

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

«Проектування гальванічного цеху з розробкою технологічного
процесу хромування сталевих деталей
продуктивністю 24500 м²/рік»

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 161 Хімічні технологія та інженерія

Освітня програма Технічна електрохімія та електрохімічна енергетика

Виконала: студентка групи МгТЕ-22

Вакулік А.А.

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

Рецензент Павлій О.В.

Київ 2023

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
ДИЗАЙНУ

Факультет хімічних та біофармацевтичних технологій

Кафедра хімічних технологій та ресурсозбереження

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

Освітня програма Технічна електрохімія та електрохімічна енергетика

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедри ХТР

Вікторія ПЛАВАН

“ ____ ” _____ 2023 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТЦІ

Вакулік Аллі Анатоліївни

1. Тема кваліфікаційної роботи (проєкту): «Проектування гальванічного цеху з розробкою технологічного процесу хромування сталевих деталей продуктивністю 24500 м²/рік»

Науковий керівник роботи Крюкова Олена Анатоліївна к.т.н., доцент
затверджені наказом КНУТД від “12” вересня 2023 р. № 210-уч.

2. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи (проєкту): матеріали з практики. Зарубіжні та вітчизняні монографії та періодичні видання. Електроліт кислий. Завдання з продуктивністю 24500 м²/рік.

3. Зміст кваліфікаційної роботи (проєкту) (перелік питань, які потрібно опрацювати): складання технологічної карти, розрахунок балансів струму, напруги, енергії, вибір і обґрунтування покриття, заходи охорони праці, автоматизація процесу хромування, екологічна безпека.

4. Дата видачі завдання 06.09.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапу кваліфікаційної роботи (проєкту)	Орієнтовний термін виконання	Примітка про виконання
1	Вступ		
2	Розділ 1. Аналіз літературних джерел в області електролітичного хромування		
3	Розділ 2. Об'єкт та методи досліджень		
4	Розділ 3. Технологічна частина		
5	Розділ 4. Охорона праці		
6	Висновки		
7	Оформлення (чистовий варіант)		
8	Подача кваліфікаційної роботи (проєкту) науковому керівнику для відгуку		
9	Подача кваліфікаційної роботи (проєкту) для рецензування (за 14 днів до захисту)		
10	Перевірка кваліфікаційної роботи (проєкту) на наявність ознак плагіату та текстових співпадінь (за 10 днів до захисту)		
11	Подання кваліфікаційної роботи (проєкту) на затвердження завідувачу кафедри (за 7 днів до захисту)		

З завданням ознайомлена:

Студентка

(підпис)

Алла ВАКУЛІК
(прізвище та ініціали)

Науковий керівник роботи

(підпис)

Олена КРЮКОВА
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

«Проектування гальванічного цеху з розробкою технологічного процесу хромування сталевих деталей продуктивністю 24500 м²/рік».

Вакулік А.А., Київ. КНУТД

Кваліфікаційна робота (проект), 2023 рік, кількість сторінок - 71, таблиць - 5, рисунків - 3, схем - 2.

У кваліфікаційному проекті запропоновано технологію одержання матового енергозберігаючого хромового покриття, розроблена гальванічна лінія з виробничою програмою 24500 м²/рік. Проведений розрахунок технологічного процесу. У проекті проведена оптимізація розміщення деталей на підвісках, а також електродів у ванні з метою зменшення витрат енергії на одиницю продукції. Запропонована методика очистки стічних вод реагентним способом.

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

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

ANNOTATION

«Designing of an electroplating shop with the development of a technological process for chrome plating of steel parts with a capacity of 24,500 m²/year»

Vakulik A.A., Kyiv. KNUTD

Qualification work (project), year 2023, number of pages - 71, tables - 5, figures - 3, diagrams - 2.

In the qualification project, the technology of obtaining a matte energy-saving chrome coating was proposed, a galvanic line was developed with a production program of 24,500 m²/year. The calculation of the technological process was carried out. The project optimized the placement of parts on suspensions, as well as electrodes in the bath with the aim of reducing energy consumption per unit of production. The proposed method of wastewater treatment by the reagent method. the premises of the workshop were analyzed from the point of view of fire safety, a number of fire prevention measures were proposed, as well as measures in case of an emergency situation.

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

Зміст

Вступ.....	9
Розділ 1. Аналіз літературних джерел в області електролітичного хромування.....	12
1.1 Загальна характеристика хромових покриттів.....	12
1.2 Застосування хромових покриттів.....	14
1.3 Види хромових покриттів.....	16
Розділ 2. Об'єкт та методи дослідження якості покриття.....	22
2.1 Об'єкт дослідження.....	22
2.2 Методи дослідження якості покриття. Контроль якості гальванічного покриття.....	23
2.2.1 Контроль зовнішнього вигляду.....	23
2.2.2 Контроль товщини покриття.....	23
2.2.3 Контроль поруватості.....	24
2.2.4 Контроль міцності зчеплення.....	24
Розділ 3. Технологічні розрахунки	25
3.1 Призначення цеху металопокриттів.....	25
3.2 Загальні вимоги до покриттів.....	25
3.3 Вибір електроліту хромування.....	26
3.4. Аноди.....	27
3.5. Технологія нанесення хромового покриття.....	28
3.6 Механічна обробка поверхні.....	28
3.6.1 Шліфування.....	29
3.6.2 Полірування.....	29
3.7 Описання технологічного процесу.....	30
3.8 Видалення неякісного покриття.....	32
3.9. Автооператори: їх призначення і загальне описання.....	33
3.9.1 Вибір автооператорної лінії.....	37
3.10 Визначення фондів робочого часу обладнання.....	38
3.10.1 Визначення виробничої програми обладнання.....	38
3.10.2 Вибір обладнання для нанесення гальванічного покриття, розрахунок його кількості і габаритних розмірів.....	39
3.10.3 Перерахунок діючого обладнання.....	40
3.10.4 Визначення сили струму на гальванічній ванні.....	44
3.10.5 Визначення напруги на гальванічній ванні.....	44

3.10.6 Вибір джерела струму для гальванічної ванни.....	45
3.10.7 Визначення джоулевої теплоти, складання балансу енергії.....	46
3.10.8 Тепловий розрахунок гальванічних ванн.....	47
3.10.8.1 Визначення витрат теплоти на розігрів ванни.....	47
3.10.8.2 Визначення витрат теплоти на підтримання робочої температури ванни.....	49
3.10.9 Розрахунок витрат водяної пари.....	50
3.10.10 Розрахунок зміювика.....	51
3.10.11 Розрахунок витрат електроенергії та потужності електронагрівачів для нагрівання гальванічної ванни.....	52
3.10.11.1 Розрахунок витрат електроенергії на виконання річної виробничої програми.....	52
3.11 Розрахунок витрат матеріалів.....	53
3.11.1. Розрахунок витрати анодів.....	53
3.11.1.1 Розрахунок витрат анодів на початковий запуск обладнання.....	53
3.11.1.2 Витрати нерозчинних анодів на виконання річної виробничої програми.....	54
3.11.2 Розрахунок витрат хімічних реактивів.....	54
3.11.2.1 Витрата хімічних реактивів g_i на запуск нового Обладнання.....	54
3.11.2.2 Витрата кожного реактиву на виконання річної програми.....	55
3.11.3 Розрахунок витрат води.....	55
3.11.3.1 Витрата води на приготування електроліту.....	55
3.11.3.2. Витрата води на розкладання при електролізі.....	56
3.11.3.3 Витрата води на винесення з газами.....	56
3.11.3.4 Витрата води на випаровування з поверхні електроліту.....	56
3.11.3.5 Витрата води на промивні операції.....	57

Розділ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	58
4.1 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів. Заходи з охорони праці.....	58
4.1.1 Повітря робочої зони.....	58
4.1.1.1 Нормалізація повітря робочої зони.....	59
4.1.2 Виробниче освітлення.....	60
4.1.3 Виробничий шум.....	61
4.1.4 Небезпечне ураження електричним струмом.....	61
4.1.5 Безпека технологічних процесів та обладнання.....	63
4.2 Пожежна безпека.....	63
4.3 Очистка стічних вод.....	64
ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК.....	68
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	69

ВСТУП

Захист конструкцій з металу від корозії є однією з важливих проблем промисловості тому, що щороку руйнування металів та металічних конструкцій призводить до суттєвих збитків та економічних втрат. Кожного року внаслідок корозії стає непридатним для експлуатації близько 30% усього виробленого металу.

