб} \cdot T_d) \cdot 10^{-3}, \text{ тонн}$$

$$G_n = (93,7 \cdot 251 + 0,52 \cdot 1842) \cdot 10^{-3} = 24,5 \text{ т}$$

де $T_{дб}$ – кількість робочих діб у календарному році,

$T_{д}$ – дійсний фонд робочого часу обладнанням, год.

Розрахунок змійовика

Оскільки при розігріванні ванни інтенсивність тепловиділення набагато вища порівняно з стаціонарним режимом роботи, то параметри змійовика розраховують, виходячи з величини $Q_{роз}$.

Поверхню змійовика $S_{зм}$, m^2 визначаємо за формулою:

$$S_{зм} = Q_{роз} / 3,6 \cdot K \cdot \Delta t_{ср},$$
$$S_{зм} = 33137,3 / 3,6 \cdot 950 \cdot 105,3 = 0,09 \text{ м}^2$$

де K – коефіцієнт теплопередачі від змійовика до електроліту, орієнтовно 950 Дж/(m^2 град сек);

$\Delta t_{ср}$ – середній температурний натиск:

$$\Delta t_{ср} = (t_p - 20) / (2,3 \cdot \lg(130 - 20 / 130 - t_p)),$$

де t_p – робоча температура ванни, $^{\circ}C$;

20 – температура навколишнього середовища, $^{\circ}C$;

130 – температура конденсату, $^{\circ}C$.

$$\Delta t_{ср} = (30 - 20) / (2,3 \cdot \lg((130 - 20) / (130 - 30))) = 105,3 \text{ }^{\circ}C,$$

Довжина труби змійовика $L_{зм}$, м визначається за формулою:

$$L_{зм} = S_{зм} / 3,14 \cdot d_{зм},$$

де $d_{зм} = 0,034$ м – діаметр труби змійовика

$$L_{зм} = 0,09 / 3,14 \cdot 0,034 = 0,84 \text{ м};$$

Для виготовлення змійовиків використовують сталеві труби з діаметром 32 – 38 мм.

2.14 Розрахунок витрат матеріалів

Розрахунки потрібні для визначення потреби виробництва у вихідній сировині для осадження даного виду покриття [11]. До таких матеріалів належать аноди, реагенти для приготування електроліту.

2.14.1 Розрахунок витрати анодів

Витрати розчинних анодів на запуск обладнання G_{AZ} (кг) визначаються наступним чином:

$$G_{AZ} = K_1 \cdot K_2 \cdot n_{аш} \cdot l_B \cdot h_B \cdot \delta_a \cdot d_M \cdot n_B = 0,48 \cdot n_{аш} \cdot l_B \cdot h_B \cdot \delta_a \cdot d_M ,$$

де K_1 – коефіцієнт, який враховує співвідношення сумарної ширини анодів до довжини ванни (приймають $K_1 = 0,6$);

K_2 – коефіцієнт, який враховує співвідношення анодів та висоти ванни (приймають $K_2 = 0,8$);

$n_{аш} = 1$ – кількість анодних штанг у ванні;

$l_B = 1,2$ м – внутрішня довжина ванни;

$d_M = 8900$ кг/м³ – густина матеріалу анодів;

$\delta_a = 0,015$ м – товщина анодів;

$h_B = 6$ – кількість ванн даного типу.

$$G_{AZ} = 0,48 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 6 \cdot 0,015 \cdot 8900 = 461,4 \text{ кг.}$$

Витрати розчинних анодів на виконання річної програми

Витрата розчинних анодів на виконання виробничої програми, кг:

$$G_{AP} = S \cdot A_p \cdot \delta_n ,$$

$$G_{AP} = 11845 \cdot 0,0094 \cdot 20 = 2226,9 \text{ кг,}$$

де S – сумарна площа нанесеного покриття, м²;

$\delta_n = 20$ мкм – товщина покриття;

A_p – норма витрати розчинних анодів для осадження покриття товщиною 1 мкм, кг/м².

A_p визначають за формулою:

$$A_p = d_m \cdot (1 + 0,06) \cdot 10^{-6},$$

$$A_p = 8900 \cdot (1 + 0,06) \cdot 10^{-6} = 0,0094 \text{ кг/м}^2.$$

Витрати нерозчинних анодів на виконання річної програми

Витрати нерозчинних анодів $G_{АН}$, кг визначаються технологічними втратами та відходами:

$$G_{АН} = S \cdot A_H \cdot 10^{-3}, \text{ кг}$$

де S – сумарна площа поверхні нанесеного покриття при виконанні річної програми, м^2 ;

A_H – норма витрат нерозчинних анодів, г/м^2 ;

$$G_{АН} = 11845 \cdot 5,4 \cdot 10^{-3} = 64 \text{ кг}$$

2.14.2 Розрахунок витрат хімічних реактивів

Розрахунок витрат реактивів на процеси, які необхідні для осадження нікелю, включає в себе кількість матеріалів, необхідних для виконання річної програми з можливими втратами, на коригування і заміну розчину електроліту, витрату матеріалів на запуск нового обладнання.

Витрати реактивів на початковий запуск обладнання

Витрати кожного компонента електроліту G_i (кг) розраховуємо за формулою:

$$G_i = C_i \cdot V_B \cdot K_{зап} \cdot n_B,$$

де C_i – концентрація відповідного компонента електроліту, кг/м^3 ;

$$V_B = 1,4 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 1,12 \text{ м}^3 \text{ – об'єм ванни};$$

$K_{зап}$ – коефіцієнт заповнення ванни, $K_{зап} = 0,83$;

$n_b = 6$ – кількість ванн.

$$G_i_{\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}} = 40 \cdot 1,12 \cdot 0,83 \cdot 6 = 223,1 \text{ кг},$$

$$G_i_{\text{NaBH}_4} = 1 \cdot 1,12 \cdot 0,83 \cdot 6 = 5,6 \text{ кг},$$

$$G_i_{\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6} = 20 \cdot 1,12 \cdot 0,83 \cdot 6 = 111,6 \text{ кг},$$

$$G_i_{\text{етилендіамін}} = 15 \cdot 1,12 \cdot 0,83 \cdot 6 = 83,7 \text{ кг}.$$

Витрати хімічних реактивів на виконання річної програми

Витрат реактивів на виконання виробничої програми розраховуємо за формулою:

$$G_i = C_i \cdot V_{\text{вт}}, \text{ кг}$$

де $V_{\text{вт}}$ – об'єм електроліту, який виноситься із ванни при виконанні річної програми, м^3 :

$$V_{\text{вт}} = 1,15 \cdot S \cdot A_e,$$

$$V_{\text{вт}} = 1,15 \cdot 11845 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} = 2,7 \text{ м}^3$$

де S – сумарна поверхня деталей, яка обробляється за рік, м^2 ; $1,15$ – коефіцієнт враховує площу занурюваної частини підвісок; $A_e = 0,2$ – норма витрат електроліту, який виноситься з деталями, $\text{м}^3/\text{м}^2$.

