

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

«Модернізація технологічного процесу електрохімічного хромування з застосуванням екологічно-безпечного електроліту на основі солей Cr(III)»

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія
Освітня програма «Технічна електрохімія та електрохімічна енергетика»

Виконала: студентка групи МГТЕ-23

Гордійчук Я.М.

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

Рецензент к.т.н., доц. Крюкова О.А.

Київ 2024

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

Завідувачка кафедри ХТР

_____ Вікторія ПЛАВАН
«_____» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТУ

Гордійчук Яні Миколаївні

1. Тема кваліфікаційної роботи (проєкту): «Модернізація технологічного процесу електрохімічного хромування з застосуванням екологічно-безпечного електроліту на основі солей Cr(III)»

Науковий консультант: Кислова Ольга Володимирівна, к.б.н., доцент
затверджені наказом КНУТД від «03» 09 2024 року № 188-уч

2. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи (проєкту): матеріали переддипломної практики, науково-технічної та патентної літератури, завдання на кваліфікаційну роботу.

3. Зміст кваліфікаційної роботи (проєкту) (перелік питань, які потрібно опрацювати): аналіз літературних джерел в області процесу нанесення хромового покриття з електролітів на основі солей Cr(III), технологічні розрахунки процесу, аналіз шкідливих та небезпечних факторів у гальванічному цеху, аналіз отриманих даних та загальні висновки.

4. Дата видачі завдання «06» вересня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапу кваліфікаційної роботи (проєкту)	Орієнтовний термін виконання	Примітка про виконання
1	Вступ		
2	Розділ 1. Загальна характеристика стадій нанесення хромового покриття методом гальванування		
3	Розділ 2. Технологічні розрахунки		
4	Розділ 3. Заходи з техніки безпеки та охорона навколишнього середовища		
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 до захисту)		
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 _____

Яна ГОРДІЙЧУК

Науковий керівник _____

Ольга КИСЛОВА

АНОТАЦІЯ

Гордійчук Я.М. «Модернізація технологічного процесу електрохімічного хромування з застосуванням екологічно-безпечного електроліту на основі солей Cr(III)». Київ. КНУТД. Кваліфікаційна робота, 2024 рік, кількість сторінок – 80, таблиць – 1, рисунків – 2.

Робота присвячена удосконаленню технології процесу нанесення хромового покриття з електролітів на основі солей Cr(III), які є екологічно безпечнішими порівняно з класичними електролітами хромування на основі хромового ангідриду. Розроблено технологічну схему хромування з використанням модифікованого електроліту, проведено технологічні розрахунки для гальванічного хромування з продуктивністю 5500 м² на рік, удосконалено систему заходів по охороні довкілля. Також в роботі зазначено заходи з охорони праці та техніки безпеки.

Ключові слова: електрохімічне хромування, захисне покриття, солі Cr(III).

ABSTRACT

Gordiychuk Ya.M. “Modernization of the technological process of electrochemical chromium plating with the use of environmentally safe electrolyte based on Cr(III) salts”. Kyiv. KNUTD. Qualification work, 2024, number of pages – 80, tables – 1, figures – 2.

The thesis is dedicated to improving the technology of applying chromium coatings using electrolytes based on Cr(III) salts, which are more environmentally friendly compared to traditional chromium plating electrolytes based on chromic anhydride. A technological scheme for chromium plating using a modified electrolyte has been developed. Technological calculations for galvanic chromium plating with an annual productivity of 5500 m² have been performed, and an improved system of environmental protection measures has been proposed. The thesis also includes measures for occupational safety and health protection.

Keywords: electrochemical chromium plating, protective coating, Cr(III) salts

ЗМІСТ	6
ВСТУП	8
<i>(актуальність теми, мета роботи, завдання дослідження)</i>	
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СТАДІЙ НАНЕСЕННЯ ХРОМОВОГО ПОКРИТТЯ МЕТОДОМ ГАЛЬВАНУВАННЯ	11
1.1 Способи нанесення металевих покриттів.....	11
1.2 Загальні вимоги до покриттів.....	13
1.3 Вимоги до поверхні деталей.....	15
1.4 Загальна характеристика хромового покриття.....	16
1.5 Склад електролітів та режим хромування.....	17
1.6 Склад електролітів на основі Cr(III).....	25
1.7 Контроль якості гальванічного покриття.....	27
1.7.1 Контроль зовнішнього вигляду.....	29
1.7.2 Контроль товщини покриття.....	29
1.7.3 Контроль поруватості.....	30
1.7.4 Контроль міцності зчеплення.....	30
1.8 Видалення неякісного покриття.....	30
Висновки до розділу 1.....	33
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ	35
2.1 Характеристика деталі, яка підлягає обробці.....	35
2.2 Вибір товщини покриття.....	35
2.3. Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання.....	36
2.4 Визначення виробничої програми обладнання.....	37
2.5 Вибір виду обладнання для нанесення гальванічного покриття, розрахунок його кількості та габаритних розмірів.....	37
2.6 Перерахунок діючого обладнання.....	39
2.7 Вибір і обґрунтування технологічного процесу.....	41
2.8 Визначення сили струму на гальванічній ванні.....	43

2.9 Визначення напруги на гальванічній ванні.....	44
2.10 Визначення джоулевої теплоти, яка виділяється в процесі електролізу в гальванічній ванні хромування.....	44
2.11 Розрахунок витрат електроенергії на виконання річної виробничої програми.....	45
2.12 Розрахунок витрат матеріалів.....	46
2.12.1 Розрахунок витрат анодів на початковий запуск обладнання.....	46
2.12.2 Розрахунок витрат хімічних реактивів.....	46
2.12.3 Розрахунок витрат води.....	47
2.12.4 Розрахунок витрат електроенергії на виконання річної виробничої програми.....	49
Висновки до розділу 2.....	50
РОЗДІЛ 3. ЗАХОДИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	51
3.1 Вимоги до техніки безпеки при зберіганні, складуванні, транспортування матеріалів, заготовок, готових виробів і відходів виробництва.....	51
3.2 Вимоги безпеки з устаткування, робочих місць та огорожень.....	57
3.3 Вимоги безпечного використання інструменту.....	63
3.4 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів виробництва, які негативно впливають на працюючих.....	64
3.5. Охорона навколишнього середовища.....	69
Висновки до розділу 3.....	74
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	77

ВСТУП

Електрохімічне хромування є одним із найпоширеніших процесів у гальванотехніці. Хромові покриття застосовуються як захисно-декоративні, а також для підвищення твердості та зносостійкості поверхні виробів та ряду інших цілей. Функціональні властивості хромових покриттів можуть бути суттєво покращені при їх легуванні іншим елементом, який може бути металом (Ni, Co, Fe, Mo, W), так і неметалом (P, B, C). До суттєвих недоліків технологічного процесу хромування з розчинів, що містять сполуки Cr(VI), слід віднести їх високу токсичність, багатадійність процесу очищення промивних та стічних вод, невеликий вихід металу по струму, низький електрохімічний еквівалент, низьку здатність до розсіювання. Отримання сплавів хрому із розчинів на основі Cr(VI) також часто утруднено. Перспективним напрямом у сучасній гальванотехніці є розробка ефективних та стійких електролітів на основі сполук Cr(III). Вони менш токсичні, крім того, електрохімічний еквівалент тривалентного хрому вдвічі більше. Також склади на основі сполук Cr(III) показали свою ефективність при електроосадженні корозійностійких сплавів Ni Cr, Co Cr. Широкому впровадженню електролітів хромування на основі сполук Cr(III) у практику перешкоджають складність їх складу, вузькість інтервалів допустимих значень технологічно важливих параметрів (рН, температура, щільність струму) та складність отримання твердих товстих шарів високої якості хрому. З цієї причини дослідження кінетики та механізму електровідновлення сполук Cr(III) слід визнати актуальними.

Мета дослідження. Проаналізувати зв'язок між складом електролітів на основі сполук Cr(III), умовами нанесення електрохімічного хромового покриття та характером утвореного покриття. Узагальнити результати щодо впливу різних компонентів електролітів на механізм, умови проведення хромування на структуру та якість електроосадженого хрому. Удосконалити

систему заходів щодо техніки безпеки на виробництві та охорони навколишнього середовища.

Завдання дослідження. Використавши літературні дані, проаналізувати особливості нанесення хромового покриття з електролітів на основі солей Cr(III) та обрати оптимальний склад електроліту для здійснення технологічного процесу, охарактеризувати властивості утвореного покриття; розробити технологічну схему хромування з використанням екологічно-безпечного електроліту на основі солей Cr(III), провести необхідні розрахунки для хромування з заданою продуктивністю 5500 м²/рік, удосконалити систему заходів по охороні довкілля та створенню безпечних умов праці на виробництві.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є електроліти хромування на основі солей Cr(III), розробка технологічної схеми нанесення хромового декоративно захисного покриття.

Методи дослідження. Аналіз інформаційних джерел щодо особливостей хромового покриття, електроосадженого за різних умов, зокрема з електролітів на основі солей Cr(III), порівняння властивостей та способів застосування цих покриттів.

Практична цінність. В процесі дослідження були проаналізовані декілька електролітів на основі солей Cr(III) та обрано із них найбільш ефективний і дешевий в експлуатації.

Елементи наукової новизни. Запропоновано склад екологічно-безпечнішого електроліту на основі солей хрому (Cr³), який забезпечує утворення рівномірного, блискучого покриття з високими антикорозійними та механічними властивостями. Ключовими факторами для досягнення хороших результатів є точне підтримання концентрації компонентів, рівня рН та температури розчину під час хромування.

Визначено оптимальні параметри проведення процесу: температура 45°C, густина струму 1-5 А/дм² (в залежності від вимог до покриття), рН розчину 3,5-4,5.

Особистий внесок. Особистий внесок студентки полягає в самостійному аналізі літератури з розв'язуваної проблеми, виконанні експериментальних досліджень, аналізі та математичній обробці одержаних результатів, формулюванні в співавторстві з науковим керівником мети, задач, основних теоретичних положень і висновків роботи.

Публікації. За результатами дипломної магістерської роботи було опубліковано одну наукову статтю та тези доповідей на міжнародній конференції.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Матеріали роботи викладені на 79 сторінках і містять 2 рисунки, 1 таблицю, 29 посилань на роботи вітчизняних і зарубіжних авторів.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СТАДІЙ НАНЕСЕННЯ ХРОМОВОГО ПОКРИТТЯ МЕТОДОМ ГАЛЬВАНУВАННЯ

1.1 Способи нанесення металевих покриттів

Існує безліч методів нанесення металевих покриттів:

1. Гарячий метод - короткочасне занурення виробу в розплавлений метал, який покриває його поверхню. Після виймання та охолодження, захисна металева плівка залишається на предметі.
2. Хімічний метод - утворення покриття за рахунок відновлення металів (Cu, Ni, Ag тощо) з їх солей за допомогою сильних відновників.
3. Метод розпилення - розпилювання розплавленого металу за допомогою інертного газу чи стисненого повітря. Захисний шар утворюється, коли краплі розпиленого металу з великою швидкістю вдаряються об поверхню виробу.
3. Термомеханічний метод - гаряча прокатка захисного металу разом із виробом.
4. Гальванічний метод - отримання металевих покриттів шляхом електролізу.
5. Дифузійний метод - витримування виробів, які потрібно покрити, у контакті з подрібненим металом, його солями чи окислами при температурі нижчій за точку плавлення [1].

Серед неметалевих покриттів найбільш поширеними є лакофарбові, фосфатні та оксидні покриття. Якщо ці методи і покриття не забезпечують достатній захист від корозії, можна використовувати інгібітори (уповільнювачі) корозії.

Хром відноситься до електронегативних металів ($\varphi^0_{\text{Cr/Cr}^{3+}} = -0.74 \text{ В}$), але завдяки сильному пасивуванню він наближається за стійкістю до благородних металів у деяких середовищах. Електролітичний хром має високу твердість. У одиницях Бріннеля твердість хрому досягає 1000 - 1100 кгс/мм², що перевищує твердість загартованих вуглецевих сталей. Хром також має низький коефіцієнт тертя. Ці властивості – висока твердість,

низький коефіцієнт тертя, жаростійкість і висока хімічна стійкість – надають деталям, вкритим хромом, відмінну зносостійкість навіть в складних умовах експлуатації [1-2].

Хромування широко застосовується для підвищення зносостійкості вимірювальних приладів, калібрів, ріжучих інструментів, прес-форм, деталей приладів і машин, що труться. Також хром використовується у виробництві відбивачів світла. Хром має нижчий коефіцієнт відбивання світла порівняно з сріблом, але зберігає свою відбиваючу здатність протягом тривалого часу, тоді як у срібла вона знижується. Хром відбиває більше блакитних променів, ніж нікель, тому його покриття має блакитний відтінок. Коефіцієнт відбивання світла для хрому складає 65%, а для нікелю – 55%.

Існують дві точки зору щодо процесу розряду іонів хрому. Одна група дослідників вважає, що хромування відбувається у декілька стадій з утворенням іонів проміжної валентності: $\text{Cr (IV)} \rightarrow \text{Cr (III)} \rightarrow \text{Cr (II)} \rightarrow \text{Cr}$. Інша група вважає, що хром відновлюється до металу безпосередньо або через стадійний процес з утворенням проміжних іонів трьохвалентного хрому.

Електролітичний хром має дрібнокристалічну структуру. Матові осадки, отримані при низьких температурах (нижче 30°C), мають розмір кристалів від 10^{-6} до 10^{-7} см. Блискучі осадки мають ще менші кристали. Молочні осадки мають більші кристали, ніж блискучі. Твердість електролітичного хрому залежить від розміру кристалів, а також від температури і густини струму [3].

Іншою важливою властивістю хрому є його висока зносостійкість. Зносостійкість хромових покриттів значно зростає з підвищенням температури електроліту, досягаючи максимуму при температурі $55-65^{\circ}\text{C}$, після чого швидко знижується. Межі для отримання найбільш твердих і зносостійких хромових осадків не збігаються. Хоча хромові покриття мають безліч переваг, процес їх нанесення залишається досить недосконалим.

Основним недоліком є низький коефіцієнт виходу струму. Лише приблизно 12-13% від загальної кількості струму використовується для осадження покриття, тоді як решта йде на побічні процеси [2]. Іншим недоліком є низька розсіювальна здатність електроліту, що пов'язано з незначною поляризацією та збільшенням виходу струму при зростанні його густини. Серед недоліків також варто відзначити значну поруватість хрому, яка може спричиняти корозію, а також високі внутрішні напруги, що знижують механічні властивості основного металу.

1.2 Загальні вимоги до покриттів

До покриттів, що застосовуються у виробництві, висуваються вимоги щодо зовнішнього вигляду, а також спеціальних властивостей, якщо це необхідно, включаючи усунення дефектів та контроль якості.

Для металевих покриттів встановлюють вимоги до товщини, поруватості, міцності зчеплення, а також до хімічного складу у випадку сплавів. Для неметалевих неорганічних покриттів основними вимогами є захисні властивості, а при необхідності – також товщина.

Зовнішній вигляд покриттів повинен відповідати наступним вимогам:

- 1) Поліровані покриття повинні мати блиск від блискучого до дзеркального з рівномірним блиском, за винятком отворів, пазів, внутрішніх поверхонь та увігнутих ділянок складних деталей.
- 2) Крайовані покриття повинні бути напівблискучими. Товщина, хімічний склад, захисні властивості та поруватість покриття повинні відповідати зазначеним стандартам [3].

Зчеплення покриття з основним металом повинно бути міцним, без лущення, відколів, пухирів і тріщин, і витримувати випробування на міцність зчеплення відповідно до Держстандарту 9.302-79.

- 3) Захисно-декоративне покриття без полірування повинно мати срібристо-сірий колір, а поліроване – сріблястий колір з блакитним

відтінком. Колір твердого (зносостійкого) покриття має бути світло-сірим з синюватим або молочно-матовим відтінком. Покриття, отримане з хромових електролітів, повинно мати відтінки від молочного до сірого кольору з можливими змінами кольору.