Електролітичне хромування є досить ефективним способом підвищення зносостійкості та довговічності деталей, що піддаються значним механічним навантаженням, а також способом захисно-декоративної обробки. Процес гальванічного хромування широко застосовується у приладобудуванні, автомобілебудуванні, сільському господарстві, також для відновлення зношених деталей та для нанесення декоративного покриття. Перевагами процесу хромування є можливість осаджувати покриття як на необроблені, так й на термічно оброблені деталі без руйнування структури основного металу. Це призводить до утворення надійного захисного шару на поверхні самого металу, що запобігає контакту металу із агресивними середовищами такими як: кислоти, луги, розчинники, має високу міцність та зносостійкість, а також красивий естетичний вигляд. Поряд з цим, слід відзначити, що процес електролітичного хромування є досить дорогим та екологічно небезпечним методом через використання отруйних хімічних реагентів.

Незважаючи на високу хімічну стійкість утворених хромових покриттів, вони також мають і високу пористість та без додаткового безпористого шару (з іншого металу) не забезпечують надійного захисту металу основи від процесу корозії. Для надання високої зносостійкості та корозійної стійкості хромові покриття осаджують на шари міді товщиною 10-30 мкм та нікелю товщиною 10-15 мкм. Хромове покриття, яке нанесене на поверхню блискучих мідних та нікелевих покриттів, навіть незважаючи на невелику товщину шару, значним чином підвищує їх корозійну стійкість та надає поверхні виробів красивого блискучого зовнішнього вигляду. В залежності від призначення готових виробів товщина хромового покриття складає від 5 мкм до 350 мкм і більше.

Недоліками хромування є:

- значна тривалість процесу та складність підготовчих операцій;
- можливість відновлення деталей лише з невеликим зношенням, більші по товщині осадки хрому (понад 0,3–0,4 мм) є менш зносостійкими та дорогими;
- низький коефіцієнт використання хромових ванн;
- висока вартість хромування.

Склад електроліту та режим процесу електролітичного хромування суттєво впливає на структуру осаду, якість та захисно-декоративні властивості утвореного покриття.

Мета дослідження. Узагальнити результати досліджень впливу компонентів електроліту хромування та режиму проведення процесу на структуру електроосажденного хрому. Встановити залежність між складом електроліту хромування та умовами проведення процесу осадження матового хромового покриття.

Завдання дослідження. На основі аналізу вітчизняних та зарубіжних літературних джерел проаналізувати переваги та недоліки сучасних методів одержання матового хромового покриття. Обґрунтувати вибір оптимального складу електроліту, розробити технологічну схему енергозберігаючого процесу матового хромування та проведення технологічних розрахунків для проектування цеху з заданою продуктивністю, розробка заходів з охорони праці в умовах шкідливого гальванічного хромування.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є електроліти хромування, вплив їх компонентів на якість осажденного покриття, а також розробка автооператорної лінії енергозберігаючого матового хромування.

Методи дослідження. Аналіз літературних джерел інформації щодо особливостей матового хромування, умов нанесення даного типу покриття, а також залежність його властивостей від режимів проведення гальванічного процесу та складу електролітів хромування.

Практична цінність. Було проаналізовано сучасні електроліти хромування різного складу та регламенти нанесення гальванічного покриття з

їх застосуванням. Для процесу матового хромування вибрано найбільш ефективний й економічно вигідний електроліт.

Елементи наукової новизни. Розроблено автооператорну лінію енергозберігаючого матового хромування з застосуванням розбавленого електроліту, який містить іони Cr^{3+} , введення яких в розчин електроліту дозволяє збільшити вихід за струмом і швидкість осадження хрому. Автоматичне регулювання параметрів: температура, рівень електроліту у ванні, значення напруги та струму, концентрації компонентів розчину електроліту в умовах гальванічного хромування дає можливість покращити якість готової продукції та збільшити продуктивність процесу. Також запропоновано недорогий ефективний метод очищення стічних вод та утилізації відходів виробництва.

Розділ 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ В ОБЛАСТІ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНОГО ХРОМУВАННЯ

1.1 Загальна характеристика хромових покриттів

В даний час жоден з гальванічних способів отримання покриттів не має настільки різноманітного застосування, як хромування. Установки для хромування є майже на всіх великих машинобудівних і металургійних заводах [1].

Хром володіє рядом цінних властивостей: високою твердістю, зносостійкістю, термостійкістю та хімічною стійкістю.

Відполірована поверхня хрому має дзеркальний блиск і сріблястий колір з блакитним відливом. Хромові покриття жаростійкі і починають змінювати колір тільки при температурі вище 480-500⁰С. Відбивна здатність хромових осадів трохи нижче срібних, але зате відрізняється стабільністю - з часом не змінюється.

Хром має гарне зчеплення з нікелем, міддю, латунню та іншими матеріалами, на які проводять осадження, проте при осадженні інших металів на хромове покриття завжди спостерігається погане зчеплення [2].

Осадити електролітичним шляхом хром можна практично на всі метали, проте без спеціальних методів активування поверхні після осадження відрізняються поганим зчепленням з основним металом - хромом.

Хромування проводять на попередньо нанесений підшар мідь-нікель або нікель-мідь-нікель. Товщина шару хрому при такому покритті зазвичай не перевищує 1 мкм. При виготовленні відбивачів хромуванням, в даний час витісняється іншими способами покриття, проте на деяких заводах він застосовується для виготовлення відбивачів дзеркальних світильників [2].

Товщина хромових покриттів встановлюється залежно від умов експлуатації та призначення покриттів по галузевої нормативно-технічної документації [3].

Позитивною властивістю покриттів з хрому є те, що деталі виходять блискучими, безпосередньо, в гальванічних ваннах, для цього не потрібно

полірувати їх механічним шляхом. Поряд з цим, хромування відрізняється від інших гальванічних процесів жорсткішими вимогами до режиму роботи ванн. Незначні відхилення від необхідної густини струму, температури електроліту та інших параметрів неминуче призводять до погіршення покриттів та масового браку.

Розсіювальна здатність хромових електролітів невисока, що призводить до поганого покриття внутрішніх поверхонь та поглиблень деталей. Для підвищення рівномірності покриттів застосовують спеціальні підвіски та додаткові екрани [2].

Для промислового застосування знайшли три типи електролітів: розбавлені, універсальні та концентровані. Для отримання декоративних покриттів та для отримання відбивачів використовують концентрований електроліт. При хромуванні застосовують нерозчинні свинцеві аноди, розчини хромового ангідриду з добавкою сульфатної кислоти.

Дотримання режиму електролізу і своєчасне коригування електроліту служать запорукою отримання доброякісного хромового покриття. Низька якість підготовки поверхні перед покриттям і відступи від встановленої технології є основними причинами виникнення наступних дефектів [4].

Відшаровування покриття:

- погана механічна або хімічна підготовка поверхні виробу перед покриттям;
- деталь перед хромуванням недостатньо прогрілася в електроліті. Різко знизилася температура електроліту, наприклад, внаслідок додавання холодної води під час електролізу. Різко збільшилася густина струму;
- перерва струму в процесі хромування.

Відсутність хрому на заглиблених ділянках поверхні виробу недостатня покриваюча здатність електроліту. Необхідно зробити "поштовх струму" перед покриттям.

Велика кількість дрібних точкових поглиблень. Неправильне положення деталі у ванні, що перешкоджає швидкому видаленню бульбашок водню з деяких ділянок поверхні.

Сіре покриття на нижній частині деталі. Мала відстань між нижньою частиною деталі і дном ванни. Нормальна відстань між деталлю і дном ванни повинна становити не менше 70-100 мм.

1.2 Застосування хромових покриттів

Властивості хромових покриттів визначають їх широке коло застосування. Розрізняють дві основні мети хромуванням: декоративний вигляд поверхні і опір механічному зносу.

Завдяки хромуванню не тільки збільшується термін служби деталей, але часто підвищується якість продукції, що випускається. Це спостерігається при хромування валиків паперопрокатних станів, штампів та прес форм для обробки неметалічних матеріалів і гуми. Тут важливе значення мають хімічна стійкість і погана змочуваність хрому, що забезпечує легке відділення від форми і блиск відпресованих деталей.