Тому витрати кожного реактиву становлять:

$$G_i_{\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}} = 40 \cdot 2,7 = 108 \text{ кг},$$

$$G_i_{\text{NaBH}_4} = 1 \cdot 2,7 = 2,7 \text{ кг},$$

$$G_i_{\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6} = 20 \cdot 2,7 = 54 \text{ кг},$$

$$G_i_{\text{етилендіамін}} = 15 \cdot 2,7 = 40,5 \text{ кг}.$$

Сумарна витрата реактивів:

$$M_{\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}} = 223,1 + 108 = 331,1 \text{ кг},$$

$$M_{\text{NaBH}_4} = 5,6 + 2,7 = 8,3 \text{ кг,}$$

$$M_{\text{КС}_4\text{Н}_5\text{O}_6} = 11,6 + 54 = 165,6 \text{ кг,}$$

$$M_{\text{етилендіамін}} = 83,7 + 40,5 = 124,2 \text{ кг.}$$

2.14.3 Розрахунок витрат води

Вода витрачається для приготування електроліту, на випаровування з поверхні електроліту, на протікання побічного процесу розкладу води при електролізі та на промивні операції.

Витрати води на приготування електроліту

$$G'_{\text{H}_2\text{O}} = C_{\text{H}_2\text{O}} \cdot V_{\text{заг}},$$

де $C_{\text{H}_2\text{O}}$ – вміст води в одному м^3 електроліту, $\text{кг}/\text{м}^3$; $V_{\text{заг}}$ – загальні витрати електроліту на виконання річної програми.

$$C_{\text{H}_2\text{O}} \text{ розраховуємо за формулою: } C_{\text{H}_2\text{O}} = d_{\text{ел}} - (C_1 + C_2 + \dots + C_n)$$

де $d_{\text{ел}}$ – густина електроліту, $\text{кг}/\text{м}^3$; $C_1, C_2 \dots C_n$ – вміст компонентів в електроліті, $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$V_{\text{заг}} = V_{\text{в}} \cdot K_{\text{зап}} \cdot n_{\text{в}} + V_{\text{вт}}$$

$$V_{\text{заг}} = 1,12 \cdot 0,83 \cdot 6 + 2,7 = 8,6 \text{ м}^3$$

де $V_{\text{в}}$ – об'єм ванни, м^3 ; $K_{\text{зап}}$ – коефіцієнт заповнення ванни $K_{\text{зап}} = 0,83$; $n_{\text{в}} = 6$ – кількість ванн; $V_{\text{вт}}$ – об'єм електроліту, винесеного деталями .

$$C_{\text{H}_2\text{O}} = 1170 - (40 + 1 + 20 + 15) = 1094 \text{ кг}/\text{м}^3$$

$$G'_{\text{H}_2\text{O}} = 1094 \cdot 8,6 = 9408,4 \text{ кг}$$

Витрати води на випаровування з поверхні електроліту

Витрати води на випаровування знаходимо за формулою:

$$C_{H_2O}^{IV} = \frac{45,6 \cdot K_B \cdot S_e (P_{H_2O} - P_{II}) \cdot T_d \cdot n_B}{P_6}, \text{ кг}$$

де 45,6 – коефіцієнт пропорціональності, кг/м²· год;

K_B – коефіцієнт, який характеризує швидкість руху повітря над дзеркалом електроліту, $K_B = 0,86$;

$S_e = 1,12 \text{ м}^2$ – поверхня дзеркала електроліту;

$n_B = 6$ – кількість ванн даного типу;

P_{II} – парціальний тиск водяної пари за температури та вологості навколишнього середовища, Па, який розраховуємо за формулою: $P_{II} = P_s \cdot \varphi / 100$

де $P_s = 17,5 \text{ мм. рт. ст.}$ – тиск насиченої водяної пари за температури навколишнього середовища повітря; $\varphi = 70\%$ – вологість повітря в умовах цеху.

$$P_{II} = 17,5 \cdot 70 / 100 = 12,25 \text{ мм. рт. ст.}$$

$$C_{H_2O}^{IV} = \frac{45,6 \cdot 0,86 \cdot 1,12 (17,5 - 12,25) \cdot 1842 \cdot 6}{760} = 3353,3 \text{ кг/м}^3$$

Витрати води на промивання

На кожному етапі технологічного процесу необхідно проводити промивання деталей. Недостатнє їх промивання може бути причиною утворення неякісного покриття, його поганого зчеплення з основним металом, появою різних видів браку. Використання для промивання ванн уловлювання, каскадних ванн з протитечією, ванн струменевої та струменево – проточної промивки та їх комбінацій дозволяє значно скоротити витрати води на технологічні потреби. Для даного проекту обрали двохступеневу каскадну промивку:

$$V_{\text{год}} = A_e \cdot S_{\text{год}} \cdot \sqrt{K}$$

де $A_e = 0,2 \text{ дм}^3/\text{м}^2$ – норма виносу розчину із ванни на поверхні деталей;
 $S_{\text{год}} = 6,4 \text{ м}^2/\text{год}$ – годинна виробнича програма ванни;

K – критерій остаточної промивки деталей – $K = \frac{C_0}{C_k} = \frac{40}{0,02} = 2000$, де $C_0 = 40 \text{ г/л}$ – концентрація основного компонента у ванні; $C_k = 0,02 \text{ г/л}$ – гранично допустима концентрація основного компонента у воді після промивки.

$$V_{\text{год}} = 0,2 \cdot 6,4 \cdot \sqrt{2000} = 57,2 \text{ м}^3.$$

Загальні витрати води на промивні операції становлять:

$$V_{\text{сум}} = V_{\text{год}} \cdot T_{\text{д}} \cdot 1,5$$

$$V_{\text{сум}} = 57,2 \cdot 1842 \cdot 1,5 = 158043,6 \text{ м}^3 = 158 \text{ дм}^3,$$

де коефіцієнт 1,5 враховує можливе падіння тиску води у водопровідній мережі.