Колір хроматованого покриття повинен бути від світло-зеленого до жовто-зеленого, на деталях з багатокомпонентних і ливарних алюмінієвих сплавів - від сірого до темно-сірого [4].

Колір пофарбованого покриття повинен збігатися з кольором барвника. Не нормується відтінок. відблиски різноманітних кольорів можливі на деталях з багатокомпонентних і ливарних алюмінієвих сплавів.

Деталі зі сталі, міді, латуні, алюмінію підлягають захисно-декоративному хромуванню. Блискучий хром володіє високою поруватістю, тому при захисно-декоративному хромуванні сталіні вироби попередньо вкривають міддю і нікелем для забезпечення корозійної стійкості виробів. Нанесення нікелю та міді проводять по одній із технологічних схем:

1. Нікель - мідь (осаджують в кислому електроліті) - нікель -хром;
2. Мідь (осаджують у ціанідному електроліті) - мідь (осаджують у кислому електроліті) - нікель - хром;
3. Мідь – двох- і тришаровий нікель - хром.

Блискучі хромові покриття можуть бути отримані безпосередньо із електроліту лише за умови осадження їх на полірованій поверхні.

У залежності від умов експлуатації виробу, товщина шарів міді, нікелю і хрому при захисно - декоративному хромуванні приводиться у стандартах. Складає вона у сумі 15 - 45 мкм при товщині шару хрому 1 - 2 мкм [5]. Не дивлячись на незначну товщину осаду хрому (1 – 2 мкм) при хромуванні за шаром нікелю, хром позитивно впливає на покриття, внаслідок більшої в порівнянні з нікелем твердості, зносостійкості й хімічної стійкості.

1.3 Вимоги до поверхні деталей

Ті деталі, які надходять на гальванічну дільницю, повинні мати такий стан поверхні, який би забезпечував одержання якісних покриттів. Держстандартом 9.301-78 «Покриття металеві і неметалеві неорганічні. Технічні вимоги» передбачені наступні вимоги до поверхні основного металу і покриттів.

- Шорсткість поверхні основного металу повинна бути не більше, мкм:
- $Rz40$ під захисні покриття;
- $Ra 2,5$ під захисно-декоративні покриття;
- Поверхня деталей після механічної обробки повинна бути без видимого прошарку мастила, емульсії, металевої стружки, задирок,пилу та продуктів корозії.

- Гострі кути й кромки деталей повинні бути округлені радіусом не менше 0,3 мм або мати фаски (за винятком технічно обґрунтованих випадків).

- Поверхня деталей після абразивної обробки (гідропіско-струминної, галтування та іншої) повинна бути без продуктів корозії і задирок травильного шламу, шлаку.

- Поверхня шліфованих і полірованих деталей повинна бути без забоїн, вм'ятин, припалів, рисок, задирок, дефектів від рихтувального інструменту [5].

- Поверхня литих і кованих деталей повинна бути без спаїв, недоливів, тріщин, газових і усадочних раковин, включень окалини, Відхилення, що допустимі на поверхні литих деталей (вид, розмір і кількість), встановлюють у конструкторській документації.

- Шви на зварних і паяних деталях повинні бути зачищені, бути безперервними на всьому периметрі й виключати затікання електроліту в зазор.

- Переривчасті шви повинні бути попередньо загерметизовані. Негерметичні шви можуть покриватися тільки у випадках, які передбачені Держстандартом 9.305-84.
- На деталях з титанових сплавів шви повинні бути виконані аргоно-дуговим зварюванням [6].

Усі вимоги до основного металу, що не передбачені дійсним стандартом, за узгодженням із замовником допускається вказувати в конструкторській документації.

1.4 Загальна характеристика хромового покриття

Хромове покриття широко застосовується для підвищення зносостійкості вимірювальних приладів, калібрів, ріжучих інструментів, прес-форм та деталей приладів і машин, що зазнають тертя, а також у виробництві світловідбивачів. Незважаючи на те, що коефіцієнт відбиття світла у хрому нижчий, ніж у срібла, він залишається стабільним протягом тривалого часу, тоді як у срібла цей показник значно знижується. Відбивна здатність хрому вища за нікель — коефіцієнт відбиття хрому становить 65%, а нікелю — 55%. Хром краще відбиває сині промені в порівнянні з нікелем, через що його покриття має блакитний відтінок [5-6].

Хром належить до електронегативних металів, проте завдяки своїй здатності до пасивування він у деяких середовищах демонструє стійкість, схожу на благородні метали. Хімічно стійкий до органічних кислот, сірки, сірководню, сірчаної та азотної кислот, а також лужних розчинів. Хром також є стійким до вологої атмосфери і довгий час зберігає свій блиск, оскільки на його поверхні утворюється прозора пасивна плівка, яка захищає від тьмяніння. Ця плівка також захищає хром від окислення, тому при високих температурах (до 800°C) він надійно оберігає сталеві вироби.

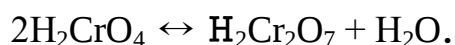
Незважаючи на хімічну стійкість, хромове покриття відрізняється пористістю (до товщини 25-30 мкм), що робить його ненадійним захисним шаром від корозії заліза, оскільки у гальванічній парі Fe/Cr хром виступає

катодом. Тому перед хромуванням для зниження пористості наносять підшар міді або нікелю. Товщина цього шару може бути незначною (0,8-1 мкм) [7].

Висока твердість, низький коефіцієнт тертя, жаростійкість і хімічна стійкість хромового покриття забезпечують його деталям високу зносостійкість навіть у важких умовах експлуатації.

1.5 Склад електролітів та режим хромування

На практиці хром виділяють з електроліту, де основним компонентом є не хромові солі, як у багатьох інших гальванічних процесах, а хромовий ангідрид (CrO_3). При його розчиненні у воді утворюється суміш поліхромових кислот, найчастіше суміш хроматної та дихроматної кислот, які перебувають у рівновазі за реакцією:



Таким чином, в електроліті хромування присутні чотири типи аніонів: HCrO_4^- , CrO_4^{2-} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ і HCr_2O_7^- . Зі збільшенням концентрації CrO_3 рівновага зміщується в бік утворення $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, а при розбавленні — у бік утворення аніону CrO_4^{2-} .

У сполучі CrO_3 хром знаходиться у шестивалентній формі. Хром також може бути виділений з розчинів його тривалентних солей (наприклад, $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$). Нині в промисловості такі електроліти використовуються рідко, проте вони є екологічно безпечнішими, і тому перспективними. Електроліз у розчинах CrO_3 проводять із застосуванням нерозчинних анодів, виготовлених зі свинцю або його сплаву з 5-6% сурми, які мають підвищену твердість і хімічну стійкість в електроліті [8].

Використання розчинних анодів із хрому є недоцільним, оскільки вони розчиняються, утворюючи іони з різною валентністю, що порушує роботу ванни. Крім того, анодний вихід по струму у 6-8 разів перевищує катодний, що призводить до накопичення іонів хрому в електроліті.

За відсутності сульфатної кислоти початкова густина струму є вищою, і її різке падіння з часом не спостерігається. У розчинах з сульфатною кислотою різке падіння густини струму зумовлене утворенням на поверхні електрода плівки з продуктів реакції, яка ускладнює протікання електрохімічних процесів. Плівка на катоді зміщує катодний потенціал у більш негативну сторону, що дозволяє не тільки розряджати іони водню, але й відновлювати хромову кислоту до металевого хрому та тривалентного іону. Існує припущення, що перенапруга водню при наявності плівки більша, ніж на чистій хромовій поверхні, що пояснює переважне виділення водню за відсутності H_2SO_4 .

Для отримання хромового осаду хорошої якості необхідно, щоб у електроліті була присутня невелика кількість сторонніх аніонів, зокрема SO_4^{2-} . Співвідношення між сульфатною кислотою і хромовим ангідридом впливає на вихід по струму та якість покриття. Зазвичай концентрація хромового ангідриду в електроліті становить 150-400 г/л [8].

Під час дослідження механізму відновлення хромат-аніонів до металевого хрому постає питання, чи відбувається цей процес безпосередньо, чи через стадії з утворенням проміжних іонів Cr^{3+} . Лише при досягненні певної густини струму починається осадження металевого хрому.

Якщо густина струму є нижчою, на катоді відбувається лише відновлення хрому з стану Cr^{6+} до Cr^{3+} . При збільшенні густини струму, крім реакції $\text{Cr}^{3+} + 3\text{e} \rightarrow \text{Cr}$, починає виділятися водень та осаджуватися металічний хром. Поріг густини струму, при якому починається осадження хрому, залежить від типу й концентрації інших аніонів, а також від температури електроліту.

Найпоширеніші режими електролізу знаходяться в межах густини струму 30-70 А/дм² і температури 40-70°C. Незважаючи на численні дослідження, що намагалися пояснити механізм електроосадження хрому, до цього часу не існує повної теорії, яка б охопила всі аспекти цього процесу.

Для ефективного осадження хрому необхідно діяти на електроліт струмом протягом 3-4 годин при густині струму 6-8 А/дм². Це дозволяє накопичити в електроліті невелику кількість іонів Cr^{3+} (2-4 г/л), що позитивно впливає на процес осадження [9]. Однак, надмірне накопичення Cr^{3+} звужує діапазон, у якому можна отримати блискучі осади, та підвищує напругу на електролізері. Щоб підтримувати концентрацію Cr^{3+} у нормальних межах, швидкість окислення хрому на аноді повинна відповідати швидкості його відновлення до Cr^{3+} на катоді. Для цього необхідно підтримувати співвідношення площі катодної та анодної поверхонь у межах від 2:1 до 3:2. Якщо Cr^{3+} накопичується надмірно, електроліт обробляють струмом, збільшуючи площу анодів у кілька разів порівняно з катодом.

Свинець використовується як матеріал для анодів. Використання розчинних анодів із металевого хрому недоцільне, оскільки вони розчиняються, утворюючи іони різних валентностей, що порушує процес. Анодний вихід по струму перевищує катодний у 6-8 разів.

Для осадження блискучого хрому, який застосовується для декоративно-захисного покриття, використовують електроліт наступного складу (у мінімальних значеннях):

CrO_3 – 250 г/л,

H_2SO_4 – 2,5 г/л.

Процес проходить при температурі 45-55°C, з катодною густиною струму 25-55 А/дм². Вихід по струму становить 0-13%. Для покращення розсіювальної здатності електроліту рекомендується додавання борної кислоти в кількості 10-15 г/л, хоча механізм її дії ще не досліджений. Такий електроліт особливо підходить для декоративного хромування рельєфних поверхонь.

Проведено багато досліджень для вивчення умов осадження хрому з холодних електролітів, що містять іони фтору. Для цього пропонується електроліт такого складу (у г/л):

$\text{CrO}_3 - 150,$

$\text{H}_2\text{SO}_4 - 0,6,$

$\text{NaF} - 10,0.$

Процес хромування проходить при температурі $18-25^\circ\text{C}$, з катодною густиною струму $5-10 \text{ А/дм}^2$, а вихід по струму становить $10-16\%$. Основним недоліком холодних електролітів для хромування є їх нестабільність. Під час електролізу вміст фторидної солі знижується, тому кожні $150 \text{ А}\cdot\text{год/л}$ необхідно коригувати рівень NaF в електроліті. Якісні покриття можуть бути отримані лише у вигляді тонких шарів. Аноди рекомендується виготовляти зі сплаву, що містить 93% свинцю та 7% миш'яку [7-9].

Чорні осади хрому також застосовуються для декоративних цілей або спеціальних завдань, таких як зменшення коефіцієнта відбиття світла. В електролітах для чорного хромування не повинно бути сульфатів.

Склад електроліту для чорного хромування:

$\text{CrO}_3 - 250 \text{ г/л},$

$\text{NaNO}_3 - 5 \text{ г/л}.$

Процес проводять при температурі електроліту 20°C з катодною густиною струму 50 А/дм^2 . Натомість натрієвий нітрат (NaNO_3) можна замінити кислотами: HBF_4 , CH_3COOH або H_2SeO_3 .

Замість багат шарового покриття мідь-нікель-хром, останнім часом широко використовуються молочні осади хрому, які мають низьку пористість і добре захищають метал від корозії. Молочні осади хрому осаджують безпосередньо на сталь. Для цього використовуються електроліти з наступним складом (у г/л):

Варіант I: $\text{CrO}_3 - 220-250, \text{H}_2\text{SO}_4 - 2,2-2,5,$

Варіант II: $\text{CrO}_3 - 350-370, \text{H}_2\text{SO}_4 - 3-3,5.$

Електроліт I працює при температурі $70\pm 1^\circ\text{C}$ з катодною густиною струму $25-35 \text{ А/дм}^2$, а електроліт II – при температурі $58-52^\circ\text{C}$ з катодною густиною струму $20-25 \text{ А/дм}^2$.

Також використовуються комбіновані двошарові покриття хромом — молочним і блискучим. Це покриття рекомендується для виробів, які працюють в умовах високої вологості. Хромування проводять послідовно в двох ваннах з однаковим складом електроліту: CrO_3 – 250 г/л і H_2SO_4 – 2,5 г/л. Спочатку осаджується шар молочного хрому при температурі 70°C і катодній густині струму 30 А/дм^2 . Потім виріб не промиваючи переноситься в іншу ванну, де осаджується блискучий хром при температурі 50°C і катодній густині струму $30\text{-}50 \text{ А/дм}^2$.

В останні роки широко застосовується мікропористе хромування для захисно-декоративних цілей. Це покриття здійснюється шляхом нанесення спеціального проміжного шару нікелю, що містить непровідні мікрочасточки, між блискучим нікелем і хромом. Під час електролітичного покриття цього шару хромом з стандартних електролітів, хром не осаджується на мікрочасточках, утворюючи мікропористу хромову плівку. Мікропористі хромові покриття зазвичай мають товщину $0,2\text{-}0,3 \text{ мкм}$ і містять від сотень тисяч до мільйону і більше мікропор на 1 см^2 поверхні. Завдяки великій кількості пор у покритті, корозія попереднього шару нікелю в утворених мікроелементах (нікель - анод, хром - катод) протікає рівномірно по всій поверхні, що уповільнює проникнення корозії вглиб. Корозійна стійкість покриттів мідь-нікель-хром при поєднанні мікропористого хромування з двошаровим або трьохшаровим нікелюванням збільшується в 8-12 разів порівняно з одношаровим нікелевим покриттям тієї ж товщини [10].

При зносостійкому хромуванні товщина осадів досягає від $0,3$ до $0,8 \text{ мм}$, і в цьому випадку підшар міді та нікелю не застосовується. Зносостійке хромування використовують для покриття деталей машин і інструментів, що підлягають механічному зносу під час роботи, для відновлення зношених компонентів та корекції деталей, розміри яких виявилися недостатніми через механічну обробку.

Зазвичай зносостійкому хромуванню підлягають сталльні та чавунні деталі. Щоб зменшити нерівномірність товщини покриття, використовують аноди спеціальної форми, додаткові не проводять струм катоди, екрани, ізоляцію частини поверхні та інші методи.

Особливу увагу при зносостійкому хромуванні приділяють кріпленням деталей в електролізері. Воно повинно забезпечувати хороший контакт як з виробом, так і з катодною штангою [11].

Склад електроліту для зносостійкого хромування такий самий, як і для декоративного хромування. Однак, оскільки менш концентровані електроліти забезпечують більший вихід за струмом, процес доцільно вести з розбавленим електролітом. Зазвичай для зносостійкого хромування використовують електроліт, що містить 200 г/л CrO_3 і 1,9-2,1 г/л H_2SO_4 . Процес проводять при температурі $55 \pm 1^\circ\text{C}$ і катодній густині струму 35 А/дм^2 . Цю густину можна збільшити до 100 А/дм^2 при температурі електроліту $67 \pm 1^\circ\text{C}$.

Звичайний електролітичний хром погано змащується маслом, що при великих питомих тисках може призвести до «сухого» або «напівсухого» тертя, що, у свою чергу, спричинює передчасний вихід з ладу тертьових деталей. Поліпшення умов змащення досягається за рахунок поруватого хромування.