Хромові покриття застосовують в наступних випадках:

1. Для захисно-декоративних цілей.

Хромове покриття з шаром міді та нікелю добре захищає сталь від корозії, надаючи виробам гарний зовнішній вигляд [3].

Декоративні та захисно-декоративні покриття хромом відрізняються довговічністю. Тому багато виробів, і особливо працюючі в тяжких умовах експлуатації, піддаються декоративному хромуванню: наприклад, деталі автомобілів, літаків, вагонів, приладів, а також інструменти та вироби побутового характеру.

2. Для збільшення відбивної здатності.

Відбивна здатність хромового покриття поступається лише відбивній здатності срібла та алюмінію, проте внаслідок більш високої стійкості проти окиснення відбивна здатність хрому більш стабільна. Хромове покриття тому широко використовується у виробництві дзеркал, відбивачів, прожекторів [3].

Коефіцієнт відбиття світла хромом досягає 70%. Ця величина дещо менше, ніж для срібла, але зате хром не тьмяніє на повітрі. Тому хромування використовується у виробництві різного типу фар та інших світловідбивачів [4]. Поряд з цим, з хромового електроліту можливо осадження чорного хрому, що застосовується для зменшення коефіцієнта відбиття світла.

3. Для збільшення зносостійкості.

Хромування з цією метою використовується в інструментальному виробництві при обробці мірильних інструментів, для волочіння металів. Гарний ефект дає хромування штампів і матриць при виготовленні різних виробів з гуми, пластмас, шкіри, скла. У цьому випадку хромове покриття не тільки забезпечує зносостійкість, але також виключає налипання пресованих матеріалів до поверхні матриць. Хромове покриття значно знижує змочуваність стінок форм розплавленим склом або металом. Значне підвищення зносостійкості тертьових поверхонь стінок циліндрів і поршневих кілець двигунів внутрішнього згоряння досягається при застосуванні процесів пористого хромування [3].

Зносостійкі хромові покриття застосовуються для багатьох інструментів і деталей машин, що працюють на тертя. До хромуванню вдаються при покритті нових деталей, а також при відновленні зношених, що втратили розміри під час роботи на тертя. Велике значення має виправлення деталей, забракованих за розмірами [3]. Застосування зносостійких хромових покриттів для відновлення зношених деталей верстатів і двигунів внутрішнього згоряння дозволяє у багато разів збільшити термін їх служби. Прикладами подібних деталей можуть служити шпинделі верстатів, шийки колінчатих валів, розподільні валики, штовхачі клапанів, поршневі пальці, шийки валиків різних агрегатів та інші деталі.

4. Для відновлення зношених розмірів.

Нарощування шару хрому на зношені поверхні термооброблених валів, втулок дозволяє відновити розміри деталей і цим збільшити термін експлуатації виробів [3].

Для захисту від механічного зносу поверхонь, що труться хромування застосовують в машинобудуванні, авіамоторобудуванні, на транспорті. Хромуванню успішно піддаються циліндри двигунів внутрішнього згорання, поршневі кільця. Опір зносу хромованих циліндрів в порівнянні з не хромованими підвищується в кілька разів. Хромування застосовують для граничних калібрів, термін служби при цьому продовжується в 5 - 10 разів. Попередньо калібри відповідним чином обробляють, причому доведення розміру роблять з урахуванням нарощування хромового шару певної товщини. Після зносу залишки хрому знімають з калібрів і знову наносять рівномірне покриття. В інструментальній справі хромування застосовують для таких інструментів як свердла, мітчики, розгортки.

Хромові покриття знайшли застосування також для захисту виробів від корозії. Хром, осаджений за певних умов електролізу, захищає сталеві вироби від атмосферної корозії і корозії у морській воді [4].

1.3 Види хромових покриттів

Класифікація хромування здійснюється за способом нанесення хрому на деталь.

Найбільш широке застосування на теперішній час отримали електролітичне і дифузійне хромування, трохи менш відомо – хімічне хромування.

Є також менш відомі методи хромування, такі як вакуумне хромування [8].

Термін служби оброблених електрохімічним видом хромування деталей значно збільшується, при цьому вони стають практично невразливими для процесів атмосферної корозії, а також скупчення на них бруду, пилу та інших агресивних відкладень [6].

В залежності від вимог до експлуатаційних характеристик деталей, розрізняють три типи гальванічних покриттів:

захисні - використовують для захисту від корозії деталей в різних агресивних середовищах;

захисно – декоративні – використовують для надання деталям декоративного вигляду з одночасним захистом від корозії;

спеціальні – використовують для надання поверхням деталей спеціальних властивостей (зносостійкості, твердості, електроізоляційних, магнітних властивостей та інших).

Захисно-декоративне хромування використовується в багатьох галузях промисловості (зовнішнє та внутрішнє оздоблення залізничного транспорту та трамваїв):

- блискучі – наносяться на підшар міді чи нікелю і мають товщину 0,25...2 мкм;
- матово-блискучі – використовуються для обробки інструментів;
- чорні і кольорові [5].

Покриття бувають багатошарові та одношарові.

Одношарові – метал осаджується з добрим щепленням з металом основи. Захищає метал основи від механічної та електрохімічної корозії, навіть за наявності пор.

Багатошарові – мають декілька шарів металу, що різняться за складом, структурою та властивостями. Для одержання практично безпористих покриттів, використовують покриття в декілька шарів металу. Звісно у такого покриття пори кожного шару не збігаються, але завдяки багатошаровості перекриваються.

Прикладом може бути покриття мідь-нікель-хром, що має невелику пористість та корозійну стійкість.

Корозійностійкі покриття хромом одно- та багатошарові:

- молочні покриття наносять для підвищення стійкості деталей. Вони мають мінімальну пористість;
- комбіновані – для захисту виробу від корозії та захисту від зносу;
- безпористі – використовуються як для підвищення зносостійкості, так і для відновлення деталей. Товщина даного покриття складає 3...20 мкм;
- пористі мають високі антифрикційні властивості і зносостійкість. Товщина пористого хрому на деталях складає 0,1...0,3 мкм [5].

Покриття, що утворюються у наслідок гальванічного хромування, можуть розрізнятися за видом та характеристикою:

1. «Твердий хром» завтовшки 10-300 мкм. Призначення твердого хрому - підвищення твердості та зносостійкості виробу, а також - утримання мастильних матеріалів. Фізично твердий хром може бути менш твердим та зносостійким, ніж декоративне покриття. Сьогодні багато виробників, що пропонують твердий хром в якості декоративного, хоча таке покриття зазвичай програє як у захисних (при малій товщині покриття), так і декоративних властивостях [7].

2. «Молочний хром» — не дуже тверде покриття, що володіє безпористою, еластичною поверхнею. Виходить при впливі електричного струму густиною 15-25 А/дм² на електроліт при температурі від 65 до 80⁰С [8].

Цим методом хромування деталей не вдається отримувати на покриттях високих значень твердості. Шар утвореного хрому, який потім наноситься на поверхню виробу, схожий на дуже еластичну масу, в такій структурі практично відсутні пори [7].

3. «Блискучий хром» утворюється при середніх значеннях температури і густині струму, рекомендовані діапазони – 45-65⁰С: для першого параметра і 30-100 А/дм² для другого.

Хромове покриття має високу зносостійкість, жаростійкість, низький коефіцієнт тертя, погану змочуваність, низьку пластичність. Технологія електролітичного нанесення хрому на деталі вимагає врахування особливостей електроосадження хрому та застосування певних режимів електролізу для продуктивної роботи з отриманням покриттів із певними характеристиками [9].

4. «Чорне хромування», яке надає виробам незамінних властивостей термостійкості, тепловіддачі, та зносостійкості. А хромування штоків в автомобільній промисловості взагалі неможливо чимось замінити [6].

Чорне хромове покриття, отримане у ванні спеціального складу, відрізняється великим світлопоглинанням у поєднанні з гладкістю і

використовується там, де необхідна відсутність відблисків (оптичні прилади, автомобільні деталі у полі зору водія тощо).

5. «Матовий (сірий) хром»

Осадження на катоді сірого матового осаду здійснюється при низьких температурах електролізу (35°C і нижче), які внаслідок поганих фізико-хімічних властивостей не використовуються на практиці. Покриття, отримані при цих режимах електролізу в сульфатних ваннах, мають високу крихкість та слабе зчеплення [10].