2.15 Автоматизація процесу нанесення гальванічного нікелевого покриття

Сучасні автоматизовані лінії дають можливість забезпечити підвищення показників продуктивності обладнання, а також зменшують витрати ручної праці, сировини та електроенергії. Крім того вони забезпечують дотримання регламенту технологічного процесу. Всі ці показники впливають як на зниження вартості готової продукції, зменшення кількості браку та отримання якісного гальванічного покриття [12].

Основні технологічні параметри, які можна контролювати в автоматизованій гальванічній лінії, є:

- 1) температура проведення різних операцій;
- 2) значення рН електроліту;
- 3) рівень електроліту в ванні;
- 4) струм та напругу, які подаються на гальванічну ванну.

Для контролю та регулювання величин цих параметрів гальванічні ванни обладнують спеціальними датчиками та пристроями.

При осадженні нікелевого покриття необхідно контролювати температуру та об'єм електроліту в гальванічній ванні.

Нікелювання в лужному тартратному електроліті проводять при незначному нагріванні до 30 °С. Регулювання температури здійснюється автоматично з застосуванням різних видів термометрів. Автоматично необхідно підтримувати сталий рівень електроліту в ванні та запобігати його випаровуванню, щоб концентрації компонентів електроліту знаходились в регламентованому діапазоні величин. Неправильне значення струму та напруги, які подаються на ванну, обумовлюють осадження неякісного покриття з різною товщиною. В процесі нікелювання виход за струмом на катоді та аноді є різним, тому в електроліті може накопичуватись надмірна концентрація йонів нікелю, а значення рН буде ще більше підвищуватись [5]. Для тартратного електроліту отримання якісного покриття відбувається рН повинно бути на рівні 8,5 – 10,5. Здійснивши аналіз технологічної схеми та режимів нанесення покриття, визначаємо необхідний об'єм автоматизації процесу нанесення покриття, який подано у вигляді таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

Параметри регулювання та контролю стадії нанесення нікелевого покриття в електролітичній ванні та специфікація устаткування для вимірювання, регулювання та контролю

Параметр, що контролюється чи регулюється	Технологічний діапазон параметру	Вимоги до схеми автоматизації	Специфікація устаткування
Сила струму напруга		Контроль	Агрегат випрямний для гальванічних ванн, $I_{max} = 400$ А, $U_{max} = 24$ В. Пульт дистанційного керування для випрямного агрегату ТЕ 1-400/24Т
Температура електроліту	30	вимірювання, регулювання, реєстрація	Нагрівач електричний, $U_{роб} = 220$ В, $P_{max} = 12$ кВт, ТЕН, ОО «ТЕХНОМА Ш-Днепр», м. Дніпро. Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад з функцією перетворення електричного сигналу в пневматичний}; вхідні

			сигнали: 0...50 мВ, 0...100 мВ, 0...5 В, 0...10 В, 0...5 мА, 4...20 мА; НСХ перетворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, опору – 50 П, 100 П, 50 М, 100 М
Рівень електроліту	0,7 м	вимірювання, регулювання, реєстрація	Поплавковий датчик рівня. Вихідний сигнал: 4...20 мА Межа похибки: 0,7-2,5%. Діапазон температур -60 ... +125 °С.
рН	8,5 – 9	вимірювання, регулювання, реєстрація	Чутливий елемент рН-метра заглибного виконання; діапазон температур: 0 – 100 °С, з тиском у діапазоні 0,025 – 0,6 МПа. Перетворювач високоомний, Iвих = 0 – 5 мА Регулятор електронний, пропорційно-інтегральний, Iвих = 0 – 5 мА

Поставлені в роботі задачі по автоматизації вимірювання, регулювання та реєстрації параметрів, а саме: температури (30°C), рівня електроліту, рН (8,5–9,0) вирішили шляхом застосування ряду пристроїв, вузлів автоматичного контролю та керування для регулювання технологічного процесу [12].

Висновки

Розраховано основні технологічні параметри для проведення блискучого нікелювання. Товщина покриття становить 20 мкм, процес нікелювання відбувається за 33 хвилини при температурі 30 °С та густині катодного струму 3 А/дм², рН розчину становить 8,5-9,0.

Визначено енергетичний баланс, витрати реагентів та води на всіх стадіях технологічного процесу.

Передбачено застосування автоматичного регулювання наступних параметрів технологічного процесу: температури проведення різних операцій; значення рН електроліту та його рівня в ванні; струму та напруги, які подаються на гальванічну ванну.

Розділ 3. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

3.1 Охорона праці на підприємстві

Охорона праці на підприємстві — це здійснення комплексу заходів технічного характеру (огороження небезпечних місць на виробництві, впровадження безпечної техніки, зміна технологій з метою ліквідації небезпечних для життя і здоров'я людини робіт) і санітарно-гігієнічних (раціональне освітлення, створення сприятливого мікроклімату у виробничих приміщеннях тощо) та навчально-інформаційних заходів, які забезпечують нормальні умови і безпеку праці [14].

Найгострішим питанням охорони праці є боротьба з виробничим травматизмом та професійними захворюваннями. Документи Міжнародної організації праці, Кодекс законів про працю України, Закон України "Про охорону праці" в цих питаннях спрямовані на дослідження виробничого травматизму, забезпечення роботодавцями безпеки праці, відшкодування збитків потерпілим, профілактику травматизму, забезпечення працівників інформацією з охорони праці й техніки безпеки [15].

3.1.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів на виробництві

У гальванічному цеху нікелювання в результаті проведення різних технологічних процесів можна виділити наступні шкідливі виробничі фактори:

- шум та вібрація;
- забруднення повітря пилом;
- наявність парів органічних розчинників;
- надлишок тепла;
- надлишок вологи.