Процес поруватого хромування є варіантом зносостійкого хромування і включає додаткову анодну обробку хромованої поверхні для створення більшої кількості пор і каналів. На даний момент поруватий хром широко використовується для циліндрів і поршневих кілець двигунів, а також для деяких типів ковзальних підшипників [12].

Анодне травлення проводиться у хромовому електроліті, аналогічному тому, що використовують для хромування. Однак цю операцію доцільно виконувати в окремому електролізері, оскільки електроліт швидко забруднюється залізом.

Під час електролізу хромування відбувається значний винос агресивного електроліту разом з газами в вентиляційні канали. Для зменшення втрат і поліпшення умов праці дзеркало електроліту закривають поплавками з поліетилену, що дозволяє зменшити втрати хромового ангідриду вдвічі. Ще більший ефект досягається введенням у електроліт домішок хроміну (суміш фторованих вуглеводнів), що знижують поверхневий натяг.

У гальванотехніці також використовуються саморегулюючий електроліт і тетрахроматний електроліт.

Саморегулюючий електроліт відрізняється від універсального (250 г/л CrO_3) тим, що до нього додають малорозчинні солі, такі як сульфат стронцію і фторид калію. Їх додають у кількостях, які перевищують їхню розчинність, що дозволяє підтримувати стабільний рівень аніонів SO_4^{2-} та SiF_6^{2-} . Цей електроліт стабільний у часі, має ширший діапазон робочих температур і густин струму для отримання блискучого покриття, а також забезпечує вищий вихід за струмом (7-18%) порівняно з універсальним [13].

Основним недоліком цього електроліту є його висока хімічна активність, що вимагає спеціальних захисних заходів від корозії. Для захисту електролізерів використовують вініпласт, аноди виготовляють із свинцю зі сплавом олова (5%), а ділянки виробу, які не хромуються, повинні бути ізольовані.

Тетрахроматний електроліт виготовляється з хромового ангідриду, їдкого натру та сульфатної кислоти. Взаємодія їдкого натру з хромовою кислотою утворює тетрахромат натрію:

Типовий склад тетрахроматного електроліту (г/л):

- CrO_3 : 350-400

- H_2SO_4 : 2.5

- NaOH : 40-60

-Сахароза: 1-2

Оптимальна температура для цього процесу становить 18-20°C. За підвищених температур тетрахромат натрію розкладається. Задовільні результати покриття досягаються в широкому діапазоні струмових густин (10-80 А/дм²).

Перевагою тетрахроматного електроліту є високий вихід по струму (35-40%) і гарна здатність покриття поверхні. Проте осад, отримані з цього електроліту, мають сірий колір і потребують полірування. Мікротвердість таких покриттів становить 350-400 кгс/мм², тому у випадках, коли необхідна підвищена твердість, тетрахроматні електроліти не підходять [11-13].

Основний електроліт для осадження хрому складається з двох компонентів: CrO₃ і H₂SO₄, при цьому їх співвідношення за масою має бути 100:1 для досягнення максимально високого виходу по струму. Зазвичай вміст CrO₃ коливається в межах 150-300 г/л, а електроліт із вмістом 220-250 г/л вважається стандартним.

Для створення зносостійких покриттів рекомендується використовувати розбавлений електроліт, тоді як концентрований підходить для захисно-декоративних покриттів. Найбільш поширений стандартний або універсальний електроліт, з виходом хрому по струму в межах 8-18% залежно від концентрації.

Покриття хрому, отримане з фторидних електролітів, має нижчу твердість і є більш пластичним, ніж покриття зі стандартного електроліту, однак має недоліки, такі як вища агресивність і утворення на анодах плівки фториду свинцю з високим електричним опором [14].

Саморегулюючий електроліт вважається більш ефективним за своїми характеристиками. Його основні переваги включають:

1. стабільність складу, оскільки концентрація сторонніх аніонів підтримується автоматично;
2. вищу провідність порівняно зі стандартним електролітом;

3. практично незмінний вихід по струму незалежно від катодної щільності струму (понад 40 А/дм²) і температури (понад 50°C);
4. широкий діапазон змін катодної щільності струму і температури, що забезпечує формування блискучих осадів;
5. вищу здатність до рівномірного розподілу покриття порівняно зі стандартним електролітом.

Однак недоліком саморегулюючого електроліту є його висока агресивність. Аноди з Pb-Sn сплаву мають містити 5-10% олова.

Тетрахроматний електроліт застосовують виключно для захисно-декоративних покриттів.

1.6 Склад електролітів на основі Cr(III)

У літературі наведено чимало рецептів електролітів для електроосадження хрому з розчинів його тривалентних сполук. Спільним для всіх таких електролітів є наявність солей тривалентного хрому, буферних добавок, слабких комплексоутворювачів (переважно для підвищення рН і утворення гідроксидів), а також солей для підвищення електропровідності. Іноді в електроліти додають ПАР (поверхнево-активні речовини) та антипінні засоби. Найчастіше в електролітах використовують концентрацію іонів хрому (III) від 0.4 до 1.0 моль/л [15].

Для підвищення електропровідності широко використовують неорганічні солі лужних металів або амонію. При оптимальних концентраціях вони сприяють збільшенню виходу по струму і покращують якість покриттів. Зазвичай використовують концентрацію солей, яка забезпечує загальну концентрацію іонів у діапазоні 1 – 3 моль/л в електроліті. Для стабілізації рН електроліту та катодного шару часто застосовують буферні добавки, такі як борна кислота та її солі, солі амонію, сечовину, борфториди та інші сполуки.

Для підвищення рН утворення гідроксидів рекомендується використовувати сполуки, які утворюють комплекси з Cr^{3+} . Широко використовуються для цього карбонові кислоти та їх солі, амінокислоти, карбамід, гіпофосфіт тощо. У деяких випадках ліганди можуть виконувати функцію буферних добавок.

Додавання борної кислоти підвищує вихід хрому по струму, але при цьому може погіршувати зовнішній вигляд осадів. Хромові покриття можуть мати тріщини, які стають частішими та вужчими при зниженні температури електроліту [14].

Введення амінокислот, наприклад, гліцину, значно поліпшує якість хромових осадів, що, ймовірно, пов'язано з підвищенням буферної ємності електроліту через утворення комплексних іонів з хромом типу $[\text{Cr}(\text{Gln})_n\text{X}^{6-n}]\text{Xn}^{-3}$, де Gln – гліцин, X – одновалентний залишок, $n = 3 - 6$. Аміноуксусна кислота в кислотних розчинах може утворювати протонований іон $+\text{NH}_3\text{RCOOH}$, що пояснює буферні властивості амінокислот у кислотних розчинах. Однак слід зазначити, що в концентрованих розчинах гліцину іон $+\text{NH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ може бути включений у катодний осадок, що робить його більш крихким [12].

Дослідження буферної ємності та рН утворення гідроксидів при введенні різних органічних речовин показало, що мурашина кислота і моноетаноламін забезпечують найбільшу буферну ємність.

Пропонується використовувати суміші органічних розчинників з водою для електролітичного осадження хрому з його тривалентних сполук. Як добавки до електроліту хромування можна використовувати розчинники, молекули яких можуть вбудовуватися в гідратну оболонку в середині координаційної сфери комплексів тривалентного хрому. Це повинно полегшити відновлення таких комплексів у порівнянні з гексааквакомплексом хрому $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$. Для електролітів тривалентного хрому пропонуються комплекси: гексаметилентетрауксусна,

діетилентриамінпентауксусна, імінодіуксусна, нітрилотриуксусна та етилендіамінтетрауксусна (ЕДТА) кислоти. Ці добавки утворюють комплекси з іонами тривалентного хрому з різною стійкістю.

Крім буферних добавок та лігандів, в електроліт тривалентного хрому іноді вводять інші речовини. Наприклад, мікродомішки міді, цинку і свинцю можуть негативно впливати на якість катодного осаду. Для усунення цього впливу пропонується використовувати похідні тіазолу або бензатіазолу, які утворюють комплекси з металевими примісями, підвищуючи допустиму концентрацію мікропримісей в електроліті. Також підтримання низького рівня концентрації домішок можливе за допомогою технології іонного обміну [16].

Для покращення якості осадів з електролітів на основі тривалентних сполук хрому рекомендується використовувати імпульсний електроліз. Застосування імпульсного струму значно покращує морфологію хромового покриття. Деякі автори вважають, що при використанні постійного струму неможливо отримати якісні хромові покриття товщиною більше 5 мкм, тоді як товстіші покриття можна отримати з використанням реверсного і імпульсного електролізу.

1.7 Контроль якості гальванічного покриття

Після гальванічної обробки всі деталі обов'язково перевіряються на якість покриття. Перевіряють зовнішній вигляд, міцність зчеплення з основним металом, корозійну стійкість, товщину та поруватість покриття. Отже, контроль якості гальванічного покриття — це комплекс заходів, які спрямовані на перевірку фізичних, хімічних та механічних властивостей захисного шару металу, що нанесений на поверхню виробів за допомогою електролізу. Основними цілями є забезпечення однорідності, довговічності та функціональних властивостей покриття.

Ось основні етапи та методи контролю якості:

1. Візуальний огляд

- Перевіряється рівномірність покриття, відсутність дефектів (пухирів, тріщин, подряпин).
- Важливо оцінити блиск, колір і відсутність плям на поверхні.

2. Товщина покриття

- Мікрометричний метод: використовують мікрометр або калібр для вимірювання товщини.
- Магнітний метод: заснований на різниці в магнітних властивостях основного металу та покриття.
- Електролітичний метод: використовують спеціальні прилади для вимірювання товщини покриття шляхом розчинення його шару.

3. Адгезія покриття

- Механічний тест: зразок піддають механічним навантаженням, наприклад, вигин або деформація для перевірки міцності зчеплення покриття з основним металом.
- Тест методом скрайбування (Grid Test): наносять сітку подряпин на покриття і перевіряють, чи відшаровується воно.

4. Мікроструктурний аналіз

- Металографія: вивчення мікроструктури гальванічного покриття за допомогою мікроскопа для визначення рівномірності і наявності дефектів у внутрішній структурі шару.

5. Корозійна стійкість

- Тест у соляній камері: виріб поміщають в камеру з розпиленням соляного розчину для перевірки стійкості покриття до корозії.
- Атмосферні тести: покриття піддають впливу різних агресивних середовищ, таких як кислоти або луги.

6. Електрохімічні властивості

- Поляризаційний тест: вимірюють електрохімічну активність покриття, що дає інформацію про його антикорозійні властивості.

7. Механічні властивості

- Твердість покриття перевіряють за допомогою твердомірів (наприклад, за методом Віккерса або Роквелла).
- Випробування на зносостійкість та міцність допомагають оцінити довговічність покриття під механічними навантаженнями.

8. Хімічний склад покриття

- Хімічний аналіз дозволяє визначити склад металів у покритті, що важливо для контролю технологічного процесу [17].

Контроль якості гальванічного покриття важливий для забезпечення належної роботи виробів у різних умовах експлуатації. Охарактеризуємо детальніше найважливіші методи контролю якості утвореного покриття.

1.7.1 Контроль зовнішнього вигляду

При перевірці зовнішнього вигляду особливо важливо звертати увагу на колір покриття, наявність чорних плям, повітряних бульбашок та інших видимих дефектів. Кожен виріб підлягає ретельному контролю зовнішнього вигляду.

1.7.2 Контроль товщини покриття

Всі вироби проходять контроль товщини покриття, для чого використовуються не руйнівні методи вимірювання. Один із таких методів — індукційний магнітний метод. Цей метод заснований на вимірюванні магнітного потоку, що проходить через сердечник електромагніта, який залежить від товщини покриття. Для перевірки товщини немагнітного покриття на великих сталевих деталях використовують спеціальні прилади, які працюють на основі зміни магнітного потоку в ланцюгу.

До індукційних методів відноситься прилад ТПО, який забезпечує автоматизований контроль товщини покриття на дрібних деталях у масовому виробництві. Прилад ТПО призначений для вимірювання товщини

немагнітних та слабомагнітних (наприклад, нікелевих) покриттів на деталях із феромагнітних матеріалів.

До цього типу приладів відносяться МИЛ-10, НТ-10Н, МТ-ЗОН, МТ-ЗШ, МТ-40НУ та вимірювач товщини по сталі ТС-1 [18]. Ці пристрої оснащені переносними зондами, які дозволяють здійснювати вимірювання товщини покриття на деталях складної форми. Вплив магнітних властивостей та геометрії деталей на результати вимірювань компенсується шляхом калібрування приладу на деталі без покриття.

1.7.3 Контроль поруватості

Найпростіший спосіб оцінки поруватості хромового покриття – це візуальний метод. Він включає огляд хромованої поверхні за допомогою лупи або мікроскопа та порівняння її з еталонними зразками.

1.7.4 Контроль міцності зчеплення

Якщо у цеху є шліфувально-полірувальне обладнання, для перевірки міцності зчеплення з основним металом доцільно використовувати метод полірування.

Цей метод передбачає полірування поверхні покриття не менше ніж 15 секунд. Для цього використовуються крути з бязі та різні пасти, такі як крокусна чи хромові. Швидкість полірування повинна становити 20-30 м/с. Після завершення полірування на поверхні не повинно бути видимих здуттів або відшарувань покриття.

Контроль проводиться вибірково на 10% виробів. Для товстих хромових покриттів контроль корозійної стійкості може бути пропущений.

1.8 Видалення неякісного покриття

Видалення неякісного покриття може здійснюватися як хімічним, так і електрохімічним методами.

Хімічний метод полягає в розчиненні покриття в 5-20% розчині HCl при температурі від 20 до 70°C. При видаленні хрому зі сталі слід додавати в HCl інгібітори, щоб уникнути розтравлювання та воднювання сталі. Швидкість розчинення хрому варіюється від 100 до 200 мкм/год в залежності від концентрації та температури розчину.

Після видалення хрому зі сталевих деталей необхідно провести зневоднювання при температурі 200-250°C протягом 2-2,5 години. Електрохімічний метод є безпечнішим порівняно з хімічним і є найбільш ефективним для зняття товстих хромових покриттів зі сталевих деталей. Для цього використовують розчин, що містить 100-150 г/л NaOH або KOH. Обробка проводиться на аноді, де сталеві пластини виступають як катоди. Температура розчину складає 20-35°C, а анодна густина струму – 5-20 А/дм². Присутність хлоридів в розчині може викликати розтравлювання і потемніння сталі, тому її слід уникати. Зняття хрому може проводитися при анодній густині струму 15-20 А/дм² в відпрацьованому електроліті [16].

Для осадження металу на деталі потрібно підключити її до негативного полюса джерела струму, що робить деталь негативним електродом (катодом). Другий електрод, анод, підключається до позитивного полюса джерела струму.

Гальванічний метод дозволяє наносити покриття на деталі чистими металами або сплавами з мінімальними втратами металів. Цей метод забезпечує контроль товщини покриття, його пористості та зчеплення з поверхнею деталі.

Деталі, що підлягають покриттю, монтуються на підвіски на монтажних столах у зоні завантаження ліній. Всі процеси гальванічного покриття, включаючи приготування електролітів, коректування розчинів та контроль якості електролітів і покриттів, проводяться безпосередньо в цеху.

В цеху, який проектується, планується нанесення наступних видів гальванічних покриттів: цинкування, нікелювання, хромування та

оксидування. Для цих процесів буде використовуватися автоматичне обладнання для цинкування, нікелювання, хромування та оксидування. Склад електроліту для хромування на основі трьохвалентного хрому (Cr^{3+}) може варіюватися залежно від специфічних вимог до покриття, але загальний рецепт для такої ванни включає наступні компоненти [16]:

Основні компоненти електроліту

1. Трьохвалентний хром (Cr^{3+}):

- Сульфат хрому ($\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$) або хлорид хрому (CrCl_3): 200-300 г/л
- Цей компонент забезпечує необхідну концентрацію трьохвалентного хрому в розчині, яка необхідна для утворення хромового покриття.