Вибір технології хромування деталей повинен базуватися на специфіці їх конструкцій і вимог експлуатації.

Найбільшу корозійну стійкість має «молочний хром». Якщо порівнювати із блискучим покриттям видно, що молочне покриття має такі переваги, як менше тріщин та є менш пористим.

Захисні властивості хромових покриттів залежать від пористості та товщини нанесеного покриття. Якщо збільшити товщину покриття «молочного хрому» то пористість зменшується, тоді як у «блискучого хрому» збільшується. Проте захисні властивості молочних осадів хрому знижується, якщо на деталь одночасно діє корозійне середовище та знакозмінне навантаження.

Деталі зі сталі, що підлягають одночасній взаємодії механічного зносу й корозійного середовища, рекомендується покривати молочним хромом.

Сталі з високим вмістом вольфраму й кобальту, а також високовуглецеві та висококремнієві чавуни не можна покривати хромом [10].

Зносостійкість хромового покриття характеризується терміном служби його при роботі. Властивості електроосащеного хрому це висока твердість, низький коефіцієнт тертя, жаростійкість, корозійна стійкість. Залежності між твердістю і зносостійкістю хрому не існує. Зносостійкість хромового покриття залежить від умов роботи, змащування й експлуатації. При правильно поставлених умовах та експлуатації хромового покриття зносостійкість деталі в результаті хромування збільшується, приблизно, в 5 – 10 разів.

Зносостійке покриття отримало три основних напрямки: підвищення зносостійкості нових деталей, відновлення розмірів зношених деталей та виправлення деталей, розміри яких занижені при механічній обробці [10].

При зміні режиму електролізу, отримують різні види покриття (молочне, матове, блискуче та ін.). Для декоративного покриття осаджених хром повинен бути блискучим, оскільки електроосаджений хром важко піддається поліруванню.

Все ширше застосовують електроліти на основі сполук хрому (+3), ніж електроліти на основі сполук хрому (+6), оскільки вони менш отруйні. Мають удвічі більший електрохімічний еквівалент.

Особливістю таких електролітів є наявність у них лігандів для запобігання утворенню гідроксисполук. Із таких електролітів можна одержати якісні блискучі хромові покриття товщиною до 5 мкм [11].

Існують різні класифікації корозійностійких (нержавіючих) сталей та сплавів. В залежності від хімічного складу сталі та сплавів поділяють на класи по основному складовому елементу: хромисті, хромонікелеві, хромомарганцеві, хромонікельмолібденові та ін. Найбільш розповсюджений розподіл по структурним ознакам. У залежності від структури сталі ділять на класи: феритний, мартенситний, аустенітний, ферито-мартенситний, аустеніто-мартенситний, аустеніто-феритний. В окремий клас, як правило, виділяють корозійностійкі сплави на основі нікелю (нікель-хром, нікель-молібден)[12, 13].

Феритоутворюючими елементами є кремній, алюміній, молібден, вольфрам, ніобій, титан, ванадій; аустенітоутворюючими елементами — нікель, марганець, кобальт, мідь.

При одночасному введенні феритоутворюючих та аустенітоутворюючих елементів, у деталі можуть спостерігатись різні структурні та фазові співвідношення.

Висновок до розділу. У розділі опрацьовано характеристики та види хромових покриттів. Розглянуто недоліки та переваги різних видів хромових покриттів та режими їх експлуатації. Визначено області застосування готових виробів після хромування.

Розділ 2. ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПОКРИТТЯ

2.1 Об'єктом дослідження є процес нанесення матового хромового покриття на сталеві деталі з метою надання їм захисних властивостей.

Вихідні дані для технологічних розрахунків:

- задана продуктивність обладнання: 24500 м²/рік;
- товщина гальванічного покриття: 3 мкм;

Характеристика деталей

- габаритні розміри: 0,15x0,7x0,002 м;
- площа вкриваємої поверхні деталі: 0,0229 м²;

Характеристика розчину електроліту [14].

- | | |
|--|---------------|
| - хромовий ангідрид CrO ₃ | 350-400 г/л |
| - кислота сульфатна H ₂ SO ₄ | 2.5 - 3.0 г/л |
| - NaOH | 40-60 г/л |

Режим роботи:

- | | |
|-----------------------------|-------------------------|
| - Температура процесу | 15-24°C |
| - Катодна густина струму | 10-60 А/дм ² |
| - Катодний вихід за струмом | 9% |

Режим проведення електролізу.

- Напруга на клеммах ванни: 12 В.
- Основні та побічні катодні і анодні електродні реакції:



Температура проведення процесу: 15-24°C.

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

$$1. \Delta H_1 = \Delta H_{CrO_3} + \Delta H - \Delta H_{Cr} - 1,5\Delta H_{O_2} = -569,0 - 10,3 - 0 - 0 = -579,3 \text{ кДж / моль ,}$$

де ΔH - зміна ентальпії при розчиненні CrO₃.

$$2. \Delta H_2 = 0, \text{ так як реакція не призводить до зміни складу системи.}$$

$$3. \Delta H_3 = \Delta H_{H_2O} - \Delta H_{H_2} - 0,5\Delta H_{O_2} = -268,0 - 0 - 0 = -268,0 \text{ кДж / моль}$$

2.2 Методи дослідження якості покриття. Контроль якості гальванічного покриття.

Після гальванічної обробки всі деталі обов'язково проходять контроль якості покриття. Контролюють наступні показники: зовнішній вигляд, товщину, поруватість, міцність зчеплення із основним металом, корозійну стійкість покриття.

2.2.1 Контроль зовнішнього вигляду.

При контролюванні зовнішнього вигляду покриттів особливу увагу приділяють кольору, відсутності чорних точок, повітряних пухирців й інших помітних дефектів. Контроль зовнішнього вигляду проходять всі вироби.

2.2.2 Контроль товщини покриття.

Товщину покриття контролюють на усіх деталях. Тому для виміру товщини необхідно користуватись методами, що не руйнують саме покриття. Одним із таких методів є індукційний магнітний метод [14, 15].

Цим методом вимірюють магнітний потік, який проходить у сердечнику електромагніту. Магнітний потік, як й сила притягання магніту, є функцією товщини покриття. При контролюванні товщини немагнітного покриття на сталевих деталях використовують інші прилади, принцип дії яких заснований на зміні магнітного потоку у ланцюзі.

До індукційних відноситься прилад ТПО, за допомогою якого можна вести автоматизований контроль товщини покриття на маленьких деталях в умовах масового виробництва. Прилад ТПО використовують для вимірювання товщини немагнітних та слабomagнітних (нікелевих) покриттів та на деталях із феромагнітних матеріалів.

Прилади цього типу: МИЛ-10, НТ-10Н, МТ-3ОН, МТ-3Ш, МТ-40НУ, а також вимірювач товщини по сталі ТС-1. Ці прилади дозволяють вимірювати товщину покриття на складних по формі деталях. Вплив магнітних

властивостей, форми та розмірів деталей на показники приладів компенсують встановленням нуля приладу на деталі без покриття.

2.2.3 Контроль поруватості.

Найбільш простим методом оцінювання поруватості хромового покриття є візуальний метод, що ґрунтується на дослідженні хромованої поверхні за допомогою лупи та/або мікроскопа, та порівнянні її з еталонними зразками.

2.2.4 Контроль міцності зчеплення.

При умові присутності у цеху шліфувально-полірувального обладнання, контроль міцності зчеплення з поверхнею основи доцільно проводити методом полірування [16].

Метод полірування. Поверхню деталі з покриттям полірують не менше 15 секунд. Для полірування використовують круги з бязі, пасти та ін. Швидкість полірування складає 20-30 м/с. Після полірування на контрольованій поверхні не має бути здуття та відшарування покриття. Контроль проводиться вибірково на 10% виробів. Контроль корозійної стійкості для товстих хромових покриттів можна не проводити [16, 17].

Висновки до розділу.

У розділі визначений об'єкт дослідження, яким є нанесення матового хромового покриття на сталеві деталі з метою надання їм захисних властивостей та методи дослідження якості утворених покриттів.

Розділ 3. ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ

3.1 Призначення цеху металопокриттів.