Шум та вібрація. Двигуни машин, електричні інструменти, та верстати в цеху є джерелом виробничого шуму та вібрації, що мають шкідливий вплив на здоров'я та призводять до розвитку хронічних професійних захворювань.

Завдяки застосуванню удосконаленого технологічного устаткування та його своєчасного обслуговування, рівень шуму та вібрації в цеху не перевищує нормативних значень (ДСТУ 12.1.003-83 та ДСТУ 12.1.012-90) [14].

Запиленість та загазованість повітря. Внаслідок виробничої діяльності у повітря цеху надходять різноманітні шкідливі речовини, які при контакті з організмом людини за умов порушення вимог безпеки можуть призвести до виробничої травми, професійного захворювання або розладів у стані здоров'я (ДСТУ 12.1.007-76).

Присутність виробничого пилу в повітрі призводить до професійних захворювань легень та слизової оболонки внутрішніх органів [14].

Електробезпека. Неправильна експлуатація електроустановок і порушення правил безпеки у гальванічних цехах можуть призвести до ураження працюючих електричним струмом.

При експлуатації електричних установок заходи з техніки безпеки спрямовані на створення відсутності контакту з струмоведучими частинами і забезпечення умов для мінімізації можливих небезпечних наслідків.

Серед таких заходів захисту можна відзначити застосування ізоляції проводів та захисного заземлення, блокування та автоматичне відключення електроприладів в небезпечних ситуаціях, застосування безпечної напруги, попереджувальна сигналізація, застосування індивідуальних захисних засобів [15].

Метеорологічні умови. У виробничих приміщеннях необхідно контролювати температуру повітря, його відносну вологість та швидкість руху. Для створення та автоматичного підтримування певних параметрів повітряного середовища у виробничому приміщенні використовують систему кондиціонування повітря.

Створення сприятливих метеорологічних умов в цехах збільшує продуктивність праці не менше, ніж на 10% та зменшує кількість захворювань майже наполовину.

Пожежна безпека. Оскільки у гальванічних цехах застосовуються різні види сировини, зокрема леткі органічні розчинники, тому таке виробництво є вогнебезпечним та належить до категорії В (пожежонебезпечні).

По вибухонебезпечності приміщення цеху відноситься до класу В-І. В таких приміщеннях речовини, які виділяють горючі пари, можуть знаходитись тільки в невеликій кількості. При нормальному режимі роботи з відповідними заходами безпеки вибухонебезпечна концентрація парів не утворюється. В гальванічному цеху робота проводиться без застосування відкритого полум'я.

Черед причин виникнення пожежі варто відзначити необережність при користуванні вогнем, несправність електропроводки та електроустаткування, порушення правил їх експлуатації, загоряння паливно-мастильних матеріалів, в деяких випадках навіть вибух парів розчинників від відкритого полум'я (іскри).

Цех оснащений первинними засобами пожежогасіння для ліквідації невеликих загорянь: вогнегасники, сухий пісок, азбестові ковдри, внутрішнє протипожежне обладнання [14].

Азбестові ковдри призначені для гасіння невеликих пожеж у випадку самозаймання речовин, які не горять без доступу повітря.

Місця розміщення протипожежного обладнання позначені спеціальними знаками, підходи до вогнегасників і іншого устаткування пожежогасіння зручні й доступні. В кожному цеху є план евакуації людей на випадок виникнення пожежі.

Порошкові вогнегасники використовують для пожежогасіння легкозапальних та горючих рідин, лужноземельних металів, електроприладів, які знаходяться під напругою.

Для гасіння загорянь майже всіх твердих речовин, а також горючих і деяких легкозаймистих рідин використовують пінні вогнегасники.

В найбільш пожежонебезпечних місцях розміщені датчики підвищення температури. Електрична пожежна сигналізація автоматичної дії застосовується для повідомлення про пожежу у цеху [15].

3.2 Охорона навколишнього середовища

Гальванічне виробництво призводить до негативного впливу на навколишнє середовище [6].

Зменшення кількості шкідливих викидів на підприємствах досягається за рахунок використання витяжних систем з попереднім очищенням відпрацьованого повітря [16].

Витяжна вентиляція (рисунк 1) складається із очисного пристрою 1, вентилятора 2, центрального 3 та відсмоктуючих повітроводів 4.

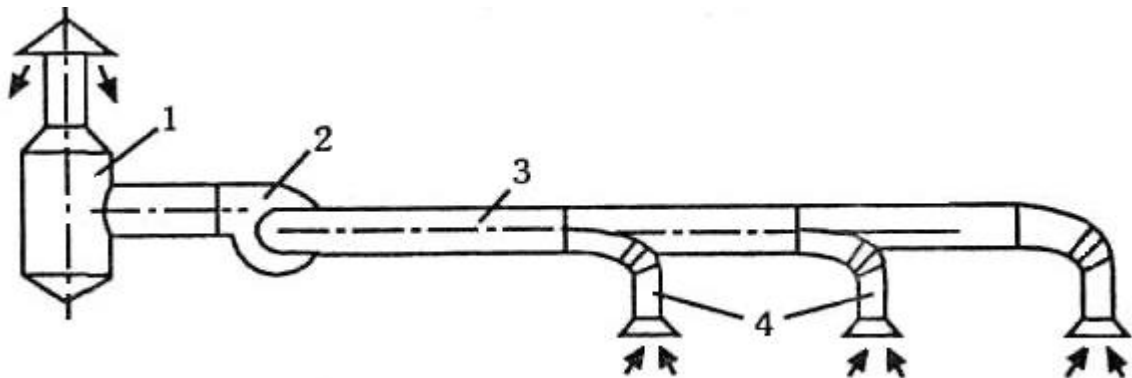


Рис. 3. Схема витяжної вентиляції

Методи очищення стічних вод нікелювання

Внаслідок вираженої здатності до пасивації нікель стійкий до атмосферних умов, майже у всіх органічних кислотах, стійкий у лугах при всіх температурах і концентраціях [3].