2. Комплексоутворювачі:

- Мурашина кислота (HCOOH): 10-50 г/л або
- Оцтова кислота (CH_3COOH): 10-30 г/л
- Ці кислоти утворюють стабільні комплекси з іонами трьохвалентного хрому, запобігаючи їх осадженню і підтримуючи рівномірність покриття.

3. Буферний компонент:

- Борна кислота (H_3BO_3): 30-50 г/л
- Використовується для стабілізації рівня рН електроліту, забезпечуючи оптимальні умови для осадження хрому.

4. Провідні солі:

- Сульфат натрію (Na_2SO_4): 50-100 г/л або
- Сульфат амонію ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$): 50-150 г/л
- Ці солі підвищують електропровідність розчину, що дозволяє більш ефективно передавати електричний струм через електроліт.

5. Агент для регулювання рівня рН:

- Гідроксид натрію (NaOH) або гідроксид амонію (NH_4OH): додається для регулювання рН до оптимального рівня 3,5-4,5.

- Ці речовини використовуються для тонкої настройки рівня рН розчину, що має критичне значення для процесу хромування.

6. Змочувальні агенти:

- Мокрозоль (наприклад, поліетиленгліколь або ПАР): 1-5 г/л

- Додаються для покращення розтікання розчину по поверхні деталі та для зниження поверхневого натягу.

Додаткові добавки (опціонально):

1. Органічні добавки для покращення структури покриття

- Наприклад, похідні альдегідів (0,1-1 г/л), які можуть бути додані для покращення мікроструктури покриття, що забезпечує підвищену зносостійкість і блиск.

2. Антикорозійні інгібітори:

- Спеціальні органічні сполуки (0,5-2 г/л), які допомагають знизити корозійну активність розчину і підвищити довговічність покриття.

Оптимальні параметри процесу:

- Температура: 30-60°C.

- Густина струму: 1-5 А/дм² (в залежності від вимог до покриття).

- рН: 3,5-4,5.

Цей електроліт забезпечує утворення рівномірного, блискучого покриття з високими антикорозійними та механічними властивостями. Ключовими факторами для досягнення хороших результатів є точне підтримання концентрації компонентів, рівня рН та температури розчину під час хромування.

Висновки до розділу 1

Хромування в електроліті на основі трьохвалентного хрому є ефективним методом для нанесення хромових покриттів, що забезпечують високі показники корозійної стійкості та зносостійкості. Цей метод відрізняється від традиційного хромування, яке використовує

шестивалентний хром тим, що застосовує трьохвалентні хромові сполуки, що є менш токсичними і екологічнішими.

Процес хромування в електроліті на основі трьохвалентного хрому характеризується такими основними аспектами:

1. **Склад електроліту:** Електроліти на основі трьохвалентного хрому зазвичай містять сіль хрому(III) (CrCl_3 або $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$) у поєднанні з буферними добавками та солями для підвищення електропровідності. Для стабілізації pH і покращення якості покриття використовують різні органічні і неорганічні добавки.
2. **Переваги:** Використання трьохвалентного хрому зменшує екологічний вплив процесу, покращує безпеку праці та знижує токсичність відходів. Хромування трьохвалентним хромом забезпечує добру покривність, високу стійкість до корозії і зносостійкість покриття.
3. **Недоліки:** Процес може мати певні обмеження у порівнянні з традиційним методом, зокрема, можуть бути необхідні додаткові кроки для досягнення бажаного зовнішнього вигляду і властивостей покриття. Товщина покриття може бути менша, а його якість може вимагати точного контролю умов процесу.
4. **Процедура контролю:** Для забезпечення якості покриття важливо здійснювати контроль товщини, поруватості та зчеплення покриття. Методи контролю включають візуальні перевірки, вимірювання товщини за допомогою індукційних приладів, а також перевірки корозійної стійкості.

Загалом, хромування в електроліті на основі трьохвалентного хрому є прогресивним і екологічно безпечним методом, який при правильному контролі процесу дозволяє досягти високоякісних хромових покриттів з поліпшеними властивостями.

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ

2.1 Характеристика деталі, яка підлягає обробці

Матеріалом для деталей, що підлягають обробці, є сталь 45. Габаритні розміри оброблюваних деталей -Ø16 мм. За групою складності вони належать до деталей середньої складності.. Перед гальванічною обробкою деталі піддають шліфуванню для отримання оптимальної шорсткості поверхні.

Для нанесення хромового захисного покриття обрали циліндричний вал, схему якого наведено на рис.1.



Рис.1. Креслення циліндричного валу

Площа поверхні однієї деталі дорівнює $S_{\text{деталі}} = 0,0151 \text{ м}^2$.

2.2 Вибір товщини покриття

Обираючи покриття, слід враховувати призначення деталей і покриття, матеріал, з якого виготовлені деталі, властивості покриття і спосіб його одержання, умови експлуатації деталей з покриттям, допустимість контакту металів, металевих і неметалевих неорганічних покриттів, економічну доцільність.

Товщину покриття повинна бути такою, щоб покриття забезпечило захисну здатність або його функціональні властивості протягом тривалого часу при різних умовах експлуатації.

Різні умови експлуатації деталей із покриттям регламентовані Держстандартом 15150-69 із вказівкою кліматичного виконання [17]. Усі вони поділені на мікрокліматичні райони з різним кліматом: помірним, холодним, тропічним, вологим, морським та іншим кліматом. Визначено 9 груп кліматичного виконання.

Обираючи вид і товщину покриття, необхідно керуватися Держстандартом 9.303-84 "Покриття металеві і неметалеві неорганічні. Загальні вимоги до виробу ". Держстандартом 9.073-77 "Види, ряди товщин і позначення", де встановлені значення мінімальних товщин покриття на робочій поверхні деталей (виробів).

Не допускаються на поверхні деталей :

- розшарування і тріщини, які виявилися після травлення, полірування та шліфування;
- загорнена окалина, неоднорідність прокату, задирки;
- пори раковини, що виводить розміри деталі після контрольного зачищення за граничні відхилення [19].

Виготовлених з гарячекатаного металу поверхня деталей, повинна бути очищена від травильного шламу, продуктів корозії основного металу та інших забруднень.

Враховуючи те, що товщина покриття приймається до 1мкм, тому для нашої деталі буде цілком достатньо покриття з товщиною 0,8 мкм .

2.3 Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання

При проєктуванні визначається час роботи обладнання режимом роботи підприємства, технологічною схемою процесу та особливостями технологічного обладнання.

При переривчастому виробництві номінальний річний фонд часу роботи обладнання T_n приймаємо рівним кількості календарних днів у році

T_k за вирахуванням вихідних T_v та святкових T_c днів. Для п'ятиденного робочого тижня, 41 - годинному робочому тижні та двозмінній роботі

$$T_n = \{[365 - (104 + 1)] \cdot 1/5\} \cdot 2 = 4116 \text{ год.}$$

Фактичний річний фонд часу роботи обладнання T_d визначають виходячи із T_n з урахуванням загальних річних втрат часу на певні простої обладнання, які в гальванічному виробництві можуть складати 2 - 10 % ($K_{пр} = 0,02 - 0,1$), тобто

$$T_d = T_n - K_{пр} \cdot T_n$$

Приймаємо $K_{пр} \sim 0,05$

$$T_d = 4116 - 0,05 \cdot 4116 = 3910 \text{ год.}$$

2.4 Визначення виробничої програми обладнання

Щоб визначити річну виробничу програму R_d річне виробниче завдання R_z треба збільшити на величину виправного браку виробів, який за звичай дорівнює 0,5 - 3 % (беремо $K_{бр} = 0,01$) від R_z в одиницях, які прийняті для дачного виду продукції (m^2)

$$R_p = R_z + K_{бр} \cdot R_z$$

$$R_p = 5500 + 0,01 \cdot 5500 = 5555 \text{ м}^2/\text{рік}$$

Добова виробнича програма складає $R_{доб} = R_z / T_{доб}$ де ,

$T_{доб}$ - кількість робочих, днів у календарному році

$$R_{доб} = 5555 / 249 = 22,3 \text{ м}^2/\text{доб.}$$

Годинна виробнича програма складає $R_{год}$ визначається як $R_{год} = R_z / T_d$

$$R_{год} = 5555 / 3910 = 1,42 \text{ м}^2/\text{год.}$$

2.5 Вибір виду обладнання для нанесення гальванічного покриття, розрахунок його кількості та габаритних розмірів

Щоб обрати вид обладнання, потрібно виходити з розмірів оброблювальних деталей та особливостей технологічного процесу. Обробку

деталей зазвичай здійснюють у гальванічних ваннах, які обладнанні підвісними пристроями [19].

Щоб розрахувати кількість обладнання потрібні такі вихідні дані:

- річна виробнича програма, $m^2 / \text{рік}$ ($кг/рік$, $шт/рік$),
- час обробки однієї завантажувальної одиниці (підвіски з деталями) τ , хв
- товщину покриття деталей δ , мкм
- габаритні розміри деталей на площу їхньої поверхні, m^2

Час обробки однієї завантажувальної одиниці T складається із двох величин.

$$\tau = \tau_T + \tau_{об} \text{ де,}$$

τ_T - технологічний час,

$\tau_{об}$ - час обслуговування, необхідних для завантажування деталей у ванну та їх вивантажування.

Величину τ_T хв визначають за формулою

$$\tau_T = 6 \cdot d \cdot 10^{-2} \cdot 60 / V_c \cdot K_e \cdot I_k, \text{ де :}$$

δ - товщина покриття, мкм

d - густина металу покриття , $г/см^3$

V_c - катодний вихід за струмом, долі одиниці

K_e - електрохімічний елемент, $K_e = 0,323 \text{ г/А} \cdot \text{дм}^2$

I_k - середня катодна густина струму, $А/дм^2$

$$\tau_T = 0,8 \cdot 7,2 \cdot 10^2 \cdot 60 / (0,323 \cdot 30 \cdot 5) = 2,9 \text{ хв.}$$

Величину $\tau_{об}$ для розрахунків приймають 2,1 хв. Знаходимо час обробки однієї завантажувальної одиниці τ :

$$\tau = \tau_T + \tau_{об} = 2,9 + 2,1 = 5 \text{ хв}$$

Кількість витраченого часу на початковий запуск обладнання, кінцевого вивантаження ванн і на різні допоміжні операції враховуємо за допомогою коефіцієнта $K_{обл}$, для роботи у 3 зміни - 1,03 -1,05.

Маючи річну виробничу програму P_p визначаємо сумарний час обробки усіх завантажень, год

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

$$\tau_c = 5555 \cdot 5 \cdot 1,04 / 60 = 481,4 \text{ год.}$$

Розраховуємо одночасне завантаження у ванні, м²

$$Y_c = \tau_c / T_d$$

$$Y_c = 481,4 / 3910 = 0,12 \text{ м}^2.$$

2.6 Перерахунок діючого обладнання

Мета розрахунку є встановлення можливості виконання річного виробничого завдання на уже існуючому обладнанні, визначення величини одночасного завантаження деталей у ванну та необхідної кількості ванн, які встановленні в цеху.

Маючи габаритні розміри ванни, яку ми вибрали з додатка 2, що наданий в методичних вказівках для дипломного проектування, вибираємо ванну з такими розміром $L=0,8\text{м}$, $B=0,8\text{м}$, $H=0,9\text{м}$, визначаємо довжину L , та висоту H підвісного пристрою, м.

$$L_{\text{п}} = L - 2L_1, \text{ де}$$

L - внутрішня довжина ванни, м

L_1 - відстань від краю підвіски до стінки вани (приймають у межах 0,1- 0,15м).

$$L_{\text{п}} = 1,1 - 2 \cdot 0,15 = 0,8 \text{ м.}$$

$$H_{\text{п}} = H - H_1 - H_2 - H_3,$$

де H внутрішня висота ванни, м;

H_1 - відстань від дна ванни до нижнього краю підвіски 0,15 м;

H_2 - відстань від верхнього краю підвіски до дзеркального електроліту 0,05 м

H_3 - відстань від дзеркального електроліту до верхнього краю ванни 0,10 м

$$H_{\text{п}} = 1,2 - 0,15 - 0,050 - 0,1 = 0,9 \text{ м.}$$

Покриття наносять на деталь $\varnothing=1,6$ см. На підвіску з таким розміром

$L=0,8$ м можемо розмістити 27 деталей.

Розраховуємо сумарну поверхню деталей які завантажуються на одній підвісці м²

$$S_{\Pi} = S_d \cdot \Pi_d, \text{ де}$$

S_d - поверхня однієї деталі м^2 ;

Π_d - кількість деталей на підвісці.

$$S_{\Pi} = 0,0151 \cdot 26 = 0,39 \text{ м}^2.$$

Визначаємо поверхню одноразового завантаження у ванну, м^2

$$S_{\text{оз}} = S_{\Pi} \cdot \Pi_{\Pi} = 0,39 \cdot 2 = 0,78 \text{ м}^2,$$

де Π_{Π} - кількість підвісок, які одночасно завантажуються у ванну.

Далі розраховуємо відстань між анодами та ближнім краєм підвіски і перевіряємо чи відповідає вона унормованому значенню, яке складає 0,1 - 0,25 м, що необхідно для забезпечення максимальної рівномірності покриття.

Для двопозиційної, ванни

$$L_{(a-k)} = B - B_{\Pi} - 2 \cdot B_a - 2 \cdot B_1 / 2, \text{ де}$$

B - внутрішня ширина ванни, м; B_{Π} - товщина підвіски з деталями, м

B_a - товщина анодів, м; B_1 - відстань між анодом та боковими стінками ванни, приймають 0,07.

$$L_{(a-k)} = (1 - 0,05 - 2 \cdot 0,05 - 2 \cdot 0,07) / 2 = 0,355 \text{ м}.$$

Визначена величина $L_{(a-k)}$ відповідає унормованому значенню.

Використовуючи визначену величину одноразового завантаження ванни $S_{\text{оз}}$, розраховуємо кількість ванн, необхідну для виконання річної виробничої програми.

$$\Pi_B = Y_c / S_{\text{оз}}$$

$$\Pi_B = 1,2 / 0,78 = 1,54 \text{ або } \approx 2$$

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

$$P_{p1} = S_{\text{оз}} \cdot \Pi_B \cdot T_d \cdot 60 / \tau K_{\text{обл}}$$

$$P_p = 0,78 \cdot 2 \cdot 3910 \cdot 60 / 5 \cdot 1,04 = 76123 \text{ м}^2$$

Так, коефіцієнт завантаження обладнання:

$$K_{\text{зав}} = P_p / P_{p1}$$

$$K_{\text{зав}} = 55550 / 76123 = 0,73.$$

2.7 Вибір і обґрунтування технологічного процесу

Обираємо технологічну схему, враховуючи тип і розміри оброблюваних деталей, обсяги виробничої програми та специфіку нанесення хромового покриття.

Технологічна схема ванн



1. Ванна реверсного електрохімічного знежирювання.

Використовуємо сталеві аноди з шаром нікелю.

Ця ванна має вентиляцію, нагрів, футеровку корпусу, теплоізоляцію, перемішування.

2. Ванна каскадного промивання.