Гальванічний цех призначений для розміщення гальванічних ліній та устаткування, за допомогою якого наносять захисні й захисно-декоративні покриття електрохімічними та хімічними способами.

Гальванічний спосіб забезпечує покриття деталей металами або сплавами з мінімальними втратами металу. Також цей спосіб відрізняється простотою регулювання товщини покриття, його пористості, адгезії з поверхнею деталі.

3.2 Загальні вимоги до покриттів.

До покриттів у процесі виробництва висуваються вимоги до зовнішнього вигляду і, за необхідності, до спеціальних властивостей. Крім цього, для металевих покриттів встановлені вимоги до товщини, поруватості та міцності зчеплення а, у випадку покриття сплавами, і до хімічного складу; а для неметалевих неорганічних покриттів - вимоги ще до захисних властивостей і, за необхідності, до товщини. За зовнішнім виглядом утворені покриття повинні відповідати зазначеним нижче вимогам [14-17].

Поверхня полірованих покритті повинна бути від блискучої до дзеркальної із рівномірним блиском за винятком отворів та пазів, внутрішніх поверхонь й ввігнутих ділянок деталей складної конфігурації. За товщиною, хімічним складом, захисними властивостями та поруватістю покриття повинні відповідати зазначеним нижче вимогам. Покриття повинно бути міцно зчеплене з основним металом, без злущування, зколів, пухирів, розтріскування та витримувати випробування на міцність відповідно до Держстандарту 9.302-79. Колір захисно-декоративною покриття без полірування повинен бути сріблясто-сірий. Колір полірованого покриття сріблястий із блакитнуватим відтінком. Колір зносостійкого покриття світло-сірий із синюватим або молочно-матовим відтінком. Колір утвореного покриття з хромових електродів, від молочного до сірого, допускаються кольори мінливості. Колір хромового покриття - від світло-зеленого до жовто-зеленого, на деталях з багатокомпонентних та ливарних алюмінієвих сплавів від сірого до темно-

сірого. Колір фарбованого покриття повинен відповідати кольору барвника. Відтінок у цьому випадку не нормується.

3.3 Вибір електроліту хромування.

В проєкті розглядається можливість використання наступних електролітів:

Електроліт № 1.

- хромовий ангідрид CrO_3	200-250 г/л
- кислота сульфатна H_2SO_4	2-2,5 г/л
- оксид тривалентного хрому Cr^3	4-6 г/л
- Температура процесу	55-60°C
- Катодна густина струму	25-60А/дм ²
- Катодний вихід за струмом	15%

Електроліт № 2.

- хромовий ангідрид CrO_3	200 г/л
- кислота сульфатна H_2SO_4	2,25 – 2,5 г/л
- Температура процесу	45-55°C
- Катодна густина струму	55-60А/дм ²
- Катодний вихід за струмом	13%

Електроліт № 3.

- хромовий ангідрид CrO_3	350-400 г/л
- кислота сульфатна H_2SO_4	2,5 – 3,0 г/л
- NaOH	40-60 г/л
- Температура процесу	15-24°C
- Катодна густина струму	10-60А/дм ²
- Катодний вихід за струмом	9%

Електроліт № 4.

- хромовий ангідрид CrO_3	270-350г/л
- Добавка ДХТІ-10	8-10 г/л
-Температура процесу	5-80°C
- Катодна густина струму	10-60А/дм ²

З метою розробки технологічного процесу енергозберігаючого матового хромування, обираємо електроліт, який працює при кімнатній температурі. Це електроліт (№3) ГОСТ.9-305.84.

3.4. Аноди.

Для хромування використовують нерозчинні аноди, зі сплаву свинцю з оловом або сурмою. Чистий свинець є менш придатним. У гальванічному виробництві застосовують переважно сплав PbSb, що містить 7% Sb.

Форма аноду впливає на його роботу у гальванічній ванні. Кращими є аноди круглої або овальної форми, які необхідно відливати самостійно. При необхідності застосовують плоскі аноди шириною ~ 50 мм та товщиною 10-15 мм. Тонкі та широкі аноди із технічної точки зору не вигідні, оскільки на їх задніх поверхнях важко отримати анодний струм, який необхідний для підтримки анода у активному стані [16-17].

Закріплення аноду на штанзі має важливе значення. Часто класичний спосіб, що полягає у загині анода й навішуванні на штанзі не забезпечує гарного проходження струму. До аноду слід міцно припаяти гак із мідної смуги шириною ~ 30 мм та товщиною 6-8 мм з різьбою під гвинт для притискування його до плоскої струмової штанги.

Нові аноди слід навішувати таким чином. На катодну штангу навішують сталеві смуги, включають струм та дають напругу до 5В, а на анодних штангах розміщують аноди один за іншим, збільшуючи поступово напругу до 8 В. У таких умовах проводять електроліз протягом однієї години, що є достатньо для утворення шару діоксиду свинцю чорно-бронзового кольору, що є характерним для анодів, які працюють нормально.

Якщо на анодах спостерігається утворення жовтого нальоту, то його слід усунути, спочатку пом'якшуючи у 25 %-ому розчині кухонної солі, протягом ночі, а потім знімати шлам сталевими щітками. При сухому очищенні анодів утворюється дуже шкідливий для людського організму пил.

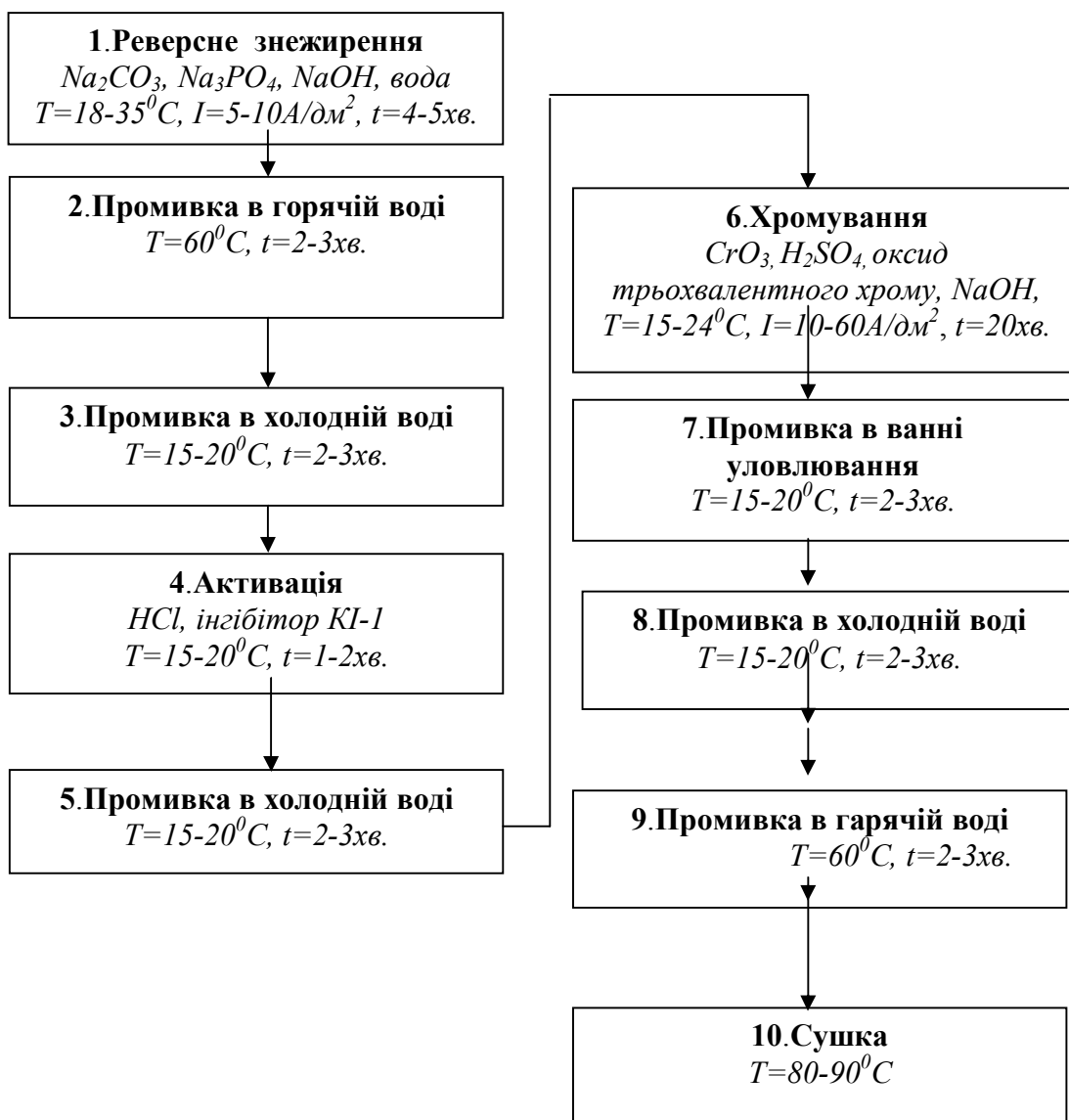
У разі тривалої перерви у роботі, наприклад, після відпочинку, аноди слід вийняти із ванни, промити та протерти волосяний щіткою, висушити і сушити

на повітрі. Під час більш коротких простоїв у роботі, наприклад, протягом ночі, вилучення анодів не проводиться, їх залишають у ванні, а перед початком хромування активують, тобто працюють ~ 30 хв. при напрузі 8В після навішування на катодній штанзі сталевих листів або прутків [18].