Тому нікелеві покриття застосовують у промисловості для захисно-декоративної й декоративної обробки виробів різного призначення, зокрема деталей машин та апаратів, інших приладів; для захисту від корозії при високих температурах та в агресивних середовищах (лугах та деяких кислотах); як проміжний підшар для нанесення інших покриттів на сталевий виріб з метою забезпечення міцного зчеплення покриттів з основою; для підвищення зносостійкості поверхонь, які підлягають тертю [17].

Проте гальванічне виробництво є одним з найбільш екологічно небезпечних. Із стічними водами у навколишнє середовище потрапляє значна кількість забруднень: сполуки нікелю, розчини кислот, органічні речовини.

Токсична дія іонів нікелю при накопиченні в організмі людини призводить до виникнення гострих і хронічних запальних процесів; модифікації метаболізму біологічно активних речовин, ліпідів, білків, ДНК, РНК; посилення перекисного окиснення ліпідів; змін енергетичного обміну, є потужним канцерогеном. Надлишок цього елемента в організмі порушує функції серцево-судинної та нервової систем, роботу шлунково-кишкового тракту. Тривале вживання води з підвищеним вмістом нікелю призводить до розладів слуху, зору, роботи центральної нервової системи [18].

Мінімізація викидів забруднюючих речовин може бути забезпечена застосуванням різних методів їх знешкодження, використанням безвідходних технологій, удосконаленням очисних споруд.

Джерелами забруднення навколишнього середовища в гальванотехніці є не тільки промивні води, але і відпрацьовані концентровані розчини (електроліти, миючі, знежирювальні, травильні). Основними забруднюючими компонентами процесу електрохімічного нікелювання є $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, H_3BO_3 , NaCl , сульфатна кислота [19].

Розбавлені та концентровані стоки підлягають змішуванню та подальшій спільній обробці. Стічні води гальванічного нікелювання мають високий вміст кислот ($\approx 40\%$ порівняно з вихідним), що визначає їх високу корозійну активність. У концентрованому вигляді вони можуть містити до 20 г/л завислих речовин [20].

Очищення стічних вод можна здійснювати з застосуванням хімічних та фізико-хімічних методів. На наших підприємствах найбільш поширеними є такі хімічні методи очищення як нейтралізація, окиснення, відновлення, реагентні методи виділення забруднюючих речовин у вигляді малорозчинних та нерозчинних сполук. Хімічне очищення стічних вод проводиться перед їх подачею в систему оборотного водопостачання, а також перед спуском їх у водоймище або міську каналізаційну мережу. Крім того, зазначений метод застосовується для попереднього очищення стічних вод перед біологічним або фізико-хімічним очищенням, а також у системах локального очищення

виробничих стічних вод. Хімічна обробка знаходить застосування і як метод глибокого очищення стічних вод з метою їх дезінфекції або знебарвлення [21].

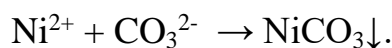
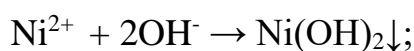
Для видалення сполук нікелю з стічних вод в даний час найбільш поширеними є реагентні методи очищення, які засновані на осадженні розчинних у воді речовин додаванням різних реагентів з подальшим відокремленням їх у вигляді осадів. Так, очищення стічних вод від іонів нікелю здійснюється шляхом переведення їх в малорозчинні сполуки (гідроксиди або основні карбонати) при нейтралізації стічних вод лужними реагентами (гідроксиди та карбонати кальцію, натрію, магнію; оксид кальцію; сульфід натрію; різні відходи, наприклад ферохромовий шлак, який містить (%): CaO - 51,3; MgO - 9,2; SiO₂ - 27,4; Cr₂O₃ - 4,13; Al₂O₃ - 7,2; FeO – 0,73) [22].

Раніше нейтралізація стічних вод здійснювалася вапняним молоком з подальшим відстоюванням в горизонтальних відстійниках безперервної дії. При нейтралізації стоків до рН = 8 - 8,5 вміст іонів нікелю в них знижувався з 40 - 50 до 5 - 15 мг / дм³. Згідно нормативних документів, гранично допустима концентрація ГДК (загально санітарний показник) становить 0,1 мг/дм³, тоді як токсикологічний показник ГДК становить 0,01 мг/дм³.

При нейтралізації кислих стічних вод вапняним молоком, що містить значну кількість вапняку, а також розчинами соди іони нікелю осідають у вигляді основного карбонату, який характеризується нижчим значенням добутку розчинності, ніж відповідні гідроксиди. При утворенні основних карбонатів відбувається повніший перехід іонів металу у малорозчинну форму. Крім того, гідроксонікель карбонат осаджується при нижчих значеннях рН, ніж гідроксид. Проте недоліком реагентних методів очищення є втрата цінних речовин із осадами [23].

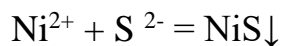


Також можливе утворення гідроксидів та карбонатів нікелю:



Більш ефективним реагентом для вилучення кольорових металів є натрій

сульфід. Відомо, що розчинність сульфідів важких металів значно нижча порівняно з розчинністю інших важкорозчинних електролітів, зокрема гідроксидів та карбонатів. Процес вилучення іонів нікелю сульфідом натрію виглядає так:



Також осаджувати іони важких металів у вигляді сульфїду можна за участю тіокарбонату лужного або лужноземельного металу (наприклад, Na_2CS) при рН розчину 6 – 9 або додаванням 1 - 2% водної суспензії FeS_2 .

Сульфїди важких металів утворюють стійкі колоїдні системи. Для їх осадження вводять коагулянти та флокулянти. Оскільки колоїдні частинки сульфїдів мають негативний заряд, як коагулянти використовують електроліти з багатозарядними катіонами (переважно алюміній або ферум (III) сульфати). Найкращий результат коагулювання досягається при використанні суміші обох сполук. Також можна використати різні глини, алюмінієві відходи виробництва, суміші з кремній (IV) оксидом. Також для прискорення процесу коагуляції використовують різні флокулянти. Зокрема, введення в розчин поліакриламїду збільшує швидкість осадження сульфїдів та гідроксидів металів у 2 – 3 рази [22].