3. Ванна травлення. У ванні, яка має пластикатову пластову футерівку, бортову вентиляцію, барботер, проводимо процес травлення;

4. Ванна холодного промивання;

5. Ванна нікелювання;

6. Ванна каскадного промивання;

7. Ванна хромування;

8. Ванна вловлювання;

9. Ванна холодної промивки;

10. Ванна гарячої промивки;

11. Сушка [19]

Склад електроліту та режими роботи гальванічних ванн наведенні у табл. 1

Таблиця 1

Склад електролітів та режими роботи гальванічних ванн

Операція	Склад розчину і концентрація		Режим		
	Найменування компонентів, хімічна формула	г/дм ³	Час обробки, хв	Температура, °C	Густина струму, А/дм ²
1	2	3	4	5	6
Монтаж деталей на підвіску			3		
Електрохімічне знежирення	NaOH; Кальц.	30	Кат.	65-85	3-5
	Сода; Na ₂ CO ₃ ,	20	5-7		
	NaPO ₄ ·12H ₂ O	25	Анод.		
	Синтанол ДС-10	4	0,5-2		
Каскадна промивка у гарячій воді			2-4	60-70	
Каскадна промивка у холодній воді			2-4	Кімн.	
Травлення	HCl	80	10	Кімн.	
Промивка у холодній воді			2-4	Кімн.	
Нікелювання блискуче	NiSO ₄ ·7H ₂ O	270	15.5	45-55	3.5
	NiCl ₂ ·6H ₂ O	50			
	H ₃ BO ₃	35			
	Формалін 40%	1			
	Бутиндіол	0,19			
Каскадна промивка у холодній воді			2-4	Кімн.	
Каскадна промивка у гарячій воді			2-4	60-70	

1	2	3	4	5	6
Хромування	Хлорид хрому (CrCl ₃) Мурашина кислота (HCOOH) Борна кислота (H ₃ BO ₃) Сульфат амонію (NH ₄) ₂ SO ₄)	250 25 35 50- 150	10	45	
Вловлювання	Не проточна вода		1-2	Кімн.	
промивка у холодній воді			1-2	Кімн.	
промивка у гарячій воді			1-2	70-80	
Сушка			1-2	80-90	
Демонтаж деталей з підвіски			3		

2.8 Визначення сили струму на гальванічній ванні

На гальванічній ванні хромування та на ванні електрохімічного знежирювання розраховуємо силу струму.

Розрахунок сили струму на ванні потрібен для наступного вибору джерела живлення постійним струмом [19].

Сила струму двопозиційної ванни визначається як здобуток величини технологічної густини струму на катоді i_k , А/м² на площу деталей одноразового завантаження S_{oz} , м²

$$I = K_1 \cdot i_k \cdot S_{oz} = 1,05 \cdot 5 \cdot 0,78 = 4,095 \text{ A,}$$

де $i_k = 5 \text{ A/дм}^2$ - катодна густина струму;

$S_{oz} = 0,78 \text{ м}^2$ - площа деталей у ванні;

$K = 1,03 - 1,15$ (прийmemo $K = 1,05$).

2.9 Визначення напруги на гальванічній ванні

Напруга на ванні (U_v) визначається по формулі, В:

$$U_v = E_a - E_k + \Delta U_{\text{ел,та}} + \Delta U_1 + \Delta U_k$$

де : $E_a - E_k$ - різниця потенціалів під струмом анода й катода;

$\Delta U_{\text{ел-та}}$ - омичне спадання напруги в електроліті;

$\Delta U_1 + \Delta U_k$ - спадання напруги в провідниках першого роду (електродах, штангах) і в контактах.

$$I_a = 17 \text{ А/дм}^2; I_k = 5 \text{ А/дм}^2; E_a = +1,8 \text{ В}; E_k = -0,8 \text{ В}; \kappa = 0,6 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см};$$

$$L_{a-k} = 0,105 \text{ м}, S_a : S_k = 3 : 1.$$

Прийmemo, що значення $\Delta U_1 + \Delta U_k$ буде дорівнює 10% від U_i .

Середня густина струму:

$$I_{\text{ср}} = \sqrt{I_a \cdot I_k} = 9,21 \text{ А/дм}^2. = 921 \text{ А/м}^2$$

Падіння напруги в електроліті:

$$\Delta U_{\text{ел-та}} = (I_{\text{ср}} \cdot L_{a-k}) / \kappa \cdot 100 = (0,8 \cdot 921 \cdot 0,355) / 0,6 \cdot 100 = 4,3 \text{ В}$$

Напруга на ванні:

$$U_i = (E_a - E_k + \Delta U_{\text{ел}}) / 0,9 = [1,8 - (-0,8) + 4,3] / 0,9 = 6,5 \text{ В}$$

Напруга джерела струму:

$$U_{\text{дж}} = U / 0,9 = 6,5 / 0,9 = 7,2$$

Джерело струму обираємо на основі підрахунків сили струму й напруги: $I = 4300 \text{ А}, U = 6,5 \text{ В}.$

Вибираємо випрямний агрегат серії ВАКР - 3200-12У4.

2.10 Визначення джоулевої теплоти, яка виділяється в процесі

електролізу в гальванічній ванні хромування

Електрична енергія $W_{\text{заг}}$, яка підводиться до електролізера, перетворюється в хімічну енергію $W_{\text{хім}}$ та в теплову енергію (джоулеву теплоту) $W_{\text{дж}}$:

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

$$W_{\text{дж}} = 6,5 \cdot I \cdot t (U_i + \sum (10^{-2} \Delta H_i \text{Вс}) \cdot z_i F 10^{-3});$$

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

Сумарні електрохімічні процеси, які перебігають у ванні хромування:

1. $\text{Cr}^{+3} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Cr}$ (70-90%)
2. $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ (10-30%);
3. $\text{Cr}^{+3} + \text{OH}^- \rightarrow \text{Cr}(\text{OH})^{2-}$ (5-15%)

Зміна ентальпії для наведених реакцій:

1. $\Delta H_i = \Delta H_{\text{CrO}_3} + \Delta H' - \Delta H_{\text{Cr}} - 1,5\Delta H_{\text{O}_2} = -569,0 - 10,3 - 0 - 0 = -579,3 \text{ кДж/моль,}$
де $\Delta H'$ - зміна ентальпії при розчиненні CrO_3 .
2. $\Delta H_{\text{O}_2} = 0$, так як реакція не призводить до зміни складу системи.
3. $\Delta H_3 = \Delta H_{\text{H}_2\text{O}} - \Delta H_{\text{H}_2} - 0,5\Delta H_{\text{O}_2} = -286,0 - 0 - 0 = -286,0 \text{ кДж/моль.}$

$$W_{\text{дж}} = 6,5 \cdot 921 \cdot 6,5 / 60 \cdot (6,5 - 579,3 \cdot 0,13 / 6 \cdot 96,5 + 0 - 286 \cdot 0,77 / 2 \cdot 96,5) = 1145,5 \text{ кДж/моль.}$$

$$W_{\text{заг}} = 6,5 \cdot 921 \cdot 34,8 / 60 \cdot 3600 \cdot 10^{-3} = 1249 \text{ кДж/моль.}$$

$$W_{\text{ХІМ}} = W_{\text{заг}} - W_{\text{дж}} = 1249 - 1145,5 = 103,5 \text{ кДж/моль.}$$

2.11 Розрахунок витрат електроенергії на виконання річної виробничої програми

Сумарні витрати електроенергії на виконання річної виробничої програми розраховуються як:

$$W = W_e + W_{\text{заг}} + W_{\text{дп}}, \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

де W_e - витрати електроенергії на електроліз, кВт·год,

$W_{\text{заг}}$ - витрати електроенергії для підтримування теплового режиму ванни (розраховують тільки для ванн, обладнаних тенами), кВт·год,

$W_{\text{дв}}$ - витрати електроенергії для живлення електродвигунів (здійснюють тільки для ванн, обладнаних барабанними електролізерами), кВт·год.

Отже для процесу хромування:

$$W = W_e, \quad W_e = (I \cdot U_i \cdot \tau \cdot N_{\text{O}_3}) / (1000 \cdot 0,82) \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

$$N_{\text{O}_3} = P_p / S_{\text{O}_3} = 10100 / 0,78 = 12948 \text{ кількість завантажень за рік (підвісок),}$$

$$W_e = (9216,5 \cdot 0,63 \cdot 12948) / (1000 \cdot 0,82) = 61041 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

2.12 Розрахунок витрат матеріалів

2.12.1 Розрахунок витрат анодів на початковий запуск обладнання

Витрати анодів на запуск обладнання кг визначаються за формулою:

$$g_{аз} = K_1 \cdot K_2 \cdot n_{аш} \cdot l_v \cdot h_v \cdot \delta_a \cdot d_m \cdot n_v$$

K_1 — коеф. що враховує співвідношення сумарної ширини анодів до довжини ванни ($K_1 = 0,6$);

K_2 - коеф. що враховує співвідношення довжини анодів та висоти ванни ($K_2 = 0,8$);

$n_{аш}$ - кількість анодних штанг у ванні;

l_v - внутрішня довжина ванни, м;

h_v - внутрішня висота ванни, м;

δ_a - товщина анодів, м;

d_m - густина матеріалу анода, кг/м³

n_v - кількість ванн даного тину.

$$g_{аз} = 0,6 \cdot 0,8 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,05 \cdot 11340 \cdot 1 = 391 \text{ кг}$$

- Витрати нерозчинних анодів на виконання річної виробничої програми.

Витрати нерозчинних анодів $g_{ар}$, кг визначаються за формулою:

$$g_{ар} = S \cdot A_p \cdot \delta_n,$$

A - сумарна площа поверхні нанесеного покриття при виконанні річної програми, м²,

A_p - норма витрат нерозчинних анодів для нанесення покриття товщиною

$I_{мкм}$, кг·м⁻²; δ_n - товщина покриття, мкм.

$$g_{ар} = 5500 \cdot 1,51 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8 = 6,64 \text{ кг.}$$

2.12.2 Розрахунок витрат хімічних реактивів

Витрати реактивів на хімічні й електрохімічні процеси містить у собі кількість матеріалів, необхідних для виконання річної програми з урахуванням технологічних втрат на винесення електроліту з деталями,

винесення в атмосферу при вентиляції, на коректування й зміну розчину (електроліту), і матеріали на пуск нового обладнання.

Витрата хімічних реактивів g_i на пуск нового обладнання визначається по формулі, (кг);

$$g_i = C_i \cdot V_v \cdot K_{\text{зап}} \cdot n_v,$$

де C_i - концентрація відповідного компонента електроліту, кг/м³,

V_v - об'єм ванни, м³;

$K_{\text{зап}}$ - коефіцієнт заповнення ванни, $K_{\text{зап}} = 0,79$;

n_v - кількість ванн даного типу.

Для процесу нанесення хромового покриття(1 ванна):

$$g(\text{CrCl}_3) = 250 \cdot 0,79 \cdot 0,59 \cdot 1 = 116 \text{ кг},$$

$$g(\text{HCOOH}) = 2,5 \cdot 0,79 \cdot 0,59 \cdot 1 = 1,16 \text{ кг},$$

- Витрата кожного реактиву на виконання річної програми, кг:

$$G_i = C_i \cdot V_{\text{вт}}$$

де $V_{\text{вт}}$ - загальний обсяг втрати розчину електроліту, м³.

Величину $V_{\text{вт}}$ розраховуємо так:

$$V_{\text{вт}} = 1,15 \cdot S \cdot A_e = 1,15 \cdot 5500 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} = 1,26 \text{ м}^3,$$

де S - річна продуктивність, м²;

коефіцієнт 1,15- враховує площу зануреної частини підвіски, м²;

A_e - норма витрати електроліту, м³/м².

Для процесу нанесення хромового покриття:

$$G(\text{CrCl}_3) = 250 \cdot 5,1 = 1275 \text{ кг},$$

$$G(\text{HCOOH}) = 2,5 \cdot 5,1 = 12,75 \text{ кг}.$$

2.12.3 Розрахунок витрат води

Витрачається вода на приготування електроліту, при електролізі внаслідок її розкладання, при винесенні газами, у результаті випаровування з поверхні електроліту. На промивні операції використовується води найбільше.

Витрата води на приготування електроліту, кг:

$$m_{\text{вод}} = C_{\text{вод}} \cdot V_{\text{заг}}$$

де C - вміст води в 1 м розчину кг/м^3 .

$$C_{\text{вод}} = d_{\text{ел}} - (C_1 + C_2) = 1250 - (300 + 5) = 945 \text{ кг/м}^3,$$

де, $d_{\text{ел}}$ - густина електроліту (1250 кг/м^3);

$V_{\text{заг}}$ - річна витрата електроліту (5 м^3);

C_1 - вміст $\text{Cr}(\text{OH})_3$;

C_2 - вміст H_2SO_4 ;

$$V_{\text{заг}} = V_{\text{в}} \cdot K_{\text{зап}} \cdot n_{\text{в}} + V_{\text{вт}} = 0,8 \cdot 0,9 \cdot 1 + 5,6 = 6,5 \text{ м}^3,$$

де $V_{\text{в}}$ - об'єм ванни, $0,9 \text{ м}^3$;

$K_{\text{зап}}$ - коефіцієнт заповнення ванни ($K_{\text{зап}} = 0,8$);

$n_{\text{в}}$ - кількість ванн, 1 ;

$V_{\text{вт}}$ - об'єм електроліту, винесеного деталями.

$$m_{\text{вод}} = C_{\text{вод}} \cdot V_{\text{заг}} = 945 \cdot 6,5 = 6142,5 \text{ кг}.$$

Витрата води на промивні операції:

$$V_{\text{час}} = A_{\text{е}} \cdot K \cdot P_{\text{г}} = 0,25 \cdot 30 \cdot 5 = 37,5 \text{ дм}^3/\text{год},$$

де $A_{\text{е}}$ - норма винесення електроліту з поверхнею деталей, $0,25 \text{ м}^3/\text{м}^2$;

K - критерій залишкового промивання деталей, 30000;

$P_{\text{г}}$ - годинна виробнича програма ванни, $5 \text{ м}^2/\text{год}$

$$K = C_0 / C_{\text{к}} = 300 / 0,01 = 30000,$$

де C_0 - концентрація основного компонента у ванні, після якої проводиться промивання, г/дм^3 ;

$C_{\text{к}}$ - гранично допустима концентрація основного компонента у воді після промивання, г/дм^3 ($\text{ГДК} = 0,01 \text{ г/л}$);

Сумарні витрати води на промивання при виконанні виробничої програми:

$$V_{\text{сум}} = V_{\text{год}} \cdot T_{\text{д}} \cdot 1,5 = 37,5 \cdot 10^{-3} \cdot 3910 \cdot 1,5 = 219,9 \text{ м}^3,$$

де, коефіцієнт 1,5 урахує можливе падіння тиску води у водопровідній системі [19].

2.12.4 Розрахунок витрат електроенергії на виконання річної виробничої програми

Сумарні витрати електричної енергії на виконання річної виробничої програми розраховуємо як:

$$W = W_e + W_a + W_c + W_b + W_{\text{заг}}$$

де W_e - витрати електроенергії на електроліз, кВт·год;

W_a - витрати електроенергії автооператорами;

W_c - витрати електроенергії сушильної камерою, кВт·год;

W_b - витрати електроенергії двигуном загальної вентиляції, кВт·год.

Витрати електроенергії на електроліз розраховуємо як:

$$W_e = (I \cdot U_i \cdot \tau \cdot N_{\text{оз}}) / (1000 \cdot 0,82), \text{ кВт} \cdot \text{год, де:}$$

I - струм на ванні, А;

U_i - напруга на ванні, В;

τ - час обробки однієї завантажувальної одиниці, год;

$N_{\text{оз}}$ - кількість завантажень (підвісок) за рік, визначається як $P_p / S_{\text{оз}}$;

0,82- ККД джерела струму.

$$W_e = (1600 \cdot 3 \cdot 4 / 60 \cdot 10500) / (1000 \cdot 0,82) = 4615,85 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

Витрати електроенергії автооператорами W_a обчислюємо як:

$$W_a = N_{\text{оз}} \cdot (T_1 \cdot N_{\Gamma} + T_2 \cdot N_{\text{в}}) / \text{ККД}$$

де T_1 та T_2 - час горизонтального і вертикального переміщення автооператора за один цикл, год. (розрахували при обчисленні кількості автооператорів);

N_1 та $N_{\text{в}}$ - потужність двигунів горизонтального і вертикального переміщення автооператора, кВт.

$$W_a = 10500(0,014 \cdot 3 + 0,22 \cdot 4) = 3675 \text{ кВт} \cdot \text{год},.$$

Витрати електроенергії сушильною камерою визначаємо за формулою:

$$W_c = N_{\text{оз}} \cdot (N_{\text{нс}} + N_{\text{вс}}) \cdot T_c / \text{ККД}$$

де $N_{\text{нс}}$ - потужність електронагрівача сушильної камери, кВт;

$N_{\text{вс}}$ - потужність вентилятора сушильної камери, кВт;

T_c - тривалість сушки підвісок в сушильній камері, год (приймаємо із технологічної карти процесу).

$$W_c = 10500 \cdot (3,5+3) \cdot 0,035 / 0,85 = 1521,47 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Витрати електроенергії двигуном загальної вентиляції W_B розраховуємо за формулою:

$$W_B = N_{зв} \cdot T_d / \text{ККД}$$

де $N_{зв}$ - потужність електродвигуна загальної вентиляції, кВт;

T_d - дійсний річний час роботи обладнання.

$$W_B = 12 \cdot 3910 / 0,85 = 55200 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

$$W = W_c + W_a + W_s + W_B +$$

$$W_{заг} = 4615,85 + 3675,0 + 1521,47 + 54545,45 = 64357,77 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Висновки до розділу 2

У даному розділі проведено розрахунки основних технологічних параметрів для нанесення твердого хромового покриття заданою річною програмою.