Допоміжні аноди виготовляють із легко пластичного тонкого свинцевого листа або свинцевого дроту. Очищені аноди, як і нові, обробляють струмом під великою напругою.

3.5. Технологія нанесення хромового покриття.

СХЕМА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ



3.6 Механічна обробка поверхні.

Деталі, що надходять в гальванічний цех для нанесення покриттів, майже завжди мають дефекти поверхні у вигляді рисок, подряпин, задирок і ін. Ці

дефекти псують зовнішній вигляд виробів та знижують корозійну стійкість покриттів. Для видалення поверхневих дефектів та отримання гладкої, рівної поверхні перед нанесенням покриттів вироби піддають шліфуванню та поліруванню. З цією метою застосовують шліфовочні верстати, зпилювання шліфувальними та/або полірувальними колами та шліфувальними стрічками.

3.6.1 Шліфування.

В залежності від вигляду поверхні шліфування поділяється на кілька операцій, для яких застосовують круги із різними за величиною шліфувальними зернами. Розмір зерна поступово зменшується від першої операції аж до останньої (від 12 до 4 за ДСТУ 3647-80). Наждакові порошки приклеюються на круги столярним клеєм та/або рідким склом.

3.6.2 Полірування.

Полірування застосовують для обробки матеріалів для отримання дзеркального блиску поверхні. Полірована поверхня виробу має глибину нерівностей менше довжини хвилі видимого світла.

Полірування є фінальним кроком при виготовленні будь-якого виробу з металу, каменю, іноді з скла. Блискучі і гладкі поверхні отримують в результаті контакту з м'яким матеріалом, таким як повсть, шкіра.

Пояснення механізму полірування можна звести до наступних напрямків:

- 1) механічне полірування - механізм процесу пояснюється зняттям мікронерівностей із поверхневого шару, а хід процесу - механічними властивостями матеріалу, такими як твердість та пластичність;
- 2) фізичне полірування - основними причинами процесу полірування вважають температуру плавлення та теплопровідність полірованого матеріалу;
- 3) хімічне полірування - процес полірування ґрунтується в основному зніманням оксидних плівок, які постійно утворюються під дією навколишнього середовища [15]. Ґрунтуючись на практичних спостереженнях, можна зробити висновки, що процес полірування являє собою цілий комплекс механічних, фізичних, електричних та хімічних явищ, які тісно взаємозалежні та роздільно

змінюються у більшу або меншу сторону в залежності від виду полірованого матеріалу, інструменту, режимів обробки та зовнішнього середовища.

3.7 Описання технологічного процесу.

Вхідний контроль

Вхідному контролю піддаються всі деталі, які поступають на хромування, відповідно до вимог якості поверхні деталей перед нанесенням покриття згідно ДСТУ 3002-70.

Шорсткість поверхні деталей для нанесення покриття, повинна бути не нижчою 4 за ДСТУ 2789-59. Вказана вимога до шорсткості не розповсюджується на важкодоступні для обробки поверхні деталей, на деталі з проволоки, на різьбові поверхні та поверхні зрізу штампованих виробів з товщиною матеріалу до 4 мм.

Неоднорідність прокату, окалина, раковини, тріщини, розсолення, які виявилися після травлення є основою для забракування деталі, якщо при контрольній зачистці ці дефекти виводять деталі за рамки відхилень.

На виробках, які отримані газовою або електродуговою зваркою у стик, радіусні і подібні шви зварних з'єднань повинні бути безперервні.

Зварні та паяні шви повинні бути зачищені й не мати дефектів.

Правила прийому деталей за ДСТУ 3002-70.

Перед нанесенням покриття 2-5% партії, але не менше 3 деталей, контролюють на відповідність вимогам до якості поверхні деталей перед нанесенням покриття. При одержанні незадовільних результатів проводять повторний контроль на вдвічі більшій кількості деталей. При отриманні повторних незадовільних результатів повторного контролю, хоча б на одному виробі, вся партія повертається на видалення дефектів. Поверхня всіх деталей, які поступають на хромування, після механічної обробки повинна бути без шару змазки та емульсії, металічної стружки, заусенців, пил та продуктів корозії.

Монтаж деталей на підвіски

Підвіски повинні бути залізними. Контактуючі поверхні повинні бути очищені від забруднень. Під час монтажу деталей на підвіску потрібно остерігатися утворення повітряно-газових мішків при завантаженні у ванну. Не контактуючі ділянки пристроїв потрібно ізолювати липкою поліхлорвініловою ізоляційною стрічкою. Контактний гачкотримач підвіски виготовляють з латуні або міді. Неприпустимо використання підвісок, виконаних з нержавіючих сталей.

Реверсне знежирення

Процес з початку відбувається на катоді, а потім на аноді. Так і чергуються обидва процеси, що проходять то на катоді, то на аноді.

Промивка у гарячій воді

Для видалення із поверхні деталей продуктів реакції та розчинів, які залишились на після знежирення, їх промивають в гарячій воді. Необхідно промити деталі проточною водопровідною водою температурою 60-90°C.

Промивка в холодній воді

Промивка проводиться з метою більш повного видалення з деталей продуктів реакції та розчинів від попередніх операцій обробки. Промивка виконується в холодній проточній воді.

Активація

Операція активації (декапування) проводиться перед завантаженням деталей у гальванічну ванну з метою видалення оксидних плівок, що виникають на поверхні металу у результаті навіть короткочасного зберігання. Активація проводиться перед завантаженням деталей у гальванічну ванну.

При активації сталевих деталей необхідно слідкувати за тим, щоби на їх поверхні не залишався шлам.

Хромування

Електроліт наступного складу:

- хромовий ангідрид CrO_3	350-400 г/л
- кислота сульфатна H_2SO_4	2.5 - 3.0 г/л
- NaOH	40-60 г/л

Режим роботи:

- | | |
|-----------------------------|-------------------------|
| - Температура процесу | 15-24°C |
| - Катодна густина струму | 10-60 А/дм ² |
| - Катодний вихід за струмом | 9% |

Сушка

Сушку виконують в сушильні шафі. Для цього деталі з сітчастих кошиків висипаються на піддон сушильної шафи. Припускається сушити деталі на повітрі. Температура сушки 80-90°C. Потім проводять термообробку деталей в сушильні шафі за температури 180-200°C протягом 2-8 годин.

Контроль якості і товщини хромового покриття

Після нанесення покриття всі деталі піддаються контролю для визначення товщини покриття, також проводиться огляд зовнішнього вигляду покриття. Якщо покриття неякісне його видаляють і наносять заново.

3.8 Видалення неякісного покриття.

Видалення неякісного хромового покриття здійснюють хімічним або електрохімічним способом.

Хімічний метод полягає в розчиненні покриття у 5-20%-ному розчині НС1 при температурі від 20 до 70°C.

При видалення хрому зі сталі необхідно вводити в НС1 інгібітори, тому що можливо розтравлювання та наводнювання сталі. Швидкість розчинення хрому у розчині НС1 в залежності від її концентрації та температури коливається в межах 100-200 мкм/год.

Після видалення хрому із сталевих деталей необхідно проводити зневоднювання протягом 2-2,5 год при температурі 200-250⁰С.