Осадження іонів важких металів, включаючи нікель, можна здійснити з використанням фосфорної кислоти або її солей. Утворені фосфати характеризуються меншим значенням добутку розчинності, ніж відповідні гідроксиди та сульфати. Процес осадження іонів металів має наступні стадії:

- 1) додавання до водного розчину важкого металу фосфорної кислоти або її кислій солі у співвідношенні 1:1;
- 2) коригування рН розчину сульфатною кислотою (рН=3);
- 3) додавання коагулянту (FeCl_3 у концентрації 0,75-1,5 г/л);
- 4) осадження фосфатів металів у лужному середовищі при додаванні кальцій гідроксиду (рН=8,5) [16].

Перевагами реагентного методу очищення стічних вод є: універсальність, простота експлуатації, можливість одночасної обробки промивних вод і

концентрованих розчинів, широкий інтервал початкових концентрацій іонів.

До недоліків методу можна віднести значну витрату реагентів, неповне вилучення іонів металів, потреба в місцях зберігання утворених осадів, складні методи вилучення із шламу важких металів для утилізації [18].

Тому для подальшого очищення стічних вод використовують різні фізико-хімічні методи. До них належать такі: коагуляція та флокуляція, сорбція, іонний обмін, екстракція, електрохімічні методи, мембранні методи (зворотний осмос, ультрафільтрація) та ін. Іонний обмін та електрокоагуляція не дають можливість очистити стічні води до рівня санітарних норм. Осмос і ультрафільтрація забезпечують вищий ступінь очищення, але потребують складного обладнання та великих виробничих площ [25-32].

В даний час сфера застосування фізико-хімічних методів очищення розширюється. Ці методи можна використовувати як самостійно, так і в поєднанні з механічними, біологічними та хімічними методами очищення. Найбільш ефективно застосування фізико-хімічних методів досягається в локальних системах очищення стічних вод промислових підприємств.

Стандартна схема очищення на сучасних очисних станціях починається з механічного очищення води. Воно застосовується для видалення зі стічних вод нерозчинних мінеральних та органічних домішок. Механічне очищення включає проціджування через ґрати, пісковловлювання, відстоювання та фільтрування. У ряді випадків можливе застосування таких пристроїв, як преаератори, біокоагулятори, освітлювачі, нафтові пастки та смоловідстійники, гідроциклони. Для очищення стічних вод від дрібнодисперсних забруднень застосовують осаджувальні центрифуги та рідинні сепаратори. Це забезпечує видалення нерозчинних сполук до 90-95%. Наступним етапом є застосування методів глибокого очищення: реагентного, біологічного, фізико-хімічного або їх комбінації [18].

В результаті проведення очисних заходів сполуки нікелю можуть використовуватись як вторинна сировина або підлягають захороненню як шлам. Додатки гальванічних відходів в будівельних матеріалах поліпшують їх

експлуатаційно-технічні характеристики.

Отримати в результаті очищення чисті і практично нерозчинні сполуки нікелю, придатні для використання в основному виробництві, вирішують способи із застосуванням органічних реагентів комплексоутворювачів.

Відомі способи видалення нікелю шляхом адсорбції іонів на іонообмінних смолах з органічними сполуками, в структурі яких є комплексоутворюючі функціональні групи (наприклад, ди- та тритіокарбоімінова, іміно- або імінодіпропіонова кислоти). Застосування таких сорбентів дозволяє значно підвищити рівень очищення стічних вод за рахунок високої селективності функціональних груп [23,24].

Крім того на виробництвах утворюються і накопичуються малорозчинні осади – шлами, які в подальшому, як правило, не утилізуються. Актуальним для вирішення комплексу задач, які пов'язані з ресурсозбереженням та одночасним захистом навколишнього середовища від забруднення стічними водами, є створення сучасних технологій з використанням компактних установок систем локального очищення води окремих технологічних ліній промислових виробництв, наприклад, - нанесення мідних, нікелевих, цинкових та інших покриттів. В такому випадку можна ефективніше здійснити комплексну переробку стічних вод, які в своєму складі мають переважно сполуки одного із важких металів [19].

На рис. 4 наведено схему організації водних потоків гальванічного цеху. В процесі електроосадження покриття стічні води поділяються на два типи:

- 1) відпрацьовані розчини з ванн із великою концентрацією шкідливих речовин;
- 2) розведені промивні води.

Способи їх обробки відрізняються.

Мережі водогону прокладаються відкрито з неробочої сторони лінії ванн або під обслуговуючими майданчиками. Трубопроводи фарбуються відповідно до затвердженого стандарту, арматура на трубопроводах встановлюється в місцях, зручних для обслуговування [19].