Розраховано баланс струму та напруги на гальванічній ванні, визначено енергетичний баланс, а також витрати електроенергії.

Описано методи контролю якості утвореного покриття та міцності його зчеплення з основним металом.

Наведено перелік приладів, необхідних для автоматичного регулювання параметрів процесу нанесення твердого хромового покриття.

РОЗДІЛ 3. ЗАХОДИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

3.1. Вимоги до техніки безпеки при зберіганні, складуванні, транспортування матеріалів, заготовок, готових виробів і відходів виробництва

При зберіганні, складуванні й транспортуванні заготовок, матеріалів і готових виробів необхідно використовувати тару відповідно до вимог ДСТУ 14861-91 «Тара виробнича. Типи», ДСТУ 19822-88 «Тара виробнича. Технічні умови» та ДСТУ 12.3.010-82 «ССБП. Таравиробнича. Вимоги безпеки при експлуатації».

Усі хімічні речовини потрібно зберігати в закритій тарі з бирками та етикетками відповідно до вимог ДСТУ 3885-73 «Реактиви та особливо чисті речовини. Правила приймання, вітбір проб, фасовка, пакування, маркування, транспортування та зберігання», ураховуючи здатності до хімічної взаємодії цих речовин та Правил охорони праці для виробництв основної хімічної промисловості, які затверджені наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 26 серпня 2010 року № 162, що зареєстровані в Міністерстві юстиції України 24 вересня 2010 року за № 850/18145.

Тара, у якій зберігаються хімічні речовини, повинна мати відповідні написи, сигнальний колір та знаки безпеки, які відповідають вимогам ДСТУ ISO 6309:2007 «Протипожежний захист. Знаки безпеки. Форма та колір» (далі - ДСТУ ISO 6309:2007) та Технічний регламент знаків безпеки та захисту здоров'я працівників, що затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 25 листопада 2009 року № 1262 (далі - Технічний регламент знаків безпеки і захисту здоров'я працівників).

Місця для зберігання хімічних речовин повинні бути обладнані полицями та шафами, забезпечені інвентарем, приладдям для наповнення тари, засобами для нейтралізації та засобами для індивідуального захисту відповідно до вимог ДСТУ 7238:2011 «Система стандартів безпеки праці. Засоби колективного захисту працюючих. Загальні вимоги та класифікація» (у частині про перелік основних видів засобів захисту працюючих (засоби для колективного захисту)) та ДСТУ 7239:2011 «Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація» (у частині про перелік основних видів засобів для захисту працюючих (засоби для колективного захисту)). Полиці, оснащення, усі інструменти повинні бути виготовлені з неіскристих, важкозаймистих матеріалів [20].

Шкідливі, пожежонебезпечні речовини необхідно зберігати на складі у необхідній для цього тарі або у тарі підприємства-виробника. Для зберігання повинні бути відведені для них спеціальні місця, враховуючи фізико-хімічні властивості та клас небезпеки речовин із забезпеченням вільного доступу до кожного з них. Проходи, проїзди, вхід у складське приміщення повинні мати вільний доступ.

Склади виробничих приміщень необхідно оснащувати збірно-розбірними стелажми відповідно до вимог ГОСТ 14757-81 «Стелажі збірно-розбірні. Типи, основні параметри та розміри».

Відкривати тару з ціанистою сіллю потрібно у приміщенні, що обладнане ваннами з бортовими відсмоктувачами та витяжними шафами. Використовувати інструменти, прилади та тару для розфасовування й розчинення хімічних речовин.

У приміщенні, де зберігаються ціаністі сполуки, повинні бути встановлені скляні або керамічні посудини з 10% розчином залізного купоросу та водопровідний кран для нейтралізації сполук у випадку їх потрапляння на підлогу.

Заборонено зберігати хімічні речовини, що використовуються під час нанесення металопокриттів, у приміщенні для зберігання ціаністих солей та сполук.

Не дозволяється зберігання ціаністих сполук у сухому вигляді на складі. Водний розчин ціаністих сполук, який використовується для коректування робочих ванн, необхідно зберігати у витяжній шафі в герметично закритих опломбованих ємностях. На ємності та дверцятах шафи повинні бути нанесені наліпки зі знаками безпеки відповідно до вимог ДСТУ ISO 6309:2007 та Технічного регламенту знаків безпеки і захисту здоров'я працівників.

Дозволяється зберігання ціаністих солей у сухому вигляді на складі у випадку необхідності багатократного коректування ванн під час виконання технологічних процесів нанесення металопокриттів. Зберігати ціаністі солі потрібно у витяжних шафах у спеціально обладнаному приміщенні [21].

Зберігати та реалізовувати (відпускати) прекурсори потрібно здійснювати відповідно до вимог Порядку провадження діяльності, пов'язаної з обігом наркотичних засобів, психотропних речовин і прекурсорів, та контролю за їх обігом, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 03 червня 2009 року № 589.

Транспортування хімічних речовин та їх відходів необхідно виконувати у відповідній, чистій, закритій тарі на спеціальних ношах або візках відповідно до вимог ДСТУ 12.3.020-80 «ССБП. Процеси транспортування вантажів на підприємствах. Загальні вимоги безпеки», ДСТУ 4500-5:2005 «Вантажі небезпечні. Маркування», ДСТУ 4500-4:2006 «Вантажі небезпечні. Методи випробувань» та ДСТУ 4500-3:2008 «Вантажі небезпечні. Класифікація».

Усередині виробничих приміщень для транспортування вантажів необхідно використовувати:

1. Підвісні конвеєри, монорейкові дороги з автоматичним адресуванням вантажів;
2. Системи автоматичного навантаження гальванічних ліній;
3. Роботи та маніпулятори для завантаження та вивантаження конвеєрних ліній;
4. Вертикально-колискові конвеєри для міжповерхового транспортування між дільницями;
5. Засоби малої механізації відповідно до вимог ДСТУ 13188-67 «Візки вантажні. Типи, основні параметри та розміри».

Виконуючи роботи з використанням вантажопідійомних кранів, вантажопідійомних машин, вантажозахоплювальних пристроїв, тари, необхідно виконувати відповідно до вимог Правил будови та безпечної експлуатації вантажопідійомних кранів, затверджених наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 18 червня 2007 року № 132, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 09 липня 2007 року за № 784/14051 (НПАОП 0.00-1.01-07), та ДСТУ 12.2.022-80 «ССБП. Конвеєри. Загальні вимоги безпеки».

При виконанні робіт з використанням вантажопідійомних кранів необхідно виконувати відповідно до наступних вимог:

Типової інструкції з безпечного ведення робіт для кранівників (машиністів) стрілових самохідних (автомобільних, гусеничних, залізничних, пневмоколісних) кранів, затвердженої наказом Державного комітету України по нагляду за охороною праці від 25 вересня 1995 року № 135, зареєстрованої у Міністерстві юстиції України 10 жовтня 1995 року за № 371/907 (НПАОП 0.00-5.03-95);

Типової інструкції з безпечного ведення робіт для стропальників (зачіплювачів), що обслуговують вантажопідійомні крани, які затверджені

наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 25 вересня 1995 року № 135, які зареєстровані у Міністерстві юстиції України 10 жовтня 1995 року за № 372/908 (НПАОП 0.00-5.04-95);

Типової інструкції для осіб, які відповідальні за безпечне проведення робіт із переміщення вантажів кранами, які затверджені наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 20 жовтня 1994 року № 107, що зареєстрована у Міністерстві юстиції України 13 березня 1995 року за № 60/596 (НПАОП 0.00-5.06-94);

Типової інструкції для осіб, відповідальних за утримання вантажопідйомних кранів у справному стані, які затверджені наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 20 жовтня 1994 року № 107, що зареєстровано в Міністерстві юстиції України 13 березня 1995 року за № 59/595 (НПАОП 0.00-5.07-94);

Типової інструкції для інженерно-технічних працівників, що здійснюють нагляд за утриманням та безпечною експлуатацією вантажопідйомних кранів, затвердженої наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 20 жовтня 1994 року № 107, що зареєстровано у Міністерстві юстиції України 13 березня 1995 року за № 58/594 (НПАОП 0.00-5.20-94).

Вантажопідйомні крани та вантажопідйомні машини повинні проходити технічний огляд відповідно до вимог Порядку проведення огляду, випробування, експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів та устаткування підвищеної небезпеки, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 26 травня 2004 року № 687.

Транспортне підвісне устаткування – це монорейки, кран-балки, конвеєри, повинно розташовуватися за межею робочих місць. Якщо

неможливо виконати таке розташування, то підвісне транспортне устаткування знизу повинно бути обладнано суцільним огороженням.

Заборонено проходити під піднятим вантажем, переміщати вантажі над працівниками.

Необхідно централізовано здійснювати транспортування хімічних речовин та розчинів для нанесення металопокриттів, легкозаймистих та горючих рідин трубопроводами з матеріалів, які хімічно стійкі до речовин, що транспортуються [20, 21].

При необхідності транспортування ціаністих солей зі складу у виробничі приміщення, потрібно здійснювати в нерозкритих барабанах або в законсервованих банках.

Здійснювати вантажно-розвантажувальні роботи необхідно відповідно до вимог ГОСТ 12.3.009-76 «ССБП. Работи вантажно – розвантажувальні. Загальні вимоги до безпеки».

При нанесенні металопокриттів не дозволяється застосовувати матеріали, якщо вони не пройшли санітарно-гігієнічну експертизу відповідно до вимог Порядку проведення державної санітарно-епідеміологічної експертизи, які затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 09 жовтня 2000 року № 247, що зареєстровано в Міністерстві юстиції України 10 січня 2001 року за № 4/5195 (у редакції наказу Міністерства охорони здоров'я України від 14 березня 2006 року № 120).

При укладанні на робочих місцях і транспортуванні дрібних однотипних виробів, деталей, заготовок і відходів виробництва, необхідно застосовувати відповідну тару.

Заборонено захащувати виробничі приміщення, проходи і робочі місця готовою продукцією, матеріалами, деталями та відходами виробництва.

Працюючи з легкозаймистими, паливними рідинами та шкідливими речовинами, працівники повинні бути забезпечені відповідними захисними пастами, мазями відповідно до вимог ДСТУ12.4.068-79 «ССБП. Засоби індивідуального захисту дерматологічні. Класифікація та загальні вимог.», а також дезінфекційними, змивними, пом'якшувальними шкіру засобами та засобами нейтралізації.

3.2. Вимоги безпеки з устаткування, робочих місць та огорожень

Здійснювати експлуатацію виробничого устаткування необхідно відповідно до вимог Технічного регламенту безпеки машин, який затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 30 січня 2013 року № 62, та ДСТУ12.2.003-91 «ССБП. Обладнання виробниче. Загальні вимоги безпеки».

Засоби керування механізмами та устаткуванням повинні відповідати вимогам ДСТУ 12.2.064-81 «ССБП. Органи керування виробничим устаткуванням» та ДСТУ12.4.040-78 «ССБП. Органи керування виробничим обладнанням. Означення».

При переміщенні засобів керування устаткуванням, напрямок повинен відповідати вимогам ДСТУ 9146-79 «Верстати. Органи керування. Напрямок дії».

Експлуатацію тих контрольно-вимірювальних приладів, у складі яких наявні джерела іонізуючого випромінювання, здійснювати необхідно з урахуванням вимог Норм радіаційної безпеки України (НРБУ-97), які затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 14 липня 1997 року № 208 та введені у дію постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01 грудня 1997 року № 62, Вимоги та умови безпеки провадження діяльності з використання джерел іонізуючого випромінювання, які затверджені наказом Державного комітету ядерного

регулювання України від 02 грудня 2002 року № 125, які зареєстровані в Міністерстві юстиції України 17 грудня 2002 року за № 978/7266 (НП 306.5.05/2.065-2002), та Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України, які затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 02 лютого 2005 року № 54, що зареєстровані у Міністерстві юстиції України 20 травня 2005 року за № 552/10832. Це не стосується джерел іонізуючого випромінювання. Діяльність з їх використанням звільняється від ліцензування, що встановлено законодавством у порядку згідно з Критеріями, за якими діяльність з використання джерел іонізуючого випромінювання звільняється від ліцензування. Це затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 16 листопада 2011 року № 1174.

Усі баки, збірники та мірники для розчинення кислот, лугу, солей та нейтралізації розчинів повинні бути обладнані кришками, вимірниками рівня розчинів, пристроями для запобігання переповненню ємностей. Необхідна витяжна вентиляція [21].

Для перекачування агресивних рідин, насоси повинні автоматично відключатися після наповнення ємності.

Усі лінії безперервного травлення та оксидування стрічкового матеріалу повинні бути обладнані пристроями сигналізації. Вони повинні вказувати на відхилення стрічки від заданого положення в розчині, та пристосуванням, що регулює її натяг.

При переході через конвеєри, повинні встановлюватися перехідні майданчики із суцільним настилом та двосторонніми перилами. На лініях безперервного травлення та оксидування, перехідні містки повинні бути розташовані через 20 - 25 м уздовж лінії.

Якщо під час роботи з устаткуванням виділяється пил (шліфувальні та полірувальні верстати, вібраційні установки), то воно повинно бути розташовано в окремому приміщенні, яке ізольоване пилонаепроникними перегородками. У цих приміщеннях повинна бути наявна загальна припливна та місцева витяжна вентиляція.

Експлуатацію ультразвукових установок необхідно здійснювати відповідно до вимог ГОСТ 12.1.001-89 «ССБП. Ультразвук. Загальні вимоги безпеки.», ДСТУ 12.2.051-80 «ССБП. Обладнання технологічне ультразвукове. Вимоги безпеки» та ДСТУ 12.4.077-79 «ССБП. Ультразвук. Метод вимірювання звукового тиску на робочих місцях».

Температура нагрітих поверхонь устаткування та огорожень не повинна перевищувати 43 °С відповідно до вимог ДСТУ EN 563-2001 «Безпечність машин. Температури поверхонь, доступних для дотику. Ергономічні дані для встановлення граничних значень температури нагрітих поверхонь» (далі - ДСТУ EN 563-2001).

Для очищення виробів металевим піском та дробом, камери повинні бути герметичними, повинні бути обладнані пристосуванням для переміщення деталей та мати дистанційне керування. Необхідно забезпечувати локалізацію відходів та шкідливих викидів вентиляційними пристроями.

Внутрішню стінку камери, яка розташована навпроти сопла, необхідно закривати гумовою ширмою.

При гідроочищенні та гідропіскоочищенні камери повинні бути водонепроникними та обладнані пристосуванням для переміщення деталей. При спостереженні за процесом очищення, в камері повинні бути передбачені вікна з міцним склом. Працівнику категорично забороняється перебувати в камері.

Установки для гідропіскоструменевого очищення повинні бути обладнані сигналізацією, що спрацьовує під час відкривання дверей. Повинні бути блокувальні пристрої для відключення приводів насосів високого тиску під час відкривання дверей камер та пристроїв для підігріву робочої суміші до 25- 30 °С під час роботи.