Електрохімічний спосіб є більш безпечним у порівнянні з хімічним. Він є особливо ефективним при знятті товстих хромових покриттів з сталевих деталей. Розчин для зняття покриттів містить 100-150 г/л NaOH або КОН. Обробку проводять на аноді, використовуючи як катоди сталеві пластини.

Температура складає 20-35°C, анодна густина струму 5-20 А/дм². Небезпечною є присутність у розчині хлоридів, здатних викликати

розтравлювання та потемніння сталі. Зняття хрому з сталевих деталей може бути зроблено при анодній густині струму 15-20 А/дм² у відпрацьованому електроліті хромування.

3.9. Автооператори: їх призначення і загальне описання.

Автооператорні лінії найбільше розповсюдження отримали у всіх областях промисловості завдяки їх широким функціональним властивостям. У лініях цього типу можна здійснювати:

- різні технологічні процеси (електрохімічні, хімічні);
- як самостійні процеси, так і декілька процесів одночасно або по чергово;
- нанесення покриттів з річною виробничою програмою від 1 до 200 м²/год;

- обробку деталей як дрібних так і великих розмірів;
- обробку деталей на підвісках, у барабанах, корзинах та/або комбіновано;

Особливостями автооператорних ліній є:

- рух виробів в процесі обробки в прямому і в зворотному напрямках;
- розміщення ванн та інших позицій не в послідовності виконання технологічних операцій;
- можливість проводити декілька однойменних операцій на одній технологічній позиції;
- наявність незалежних транспортуючих частин з індивідуальними приводами переміщення і підйому – опускання;
- відсутність одночасного переносу оброблюваних деталей; відсутність жорсткого зв'язку між елементами транспортуючого органу і пристроїв для розміщення оброблюваних деталей;
- наявність пристрою програмного керування [14-17].

Автооператорна лінія у загальному вигляді містить: ванни, автооператори, сушильну камеру, завантажувально-розвантажувальні стійки, систему вентиляції, металоконструкцію, систему трубопроводів, місце обслуговування, командний апарат, допоміжне устаткування (ємності для приготування

розчинів електrolітів, запасні ємності, фільтрувальні установки, насоси, теплообмінники).

У автооператорних лініях перенесення виробів і тривалість їх перебування на кожній позиції задаються технологічним регламентом, але переміщення самого автооператора не співпадає із послідовністю технологічних операцій та носить човниковий характер. Як приклад, автооператор може перенести одну партію виробів із позиції завантаження на позицію хімічного знежирення, потім вивантажити другу партію виробів з ванни покриття у ванну промивки, після чого знову повернутися до першої партії виробів та перенести їх на позицію електрохімічного знежирення і т. д.

За необхідності в лінії може бути декілька автооператорів. Вони можуть бути розміщені над ваннами або збоку ванн.

В багатьох електрохімічних виробництвах потрібно суміщати завантажувально-розвантажувальні операції, тому в більшості автооператорних лініях є тільки одна позиція завантаження–розвантаження на початку лінії. В деяких випадках, особливо коли лінію вбудовують у технологічний потік виготовлення деталей, позиції завантаження і вивантаження розміщують на протилежних кінцях лінії [18].

Розрізняють лінії із підвісними автооператорами, порталними та консольними.

Підвісні автооператори переміщуються по направляючим рейкам над ваннами. В цьому виді ліній доступ до ванн відкритий з двох сторін, що дуже зручно при їх експлуатації, близькість центру маси автооператора та переносного до опорних вантажу поверхонь рельсових шляхів забезпечує стійкість як самого автооператора так і вантажу в процесі цього транспортування.

Кріплення направляючих рейок виконують до спеціальних вертикальних стійок або елементів покриття цеху. Найбільше перевагу віддають лініям з кріпленням направляючих рейок до перекриття цеху. Вони придатні для обслуговування ванн практично будь якої довжини і висоти. В порівнянні з

іншими видами ліній займана ними площа менше на 20-30%, а металоємкість – на 10-15%. У тих випадках, коли кріплення направляючих рейок до перекриття цеху пов'язані з деякими складностями, їх монтують на вертикальних стійках, що встановлені на фундаменті або на загальній рамі лінії. Такі лінії зазвичай використовують коли маса вантажу не більше за 2000 кг.

Портальні автооператори застосовують в лініях, які розміщені у низьких виробничих приміщеннях, та в лініях з великими розмірами ванн й вагою транспортуючого вантажу більше 2000 кг. Кріплення рейок для переміщення автооператорів в цих лініях може здійснюватися до стійок металоконструкцій або кронштейнів, які монтуються безпосередньо до корпусу ванн.

Лінії із портальним автооператором мають цілу низку недоліків, які роблять коло їх використання вужчим. Головними серед них є :

1. Важкість обслуговування ванн;
2. Необхідність часткового чи повного демонтажу рельсових шляхів при ремонті ванни;
3. Додаткові ускладнення конструкції лінії через введення пристроїв, які забезпечують безпеку обслуговуючого персоналу;
4. Більш швидке корозійне руйнування автооператорів внаслідок їх близькості до дзеркала електrolітів;
5. Ускладнення конструкції приводів горизонтального переміщення автооператорів.

Лінії із консольними автооператорами займають проміжне місце між лініями з підкісними автооператорами та портальними автооператорами. Споживачам дуже подобається їх компактність, особливо при малих розмірах ванн та невеликій грузопід'ємності автооператора. В лініях такого типу автооператори переміщуються по направляючих рейках, встановлених на металоконструкціях по боках ванни, а вантажозахватний орган автооператорів виконаний у вигляді консолі, яка походить над поверхнею ванн [18] .

Недолік лінії - вільне обслуговування ванн тільки з однієї сторони, нечітка стабілізація вантажу при переміщені. Вага вантажу, яка перевозиться на лінії не повинна перевищувати 200 кг, а ширина ванни - 1600 мм.

Широкі функціональні можливості автооператорів (рух в прямому та зворотному напрямках, передача вантажу в перпендикулярному напрямку, переміщення по радіусу та ін.) створили передумови для великої різноманітності компоновок автооператорних ліній. Найбільше розповсюдження отримали компоновки: однорядна прямолінійна, дворядна овальна й дворядна прямолінійна.

Однорядна прямолінійна відрізняється від інших компоновок економічністю та площею. Завантаження та вивантаження деталей можна проводити із протилежних кінців. В останньому випадку підвісні гачки від позиції завантаження вертаються до місця вивантаження або автооператорами або за допомогою конвеєрних пристроїв. Лінії з однорядною компоновкою дуже зручні при монтажу. Ця компоновка дозволяє використовувати будь який тип автооператорів - підвісний, порталний або консольний. Ускладнення при використанні таких компоновок викликають деякі технологічні процеси із великою кількістю операцій та великим часом експозиції, що потребує значних виробничих площ великої протяжності. Лінії з однорядною компоновкою досить добре вписуються у загальний технологічний потік обробки деталей.

Недостатня довжина робочих приміщень потребує використання дворядкової компоновки ванн. Дворядна овальна компоновка допускає застосування тільки підвісних і консольних автооператорів, а дворядна прямолінійна - автооператорів всіх типів. При дворядній компоновці вантаж передається з ряду на ряд або автооператором, або за допомогою возиків, які переміщуються на кінці лінії впоперек її осі та у випадках застосування автооператора порталного або підвісного двохрельсового. З метою економії виробничих площ інколи у зоні переміщення возиків розміщують ванну, а возик переміщується тільки вздовж цієї ванни. У цьому випадку переміщення

вантажів із ряду на ряд накопичується з часом, з якою небудь технологічною операцією [15-17].

Інші компоновки лінії не часто використовують в виробництві.

Трирядна прямолінійна компоновка інколи зустрічається у багато процесних лініях нанесення багатошарових покриттів. У таких лініях рухомі возики встановлюються із двох кінців лінії.

Вибір найбільш раціональної компоновки лінії визначається певними умовами, головною з яких є розмір виробничого цеху, який відводиться під лінію та напрямлення потоку обробки деталей. Фінальний вибір лінії проводиться після визначення завантаження деталей однієї ванни.

Автооператори призначені для переміщення деталей по технологічним позиціям автоматичних та механізованих ліній для хімічної й електрохімічної обробки поверхні основного металу для отримання металічних, не металічних покриттів.