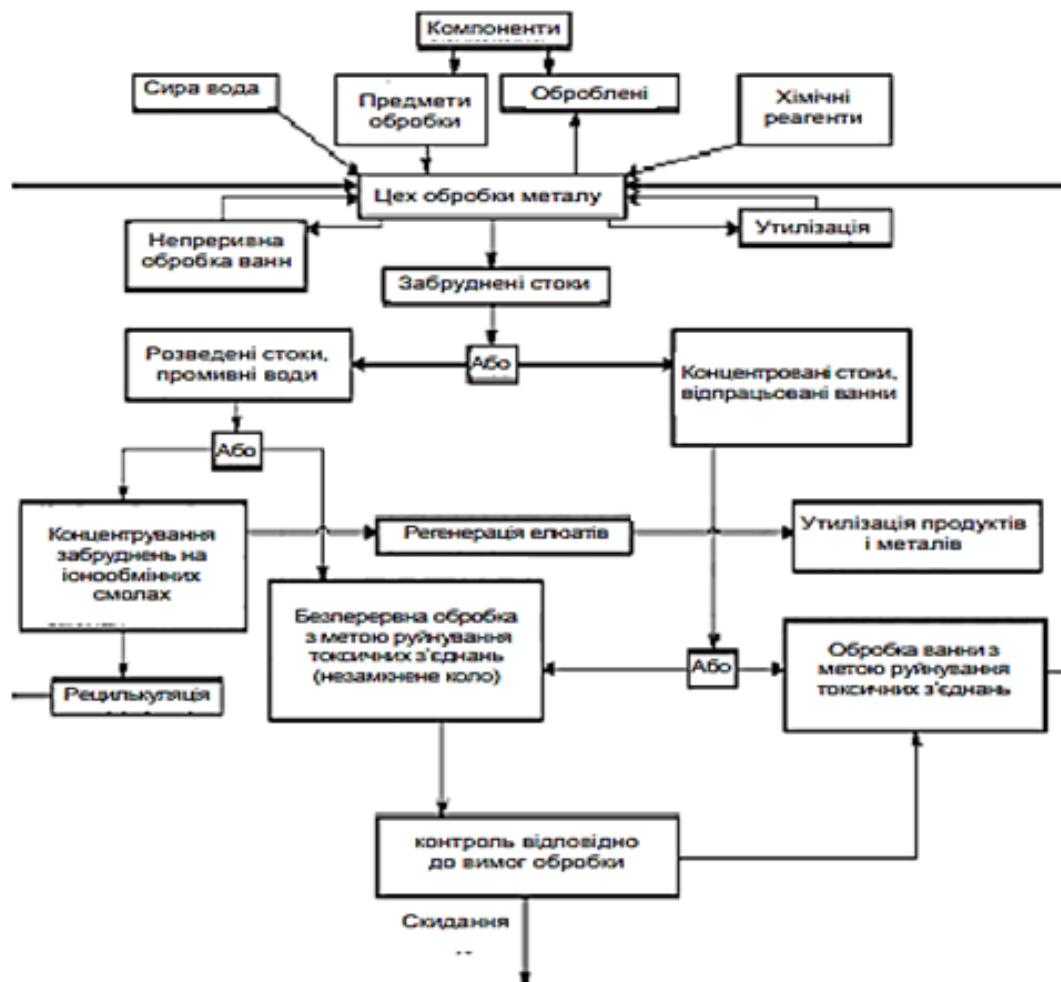


Рис.4 Схема організації очищення концентрованих та розбавлених стічних вод гальванічного виробництва

Висновки

Гальванічне нанесення нікелевого покриття належить до небезпечних та екологічно шкідливих виробництв, які потребують додаткових заходів по забезпеченню відповідних умов праці та очищенню стічних вод.

Серед несприятливих факторів, які призводять до підвищеного травматизму та виникнення професійних захворювань, належать: шум та вібрація при роботі устаткування, забруднення повітря пилом, парами електролітів органічних розчинників; надлишок вологи, робота зі струмом.

Для очищення стічних вод найчастіше використовується недорогий реагентний метод. Продукти утилізації знаходять застосування як вторинна сировина або підлягають захороненню як шлам.

ВИСНОВКИ

1. Для процесу нанесення блискучого нікелевого покриття обрано тартратний лужний електроліт нікелювання наступного складу: хлорид нікелю $NiCl_2 \times 6H_2O$ (35 – 50 г/л), тартрат калію $KC_4H_5O_6$ (15 – 20 г/л), боргідрид натрію $NaBH_4$ (0,5 – 1,5 г/л), етилендіамін $H_2NCH_2CH_2NH_2$ (10 – 25 г/л). Його перевагами є здатність утворювати дрібнокристалічні та рівномірні по товщині функціональні покриття з поліпшеними фізико-механічними характеристиками; невисокий вміст нікель хлориду порівняно з іншими електролітами; можливість застосування електроліту для осадження покриття на складнопрофільних деталях.
2. Розраховано основні технологічні параметри для проведення блискучого нікелювання. Товщина покриття становить 20 мкм, процес нікелювання відбувається за 33 хвилини при температурі 30 °С та густині катодного струму 3 А/дм², рН розчину становить 8,5-9,0.
3. Здійснено перерахунок діючого обладнання та визначено енергетичний баланс, витрати реагентів та води на всіх стадіях технологічного процесу.
4. Передбачено застосування автоматичного регулювання наступних параметрів технологічного процесу: температури проведення різних операцій; значення рН електроліту та його рівня в ванні; струму та напруги, які подаються на гальванічну ванну.
5. Передбачено систему заходів по оптимізації умов праці в гальванічному цеху.
6. Запропоновано недорогий реагентний метод для очищення стічних вод після електрохімічного нанесення нікелевого покриття. Продукти утилізації відходів можуть застосовуватись як вторинна сировина або підлягати захороненню як шлам.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Антропов Л.І. Теоретична електрохімія. Підручник. – К.: Либідь, 1993.-544с.
2. Кислова О. В. Основи електрохімії : навч. посіб. / О. В. Кислова, І. С. Макеєва. – К. : КНУТД, 2017. – 128 с.
3. Антикорозійні та декоративні гальванічні покриття. Електронний ресурс. Режим доступу: <http://topmetal.com.ua/nikelyuvannya>. Дата звернення: 20.09.2023.
4. Z. Abdel Hamid. Improving the throwing power of Nickel electroplating bath // Journal of Materials chemistry and physics. – 1998. – V. 53. – P. 253-238.
5. Yong-Jun Tan, Kim Yong Lim. Understanding and Improving the Uniformity of Electrodeposition // Journal of Surface and coating Technology. – 2003. – V.167 (2). – P. 255-262.
6. Якименко Г.Я., Артеменко В.М. Технічна електрохімія. Ч.ІІІ. Гальванічні виробництва: Підручник /За ред.. Б.І.Байрачного. – Харків: НТУ"ХПІ", 2006. – 272 с.
7. Миронюк І.Ф., Микитин І.М. Електрохімія та її практичні аспекти: Навч.посіб./ Ів.-Франк.:ПНУ ім.В.Стефаника, 2016. – 174 с.
8. Технічна електрохімія: підручник в 5 ч.- ч.5: Сучасні хімічні джерела струму, електроліз розплавів, електросинтез хімічних речовин / Б.І.Байрачний, Г.Г.Тульський, І.А.Токареєв; за ред. Б.І.Байрачного . – Х.: НТУ(ХПІ), 2016. – 272 с.
9. Fumitaka S. Nickel electroplating bath using malic acid as a substitute agent for boric acid / Fumitaka S., Keisuke K., Yuzuru N., Koichi K., Yuichi S. // Metal Finish. – 2007. – Vol. 105, № 12. – P. 34-38.
- 10.Thabo B. Rejection Capacity of Nanofiltration Membranes for Nickel, Copper, Silver and Palladium at Various Oxidation States / Thabo B.; Okoli B.J.; Modise S.J.; Nelana S. // Membranes. – 2021. – V.11(9). – P.653.
- 11.Яцюк Л.А. Основи проектування хімічних виробництв. Будова обладнання та конструкції підвісних пристроїв для нанесення гальванічних покриттів:

- навч. посіб. / Л.А. Яцюк, О.І. Букет, Г.С. Васильєв – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 85с.
12. Лукінюк М. В. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами [у 2 кн.]. Кн. 1. Методи та технічні засоби автоматичного контролю хіміко-технологічних процесів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки «Хімічна технологія та інженерія» / М. В. Лукінюк. – М-во освіти і науки, молоді та спорту України, НТУУ «КПІ». – Київ : Політехніка, 2012. – 336 с.
13. Лукінюк М. В. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами [у 2 кн.]. Кн. 2. Керування хіміко-технологічними процесами [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки «Хімічна технологія та інженерія» / М. В. Лукінюк. – М-во освіти і науки, молоді та спорту України, НТУУ «КПІ». – Київ : Політехніка, 2012. – 336 с.
14. Метод. вказівки до викон. розділу «Охорона праці» в дипломних проектах лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальніст: 161 Хімічні технології та інженерія» / Ю. О. Полукаров, Н. А. Праховнік Л.О. Мітюк, О.В. Землянська. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, – Електронні текстові данні (1 файл: 0,30 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 28 с.
15. Нестеров О.В. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» в магістерських дипломних роботах усіх форм навчання / О.В. Нестеров – Запоріжжя: Каф. ОП і НС. НУ «Запорізька політехніка», 2020 – 31 стор.
16. Макєєва І.С., Кислова О.В., Андрейцева.М.В. Електрохімічна екологія та її застосування [Текст] : навч. посіб. - Київ :КНУТД, 2018. - 216 с.

17. Sivaprakash K.; Blessi T.L.A.; Madhavan J. Biosorption of Nickel from Industrial Wastewater Using *Zygnema* sp. // *J. Inst. Eng. Ser. A.* – 2015. – V. 96. – P. 319–326.
18. Екологічна безпека гальванотехніки. Частина 1. Стічні води. Механічна та сорбційна очистка: навч. посіб. / М.І. Донченко, С.В. Фроленкова – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 197 с.
19. Нестер А. А. Стічні води підприємств та їх очищення : монографія / А. А. Нестер, Н. М. Корчик, Б. А. Баран. – Хмельницький : ХНУ, 2008. – 171 с.
20. Rajoria, S.; Vashishtha, M.; Sangal, V.K. Environmental Science and Pollution Research Treatment of Electroplating Industry Wastewater: A Review on the Various Techniques // *Environ. Sci. Pollut. Res.* – 2022. – V.1. – P. 3.
21. Qin, J.J.; Wai, M.N.; Oo, M.H.; Wong, F.S. A Feasibility Study on the Treatment and Recycling of a Wastewater from Metal Plating // *J. Memb. Sci.* – 2002. – V. 208. P. 213–221.
22. Kobya, M.; Demirbas, E.; Parlak, N.U.; Yigit, S. Treatment of Cadmium and Nickel Electroplating Rinse Water by Electrocoagulation // *Environ. Technol.* – 2010. – V. 3. – P. 1471–1481.
23. Mohsen-Nia, M.; Montazeri, P.; Modarress, H. Removal of Cu^{2+} and Ni^{2+} from Wastewater with a Chelating Agent and Reverse Osmosis Processes // *Desalination.* – 2007. – V. 217. – P. 276–281.
24. Rodrigues Pires da Silva, J.; Merçon, F.; Guimarães Costa, C.M.; Radoman Benjo, D. Application of Reverse Osmosis Process Associated with EDTA Complexation for Nickel and Copper Removal from Wastewater // *Desalin. Water Treat.* – 2016. – V. 57. – P. 19466–19474.
25. Shao, J.; Qin, S.; Davidson, J.; Li, W.; He, Y.; Zhou, H.S. Recovery of Nickel from Aqueous Solutions by Complexation-Ultrafiltration Process with Sodium Polyacrylate and Polyethylenimine // *J. Hazard. Mater.* – 2013. – V.244–245. – P. 472–477.
26. Gao, J.; Qiu, Y.; Hou, B.; Zhang, Q.; Zhang, X. Treatment of Wastewater Containing Nickel by Complexation- Ultrafiltration Using Sodium Polyacrylate

- and the Stability of PAA-Ni Complex in the Shear Field // *Chem. Eng. J.* – 2018. – V. 334. – P. 1878–1885.
27. Zante, G.; Boltoeva, M.; Masmoudi, A.; Barillon, R.; Trébouet, D. Selective Separation of Cobalt and Nickel Using a Stable Supported Ionic Liquid Membrane // *Sep. Purif. Technol.* – 2020. – V. 252. – 117477.
28. Eyupoglu, V.; Kumbasar, R.A. Extraction of Ni(II) from Spent Cr–Ni Electroplating Bath Solutions Using LIX 63 and 2BDA as Carriers by Emulsion Liquid Membrane Technique // *J. Ind. Eng. Chem.* – 2015. – V. 21. – P. 303–310.
29. Benvenuti, T.; Krapf, R.S.; Rodrigues, M.A.S.; Bernardes, A.M.; Zoppas-Ferreira, J. Recovery of Nickel and Water from Nickel Electroplating Wastewater by Electrodialysis // *Sep. Purif. Technol.* – 2014. – V. 129. – P. 106–112.
30. Min, K.J.; Choi, S.Y.; Jang, D.; Lee, J.; Park, K.Y. Separation of Metals from Electroplating Wastewater Using Electrodialysis // *Energy Sources Part A Recover. Util. Environ. Eff.* – 2019. – V.41. – P. 2471–2480.
31. Babilas, D.; Dydo, P. Zinc Salt Recovery from Electroplating Industry Wastes by Electrodialysis Enhanced with Complex Formation // *Sep. Sci. Technol.* – 2020. V. 55. – p. 2250–2258.
32. Arana Juve, J.M.; Christensen, F.M.S.; Wang, Y.; Wei, Z. Electrodialysis for Metal Removal and Recovery: A Review // *Chem. Eng. J.* – 2022. – V. 435. – 134857.