У дробометних та дробоструменевих установках повинні бути передбачені:

1. Огороджувальні пристрої, штори та ущільнення для запобігання вильоту дробу та пилу з робочого простору камери.
2. Блокувальні пристрої, які унеможливають роботу установок та подачу до них дробу при відчинених дверях та шторах.
3. Системи кріплення лопаток установок, що дозволяють швидко та легко виконувати їх заміну;
4. Пристрої для уловлювання пилу (циклони, фільтри), сепаратори для регенерації абразиву й механізми для його переміщення.
5. Рухомі протиударні шторки, які закривають скло під час роботи.
6. Пристрої для фіксації візків із деталями усередині камер [20, 21].

У тому випадку, якщо в конструкції дробоструменевого пристрою передбачена можливість роботи усередині камери ручним дробоструменевим соплом, у комплекті устаткування обов'язково повинен бути захисний шолом з примусовим поданням очищеного повітря. Камера повинна бути обладнана блокувальним пристроєм для унеможливлення роботи дробоструменевого апарата під час роботи ручним соплом.

Пристрої для галтування виробів повинні бути обладнані блокуванням для унеможливлення пуску галтувального барабана під час його завантаження виробами й абразивними матеріалами.

Стаціонарні верстати, переносні машинки для обробки абразивним інструментом повинні відповідати вимогам Правил охорони праці під час роботи з абразивним інструментом, які затверджені наказом Міністерства надзвичайних ситуацій України від 22 жовтня 2012 року № 1277, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 08 листопада 2012 року за № 1879/22191 (далі - НПАОП 28.0-1.30-12).

При обробці магнієвих сплавів на наждачних шліфувальних верстатах, приводні паси повинні бути без заклепок для унеможливлення іскроутворення. Кожухи у верстатів повинні бути виготовлені з кольорового металу.

Ванни для травлення та нанесення металопокриттів, де знаходяться розчини, під час роботи з якими утворюється туман із високою концентрацією парів кислот та лугу, обов'язково повинні бути обладнані кришками й пристосуванням для заливання розчинів. Підігрів розчинів повинен здійснюватися автоматично.

Якщо розчин для травлення знаходиться у ванні великої ємності, його необхідно підігрівати за допомогою кислотостійких теплообмінників, а перемішувати механічними мішалками.

Для постійної та періодичної фільтрації розчинів, необхідно використовувати пересувні фільтр-преси чи ванни з фільтр-пресами.

Ванни для хімічної та електрохімічної обробки металу повинні бути обладнані бортовими відсмоктувачами. Місцева витяжна вентиляція, яка знаходиться на ваннах, які працюють з підігрівом, повинна вмикатися з початком підігріву ванн, а вимикатися після їх повного охолодження [22].

При виконанні робіт з використанням електричних печей під час дифузійного способу нанесення металопокриттів, необхідно здійснювати відповідно до вимог ДСТУ 12.2.007.9-88 «ССБП.Обладнання

електротермічне. Вимоги до безпеки.» (далі - ДСТУ 12.2.007.9-88) та Правил охорони праці при термічній обробці металів, які затверджені наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці , гірничого нагляду від 18 грудня 2007 року № 315, які зареєстровані в Міністерстві юстиції України 28 січня 2008 року за № 66/14757 (далі - НПАОП 28.5-1.02-07).

На щитках керування електричними печами повинна бути передбачена світлова сигналізація про подачу напруги на нагрівальні елементи та роботу блокувальних пристроїв.

Електричні печі з ручним завантаженням та вивантаженням потрібно обладнувати блокувальними пристроями для автоматичного зняття напруги з нагрівальних елементів під час відкриття дверей печі.

Електричні печі повинні бути обладнані автоматичним регулюванням температури. При перевищенні температури повинні вмикатися світлові та звукові сигнали [23].

Вимоги до створення безпечних і нешкідливих умов праці шляхом належного облаштування робочих місць , виробничих, санітарно-побутових та інших приміщень повинні відповідати Загальним вимогам забезпечення роботодавцями охорони праці працівників, затвердженим наказом Міністерства надзвичайних ситуацій України від 25 січня 2012 року № 67, що зареєстровані в Міністерстві юстиції України 14 лютого 2012 року за № 226/20539 (НПАОП 0.00-7.11-12), Технічному регламенту знаків безпеки та захисту здоров'я працівників, ДСТУ 12.2.032-78 «ССБП. Рабоче місце при виконанні робіт сидячи . Загальні ергономічні вимоги», ДСТУ 12.2.033-78 «ССБП. Рабоче місце при виконанні робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги», ДСТУ 12.2.061:2009 «ССБП. Обладнання виробниче. Загальні вимоги безпеки до робочих місць», ДСТУ 22269-76 «Система «людина-

машина». « Робоче місце оператора. Взаємне розташування елементів робочого місця. Загальні ергономічні вимоги ».

Робочі місця повинні бути обладнані стелажми, шафами для зберігання інструментів і пристосувань.

Верстати, столи, стелажі повинні бути міцними, зручної для роботи висоти, стійкими, надійно закріплені на підлозі.

На стелажі і столах для укладання виробів і матеріалів повинні бути нанесені дані про гранично допустиме навантаження відповідно до вимог технічної документації на них.

Ті деталі, що потребують обробки, потрібно укладати на верстати окремо від інструменту.

Зберігати матеріали та деталі необхідно у спеціальних місцях.

Заборонено захащувати проходи та перешкоджати вільному обслуговуванню устаткування (верстатів, столів, механізмів).

Робочі місця необхідно розміщувати поза лінією руху вантажу, що транспортується вантажопідійомними кранами.

Елементи частин механізмів і устаткування, що виступають, рухаються, обертаються, та предмети, які оброблюються, рухаються та виступають за габарит устаткування, повинні бути надійно огорожені відповідно до вимог ДСТУ 12.2.062-81 «ССБП. Обладнання виробниче. Огородження захисне».

3.3. Вимоги безпечного використання інструменту

При виконанні робіт з інструментами і пристроями необхідно дотримуватися вимог чинного законодавства.

Пневматичні інструменти повинен відповідати вимогам ДСТУ 12.2.010-75 «ССБП. Машини ручні пневматичні. Загальні вимоги безпеки».

Ручні електричні машини повинні відповідати вимогам ДСТУ ІЕС 60745-1:2010 «Інструмент ручний електромеханічний. Безпека. Частина 1. Загальні вимоги».

3.4. Аналіз шкідливих та небезпечних факторів виробництва, які негативно впливають на працюючих

Технологічна частина проекту показує, що у процесі виробництва ми працюємо зі шкідливими горючими речовинами та матеріалами, використовуючи електричну та механічну енергію. Небажаним фактором виробництва є також шум і вібрація, викликані роботою цехового обладнання [24].

У процесі хромування у повітря робочої зони випаровуються такі шкідливі речовини:

Хром та його сполуки. Особливо небезпечні сполуки CrO_3 . Отруєння цими компонентами можливо при використанні хромових ванн. Це може викликати подразнення слизової оболонки з утворенням виразок. Також можливе запалення нирок. Максимально допустима концентрація - $0,1 \text{ мг} / \text{м}^3$. Вагітним не дозволяється працювати, оскільки пари хрому негативно впливають на процес вагітності.

Сірчана кислота. Максимально допустима концентрація - $1 \text{ мг} / \text{м}^3$. Сірчана кислота та діоксид сірки викликають сильне подразнення слизових оболонок дихальних шляхів, викликаючи кон'юнктивіт та руйнування зубів.

Луги. Мають дуже сильні їдкі властивості; роз'їдає шкіру, викликає сильні опіки на тілі. Гранично допустима концентрація лужних аерозолів у повітрі робочої зони (у перерахунку на NaOH) становить $0,5 \text{ мг} / \text{м}^3$.

Оскільки роботи, пов'язані з процесом обслуговування лінії автоперевезення, безпосередньо супроводжуються курсуванням,

переміщенням предметів до 10 кг та помірними фізичними навантаженнями, їх можна віднести до робіт середньої тяжкості категорії ІІб.

Відповідно до SIT 3.3.6.042-99, проект передбачає санітарні норми параметрів мікроклімату в робочій зоні приміщення залежно від категорії робіт із силою тяжіння за період року.

Відповідно до аналізу прогнозованого виробництва, а також існуючих норм розроблені відповідні заходи щодо охорони праці.

У гальванічному цеху механічна припливна та місцева витяжна вентиляція проводиться безпосередньо з місць скидання шкідливих речовин [24].

Для забезпечення оптимальних умов у цеху передбачена центральна система водяного опалення згідно СНиП 2.04.05-84 однотрубна з нижчим подачею, температура води до 80°C. Забезпечення нормальних метеорологічних умов та чистого повітря на робочому місці залежить від правильно організованої вентиляційної системи. Відповідно до ДСТУ 12.1.005-88 ОСБТ вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони підтримується за допомогою локальної, загальної та аварійної вентиляції. Ванни зі шкідливим розрядом обладнані бортовими відсмоктувальними насосами.

Приміщення також обладнане повітряним нагріванням за допомогою обігрівачів, поєднаних з припливною вентиляцією для забезпечення нормальної температури повітря в холодну погоду. Для запобігання переохолодження та застуди, ті, хто працює біля входу в магазин, створюють теплові повітряні завіси, які спрямовують потік зовнішнього холодного повітря у верхню зону приміщення.

Для зменшення викиду шкідливих речовин у повітря робочої зони передбачені такі заходи:

1. Приготування та налагодження розчинів для ванни здійснюється під дією вентиляції.
2. Заміна шкідливих і горючих речовин менш токсичними, негорючими матеріалами.
3. У процесі приготування маринованих розчинів кислота вводиться тонким струменем у холодну воду при ретельному перемішуванні.
4. Для зменшення віднесення електролітів з поверхні ванни до складу інгібіторів електроліту вводили добавки, ПАВ
5. Чітке дотримання вибраних режимів ванни. При порушенні режиму (збільшення густини струму, концентрації та температури електроліту, збільшення тривалості обробки продукту) відбувається збільшення випаровування та дрейфу електроліту через збільшення викиду газів з поверхні лазні.
6. Щоб уникнути попадання в підлогу розчинів, зазори між ваннами закриваються козирками.

Серед факторів внутрішнього середовища, що впливають на організм людини в процесі його діяльності, дуже важливим фактором виробництва є правильне та раціональне освітлення робочих місць.

Зазвичай у виробничому приміщенні використовується штучне та комбіноване освітлення [25].

Штучне освітлення на робочому місці призначене для забезпечення виробничого процесу, переміщення людей, руху транспорту.

Аварійне освітлення використовується для виконання робіт у разі раптового вимкнення робочого освітлення. Мінімальне освітлення робочих поверхонь

при аварійному освітленні становить 5% від нормативної освітленості робочого освітлення.

Згідно з SNiP II-4-79 робота над зоровими умовами в розробленому гальванічному цеху - IVb.

Джерелом шуму є випрямляч змінного струму, система вентиляції, рух оператора, електроприводи.

Рівень звукового тиску в цьому виробництві становить 70 дБА, що відповідно до DSN 3.3.6.037-99 відповідає допустимому значенню (80 дБА) рівня звукового тиску і звуку на постійних робочих місцях та робочих площах у виробничих приміщеннях та на підприємстві .

Згідно з LTO 3.3.6.037-99 зниження шуму досягається такими способами:

- Ізоляція джерел шуму за допомогою звукоізоляції та звукопоглинання - перегородок і корпусів, що запобігають поширенню шуму;
- архітектурно-планувальне рішення, що забезпечує раціональне розміщення технологічного обладнання, механізмів, акустичної обробки приміщень, а саме використання звукопоглинаючих пористих матеріалів;

VSHV-003 використовується в розробленій майстерні для вимірювання рівня шуму та контролю вібрації.

Для захисту рук від дії місцевої вібрації за ДСТУ 12.4.002-94 використовуйте рукавички зі спеціальними віброзахисними або демпфуючими вставками.

Приміщення майстерні належать до категорії приміщень з високим ризиком ураження електричним струмом для людини. Електрообладнання цеху є вибухобезпечним або закритим. Струмоносні частини ванни утеплені і захищені корпусами. Основним захистом від ураження електричним струмом є ізоляція проводів ($R_{із} = 0,5 \text{ М М}$). Для захисту від ураження електричним

струмом у разі переходу фази на обладнання обладнання, металеві конструктивні частини електромереж установки встановлюються нульовими та заземленими ($R_3 < 4 \text{ Ом}$). Ванни оснащені попереджувальними світильниками: попереджати напругу живлення ванни - червоне, для зняття напруги з ванни - зелене. Для захисту людей від ураження електричним струмом вжито таких заходів:

- Захисне відключення електроенергії.
- Захисне обладнання для виробничого персоналу (діелектричні рукавички, гумові килимки, інструменти з ізоляційними ручками).
- Ізольована нейтральна мережа - під час звичайного режиму, заземлена нейтральна мережа - під час надзвичайних ситуацій.
- Контроль та запобігання пошкодження ізоляції здійснюється періодичним оглядом та оглядом.
- регулярна інструкція та розміщення наочного матеріалу;

Робота з оператором з гальванічної лінії, який передає підвіску з частинами однієї ванни в іншу, не виключає травмування працівника, який обслуговує ці ванни.

Технічне обслуговування та ремонт обладнання може здійснювати лише спеціально навчений персонал [25].

Для аварійної зупинки всіх рухомих деталей передбачена аварійна кнопка "Аварійна зупинка".

Машина оснащена обмежувачами та гальмівними пристроями. Для запобігання переливання електроліту через край ванни, коли суспензія опускається, між верхнім краєм ванни та дзеркалом електроліту підтримується відстань не менше 200 мм. Зазор між ваннами закривається

козирками, щоб уникнути потрапляння на підлогу розчинів при носінні підвіски з деталями.

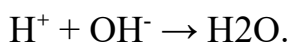
3.5. Охорона навколишнього середовища

Проект передбачає очищення стічних вод, викидів, а також створення санітарно-захисної зони шириною близько 50 м навколо підприємства. Нижче наведено опис речовин забруднювачів повітря, населених пунктів, водойм санітарно-побутового водокористування та прийнятих проектом очисних споруд [25].

Для потреб у водних ресурсах гальванічна секція підприємства використовує воду з протипожежної системи водопостачання підприємства. Водопостачання підприємства здійснюється з міської системи водопостачання. Проект не передбачає систем повторного використання води. Стічні води після технологічних процесів направляються на очищення, а після очищення в каналізаційну мережу підприємства. Очищені стічні води направляються до каналізаційної мережі м. Києва.

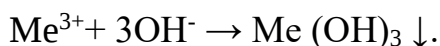
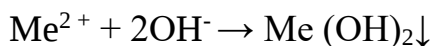
Знешкодження стічних вод до гранично припустимих концентрацій.

Хімічна нейтралізація кислих (із $\text{pH} < 6,9$) і лужних (з $\text{pH} > 8,5$) стічних вод відбувається за реакцією



Нейтралізація вільних мінеральних кислот досягається додаванням водорозчинних лужних реагентів.

При нейтралізації іони важких металів перетворюються на розчинні гідроксиди, які осаджуються:



Реагентне очищення стічних вод від іонів важких металів складається з двох процесів: утворення розчинних сполук та їх поділу в осад. Для кращої та швидшої коагуляції осаджених гідроксидів використовують флокулянт – поліакриламід [26].

Ми використовуємо змішану систему нейтралізації стічних вод та очищення від важких металів, схема якої включає дозатори, насосну систему, нейтралізацію змішувача-реактора, систему датчиків вимірювання та виконавчих механізмів регулювання рН середовища, потоку, концентрації тощо. температура.

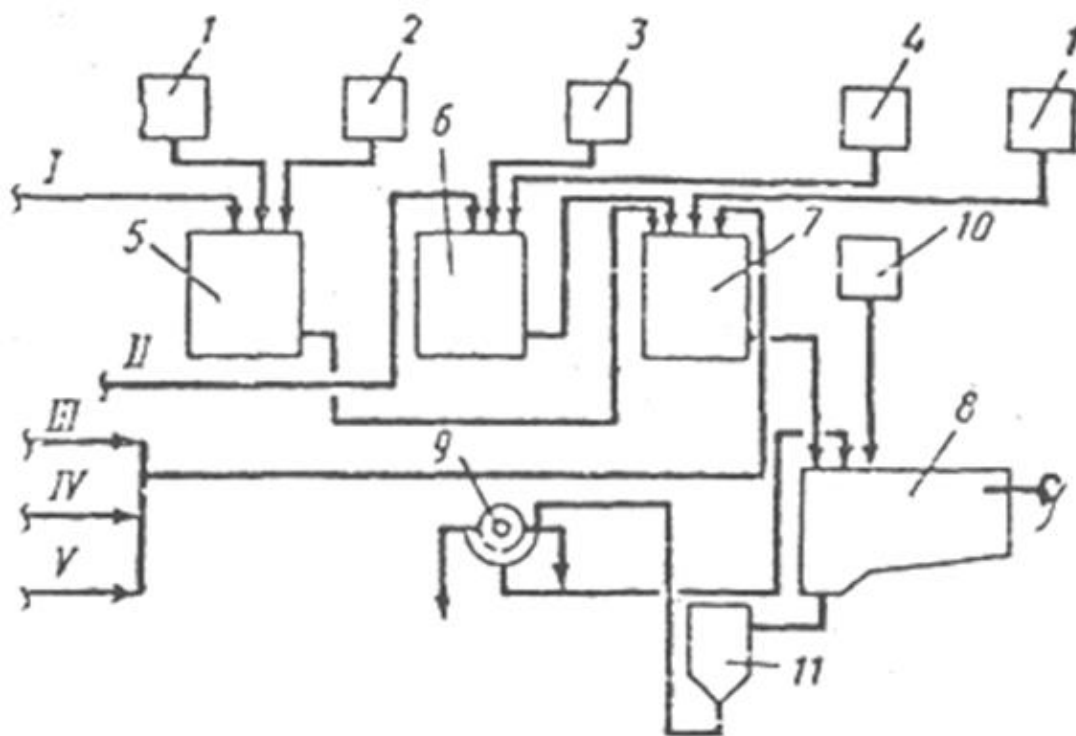


Рис 3. Загальна схема каналізації й знешкодження стічних вод цехів гальванічних покриттів: 1 - луг; 2 - окислювач; 3- кислота; 4- відновник; 5- очиска від ціанідів; 6 – очистка від хроматів; 7- нейтралізація; 7- відстоювання; 8- відстоювання; 9- зневоднення; 10- флокулянт; 11- шламонакопичувач; I- ціановмісні стоки; II- хромовмісні стоки; III- кислотні стоки; IV- лужні стоки; V- стоки, що містять іони важких металів.

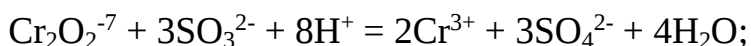
Обробка хромовмісних стічних вод реагентними методами проводиться у два етапи. Етап 1 - відновлення Cr^{6+} у тривалентну форму; Етап 2 - осадження Cr^{3+} у вигляді гідроксиду.

Основні процеси.

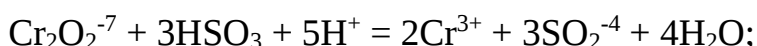
Сульфит-відновниками є Na_2SO_3 , NaHSO_3 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_6$.

Етап 1. Зниження ступеня окиснення з Cr^{6+} до Cr^{3+} відбувається за допомогою наступних реакцій:

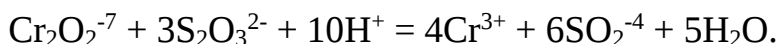
відновлення сульфіту натрію:



відновлення бісульфіту натрію



відновлення піросульфітом натрію

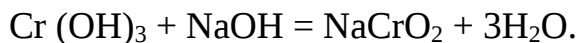


Реакції відновлення протікають у кислому середовищі, для якого стічні води підкисляють 10-15% розчином H_2SO_4 .

Найвища швидкість і повнота реакцій відновлення відбувається при оптимальному рН 2–2,5 при інтенсивному перемішуванні реагентів. Для скорочення часу реакції до 5-7 хв. застосовується стічна вода з концентрацією $\text{Cr}^{6+} > 100$ мг / л, чого можна досягти, застосувавши систему промивання протитокової (каскадної) частини [27-28].

Етап 2. Осадження Cr^{3+} осадів відбувається в лужному середовищі. Для нейтралізації використовують вапняне молоко, в деяких випадках соду та NaOH .

Значення рН 8,5-9,0 є оптимальними для осадження $\text{Cr}(\text{OH})_3$; за ці межі розчинність $\text{Cr}(\text{OH})_3$ збільшується і, як наслідок, зменшується повнота його вилучення з стічних вод. При $\text{pH} > 12$ амфотерний гідроксид Cr^{3+} при надлишку лугу утворює розчинні хромати:



Рекомендується підтримувати суворе дозування реагентів та їх інтенсивне перемішування.

Екологічними нормативами повітря є гранично допустимий викид (ГДВ), який визначається у відповідності з вимогами ДСТУ 17.2.3.02-98 "Охорона природи. Атмосфера".

Розрахунок ГДВ здійснюється по формулам, окремо для нагрітих і холодних викидів в залежності від фактора f який визначається по формулі:

$$W_0 = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 4,1}{3,14 \cdot 0,8^2} = 8,16 \text{ м/с}$$

$$f = \frac{10^3 \cdot W_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T} = \frac{10^3 \cdot 8,16^2 \cdot 0,8}{12^2 \cdot 15} = 24,7$$

де W_0 - середня швидкість виходу газоповітряної суміші з вихідного отвору, м / с; H - висота джерела викидів над рівнем землі, м; D - діаметр отвору джерела, м; ΔT - різниця між температурою викинутої газової суміші та температурою навколишнього середовища, ° С.

Оскільки $F < 100$, розрахунок проводиться для нагрітих викидів.

Значення ГДВ, г/с, газової суміші одного джерела з круговим отвором або групи близько розташованих одиночних джерел у випадках, коли фонові концентрації суміші СФ встановлюється відповідно до швидкості та напрямку вітру і константа в розглянутій області, визначається формулою:

Безрозмірний параметр m дорівнює:

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{24,7} + 0,34\sqrt[3]{24,7}} = 0,46$$

Для визначення коефіцієнта n визначаємо $V_{\max}$:

$$V_{\max} = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{q \cdot \Delta T}{H}} = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{4,1 \cdot 15}{12}} = 1,47 \text{ м/с}$$

Так як $V_{\max} \leq 2$, n розраховуємо по формулі:

$$n = 3 - \sqrt{(V_{\max} - 0,3) \cdot (4,36 - V_{\max})} = 3 - \sqrt{(1,47 - 0,3) \cdot (4,36 - 1,47)} = 1,16$$

ГДВ розраховуємо за формулою

$$\Gamma_{\text{ДВ}} = \frac{(\Gamma_{\text{ДК}} - C_{\phi}) \cdot H^2 \cdot \sqrt{q \cdot \Delta T}}{A \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}$$

Для випаровування сірчаної кислоти:

$$\Gamma_{\text{ДВ}} = \frac{(0,1 - 0,025) \cdot 12^2 \cdot \sqrt{4,1 \cdot 15}}{200 \cdot 1 \cdot 0,46 \cdot 1,16 \cdot 1} = 0,79 \text{ г/с}$$

Для випаровувань хрому:

$$\Gamma_{\text{ДВ}} = \frac{(0,1 - 0,05) \cdot 12^2 \cdot \sqrt{4,1 \cdot 15}}{200 \cdot 2 \cdot 0,46 \cdot 1,16 \cdot 1} = 0,26 \text{ г/с}$$

Відповідно до вимог Сан Пін 4630-88, потрібно забезпечити умови які відповідають співвідношенню:

$$\frac{C_{\phi}}{\Gamma_{\text{ДВ}}} \leq 1; \frac{0,025}{0,79} + \frac{0,05}{0,26} = 0,23 \leq 1$$

Таким чином можна зробити висновок санітарний стан відповідає умовам допустимих концентрацій.

Висновки до розділу 3

У розділі проаналізовані вимоги до техніки безпеки при зберіганні, складуванні, транспортування матеріалів, заготовок, готових виробів і відходів виробництва.

Проведений аналіз шкідливих та небезпечних факторів виробництва, які негативно впливають на працюючих.

Запропоновано методику очищення стічних вод реагентним методом, що відрізняється простотою, високим ступенем очищення й економічністю.

Зроблений розрахунок гранично допустимий викид (ГДВ), який визначається у відповідності з вимогами ДСТУ 7729:2015 «Охорона природи. Атмосфера».

ВИСНОВКИ

У цій дипломній роботі досліджено й розроблено технологію нанесення блискучого захисно-декоративного покриття з використанням електроліту на основі трьохвалентного хрому. Проведені дослідження та розрахунки дозволяють зробити наступні висновки:

Встановлено переваги електроліту на основі трьохвалентного хрому:

- Технологія є екологічно безпечнішою, оскільки трьохвалентний хром має значно нижчу токсичність порівняно із шестивалентними аналогами.
- Використання цього електроліту дозволяє зменшити витрати на реагенти та воду, що оптимізує собівартість виробництва.

Розроблено оптимальні параметри технологічного процесу:

- Ефективні умови нанесення покриття досягаються за густини струму 30–50 А/дм², температури 45–50°C і значення рН у межах 3,5–4,0.
- Отримане покриття має товщину 15 мкм, характеризується блискучою поверхнею, високою корозійною стійкістю й естетичним виглядом.

Обчислено продуктивність і витрати:

- Річна продуктивність становить 5500 м², що підтверджує ефективність запропонованої технології.
- Витрати електроенергії на виконання річної програми складають 64 357,77 кВт·год. На приготування електроліту необхідно 6142,5 кг води, а на промивання – 112,5 м³ води.

Розроблено рекомендації щодо автоматизації:

- Автоматизація процесу, зокрема контроль температури, рівня електроліту, концентрації компонентів, а також регулювання напруги та струму, сприяє стабільній якості покриття та підвищенню продуктивності.

Проведено аналіз властивостей покриття:

- Випробування показали, що покриття має високу адгезію до основного металу, стійкість до корозійних впливів та відмінний декоративний вигляд, що відповідає сучасним стандартам.

Таким чином, запропонована технологія нанесення захисно-декоративного покриття із застосуванням трьохвалентного хрому забезпечує екологічність, економічність і високу продуктивність, що робить її придатною для впровадження в промислових умовах.

Лінія складається з ванн для хімічної та електрохімічної обробки деталей, автооператорів (маніпуляторів), сушильної камери, завантажувально-вивантажувального пристрою, системи вентиляції, металоконструкції, системи трубопроводів, площадки обслуговування, команд-апарату, допоміжного обладнання (ємності для приготування електролітів, запасні ємності, фільтрувальні установки, теплообмінники, насоси тощо). Передбачено систему заходів, які створюють безпечні умови праці у спроектованому цеху у відповідності з діючими нормами і стандартами.

Розробка нових електролітів для хромування та їх безвідходна переробка є важливими напрямками в галузі металообробки. Впровадження екологічно чистих технологій у виробництво допоможе зменшити негативний вплив на довкілля та забезпечити стале розвиток галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Антикорозійні та декоративні гальванічні покриття. Електронний ресурс. Режим доступу: <http://topmetal.com.ua/nikelyuvannya>. Дата звернення: 20.09.2023.
2. Якименко Г.Я., Артеменко В.М. Технічна електрохімія. Ч.ІІІ. Гальванічні виробництва: Підручник /За ред.. Б.І.Байрачного.- Харків: НТУ"ХПІ", 2006.- 272с.
3. Jiang Y., Yang J. F., Fang Q. F. Effect of chromium content on microstructure and corrosion behavior of W–Cr–C coatings prepared on tungsten substrate // Frontiers of Materials Science. 2015. V.9. P.77–84. 124.
4. Алімов В.І., Дурягіна З.А. Корозія та захист металів від корозії // Донецьк-Львів: ТОВ «Східний видавн. дім». – 2012. – 328 с.
5. Миронюк І.Ф., Микитин І.М. Електрохімія та її практичні аспекти: Навч.посіб./ Ів.-Франк.:ПНУ ім.В.Стефаника, 2016.-174 с.
6. Li B. S., Lin A. Study of hard chromium plating from trivalent chromium electrolyte // Key Engineering Materials. 2008. V.373–374. P.200–203.
7. Кислова О. В. Основи електрохімії : навч. посіб. / О. В. Кислова, І. С. Макєєва. – К. : КНУТД, 2017. – 128 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.Токарев; за ред. Б.І.Байрачного .- Х.: НТУ (ХПІ), 2016.– 272 с.
9. Антропов Л.І. Теоретична електрохімія. Підручник.- К.: Либідь, 1993.- 544с.

10. Zeng Z., Sun Y., Zhang J. The electrochemical reduction mechanism of trivalent chromium in the presence of formic acid // *Electrochem. Commun.* 2009. V.11. P.331–334.
11. Phuong N. V., Kwon S. Ch., Lee J. Yu., Shin J., Huy B. Th., Lee Y. I. Mechanistic study on the effect of PEG molecules in a trivalent chromium electrodeposition process // *Microchem. J.* 2011. V.99. P.7 14.
12. Гальванічні покриття. Електронний ресурс. Режим доступу:
<https://uadoc.zavantag.com/text/7353/index-1.html?page=10>
13. Особливості покриття хромом. Електронний ресурс. Режим доступу:
<http://farbateka.com.ua/specialni-materiali/inshi-pokrittja/osoblivosti-pokrittja-hromom-riznih-pidstav.html>.
14. Mandich N. V., Snyder D. L. Electrodeposition of chromium, in: M. Schlesinger, M. Paunovic (Eds.). *Modern Electroplating*. Fifth Edition.: John Wiley & Sons Inc. Hoboken, NJ, USA. – 2010. – P.205–248.
15. Fedrizzi L., Rossi S., Bellei F., Deflorian F., Wear–Corrosion Mechanism of Hard Chromium Coatings // *Wear.* – 2002. – 253 (11). – P.1173-1181.
16. Tharamani C. N., Hoor F. S., Begun N. S. Microstructure, surface and electrochemical studies of electroless Cr–P coatings tailored for methanol oxidative fuel cell // *J Solid State Electrochem.* – 2005. – V.9. – P.476–482.
17. Survilene S., Nivinskiene O., Cesuniene O., Selskis A. Effect of Cr(III) solution chemistry on electrodeposition of chromium // *J. Appl. Electrochem.* – 2006. – V. 36. – P. 649–654.
18. R. Schmidt, K.O. Thiel, F. Von Horsten, et all/ Towards the mechanism of the accelerated corrosion of decorative nickel-chromium coatings in the presence of metals and their salts // *Mater. Corros.* – 2014. – V.65. – P. 959–967.
19. 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.
20. 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.
 21. 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.
 22. 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.
 23. 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.
 24. Макєєва І.С., Кислова О.В., Андрейцева.М.В. Електрохімічна екологія та її застосування [Текст] : навч. посіб. - Київ :КНУТД, 2018. - 216 с.
 25. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод: підручник/

- А.К.Запольский, Н.А.Мішкова-Клименко, І.М.Астрелін та ін. – К.: Лібра, 2000. – 552 с.
26. *Opaskar V., Crawford D.* Trivalent chromium plating bath using ion-exchange // *Metall Finish.* 1991. V.89. №1. P.49–51.
27. *Chu H. S., Kim Y. S., Lee H. R.* Trivalent chromium plating by using pulse electrolysis // *Han'guk Pyomyon Konghak Hoechi.* 1997. V.30(2). P.104–110.
28. *Horsewell A.* Processing and properties of electrodeposited layered surface coatings // *Mater. Sci. Technol.* 1998. V.14. №6. P.549–553.