Крім основного призначення - піднімання, опускання та переносу вантажу-автооператори можуть виконувати:

- багаторазове занурення оброблюваних деталей;
- передачу струму до приводів барабанних електролізерів з метою їх перетворення під час підйому та вистою над технологічними позиціями;
- зміну міжкатодної відстані при переносі одночасно двох катодних рам;
- видалення та транспортування анодів для чистки.

3.9.1 Вибір автооператорної лінії.

Даний проєкт передбачає використання автооператорної лінії хромування АГ-42 яка містить ванни: електрохімічної та хімічної обробки, сушильні шафи, промивні ванни, завантажувально-розвантажувальні стійки систем вентиляції, трубопроводів, металоконструкції, командооператор та інші системи управління рухом, допоміжне обладнання та джерела постійного струму. Лінія пропонується однорядна прямолінійна. Саме така компоновка відрізняється більш раціональним використання площі, що дозволяє виконання завантаження

- вивантаження, як з одного кінця лінії так з другого, з можливістю використання будь-якого типу автооператорів.

Лінія АГ-42 має наступні параметри:

- виробнича програма – 36-40 м²/год.;
- завантаження деталей на підвіску 3-3,5 м².

3.10 Визначення фондів робочого часу обладнання.

Час роботи технологічного обладнання, яке проєктується, визначається режимом роботи самого підприємства, технологічною схемою процесу й особливостями технологічного обладнання.

Номінальний річний фонд часу роботи обладнання T_n при переривчастому виробництві розраховуємо із кількості календарних днів у році (365) за вирахуванням вихідних (104) і святкових (10) днів, що при п'ятиденному робочому тижні тривалістю 40 год і двозмінній роботі за вирахуванням 9 год у передсвяткові дні складає приблизно

$$T_n = ((365 - 104 - 10) \cdot 40 / 5) \cdot 2 - 18 = 3998 \text{ год.}$$

Дійсний річний фонд часу роботи обладнання T_d (год.) визначаємо, виходячи із T_n з урахуванням загальних річних витрат часу на простої обладнання ($K_{пр.}$), які складають 5 %, тобто:

$$T_d = T_n - K_{пр.} \cdot T_n.$$

$$T_d = 3998 - 0,05 \cdot 3998 = 3798,1 \text{ год}$$

3.10.1 Визначення виробничої програми обладнання.

Для визначення річної виробничої програми P_p , річне виробниче завдання P_z необхідно збільшити на величину виправного браку виробів, який складає 3 % від P_z :

$$P_p = P_z + K_{бр.} \cdot P_z.$$

$$P_p = 24500 + 0,03 \cdot 24500 = 25235 \text{ м}^2$$

Добова виробнича програма $P_{доб.}$ складає:

$$P_{\text{доб}} = \frac{P_p}{T_{\text{доб}}},$$

де $T_{\text{доб}}$ – кількість робочих днів у календарному році.

$$P_{\text{доб}} = \frac{25235}{251} = 100,5 \text{ м}^2/\text{доб}$$

Годинна виробнича програма $P_{\text{г}}$ визначається як

$$P_{\text{г}} = \frac{P_p}{T_{\text{д}}}.$$

$$P_{\text{г}} = \frac{25235}{3798,1} = 6,64 \text{ м}^2/\text{год}.$$

3.10.2 Вибір обладнання для нанесення гальванічного покриття, розрахунок його кількості і габаритних розмірів.

Вид обладнання обираємо, виходячи із розмірів оброблюваних деталей та особливостей технологічного процесу.

Час обробки однієї завантажувальної одиниці τ складається із двох величин:

$$\tau = \tau_m + \tau_{\text{об}},$$

де τ_m - технологічний час (час обробки деталей у ванні) за формулою:

$$\tau_m = \frac{\delta_n \cdot d_m \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{B_c \cdot K_e \cdot i_k}, \text{ хв}$$

де δ_n – товщина покриття, 3 мкм; d_m – густина металу покриття, 7,14г/см³; B_c – катодний вихід за струмом (доля одиниці) 0,09; K_e – електрохімічний еквівалент, 0,323 г/А·год; i_k – середня катодна густина струму, 35 А/дм².

$$\tau_m = \frac{3 \cdot 7,14 \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{35 \cdot 0,323 \cdot 0,09} = 13 \text{ хв}.$$

Величину $\tau_{\text{об}}$ - часу обслуговування для завантаження деталей у ванну та їх вивантаження, для розрахунків приймають 3 хвилини.

$$\tau = 13 + 7 = 20 \text{ хв}.$$

Витрати часу на початковий запуск обладнання, фінального вивантаження ванни й на допоміжні операції враховуються за допомогою коефіцієнта $K_{об}$.

Приймаємо $K_{об}=1,05$

На основі річної виробничої програми P_p визначаємо сумарний час обробки всіх завантажень, год.:

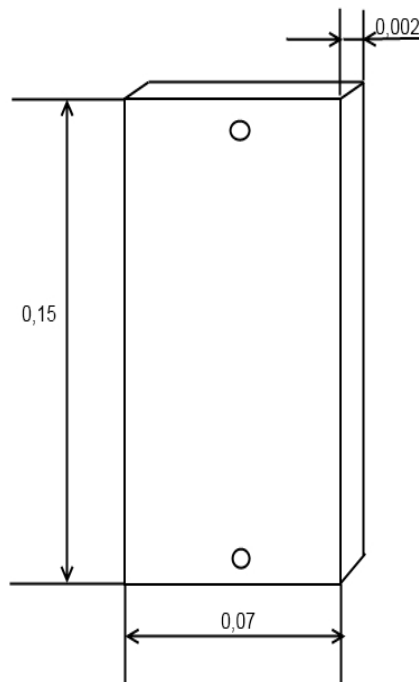
$$\tau_c = P_p \cdot \tau \cdot K_{обл} / 60$$

$$\tau_c = 25235 \cdot 20 \cdot 1,05 / 60 = 8832,25 \text{ год}$$

та враховуємо одночасне завантаження у ванні, m^2 :

$$Y_c = \tau_c / T_d$$

$$Y_c = 8832,25 / 3798,1 = 2,33 \text{ м}^2$$



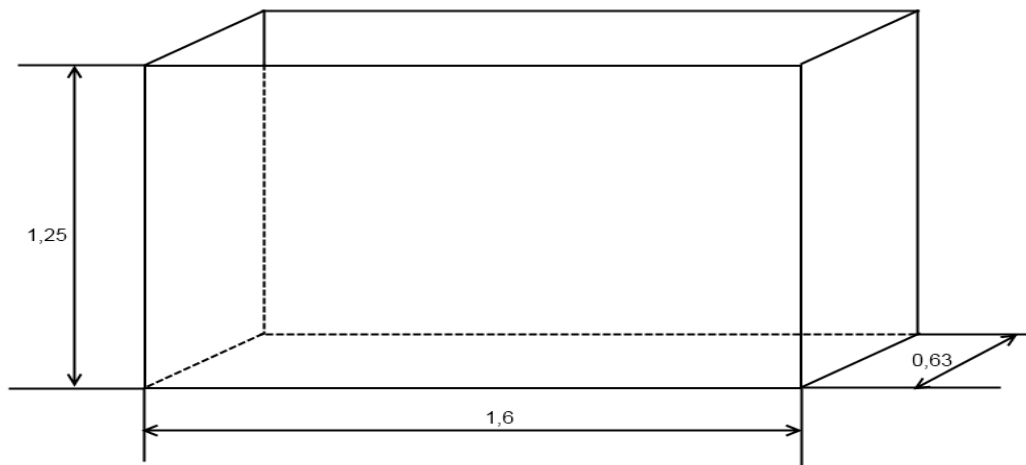
Розраховуємо кількість деталей

$$n = Y_c / S_{дет} \text{ де, } S_{дет.} = 0,0229 \text{ м}^2$$

$$n = 2,33 / 0,0229 = 102 \text{ деталі.}$$

3.10.3 Перерахунок діючого обладнання.

Визначаємо габаритні розміри вибраного типу ванн, встановлених у цеху.



Виходячи із габаритних розмірів ванни (довжина ванни 1600 мм; ширина - 630 мм; висота - 1250 мм), визначаємо довжину l_n та висоту h_n підвісного пристрою:

$$l_n = l - 2l_1,$$

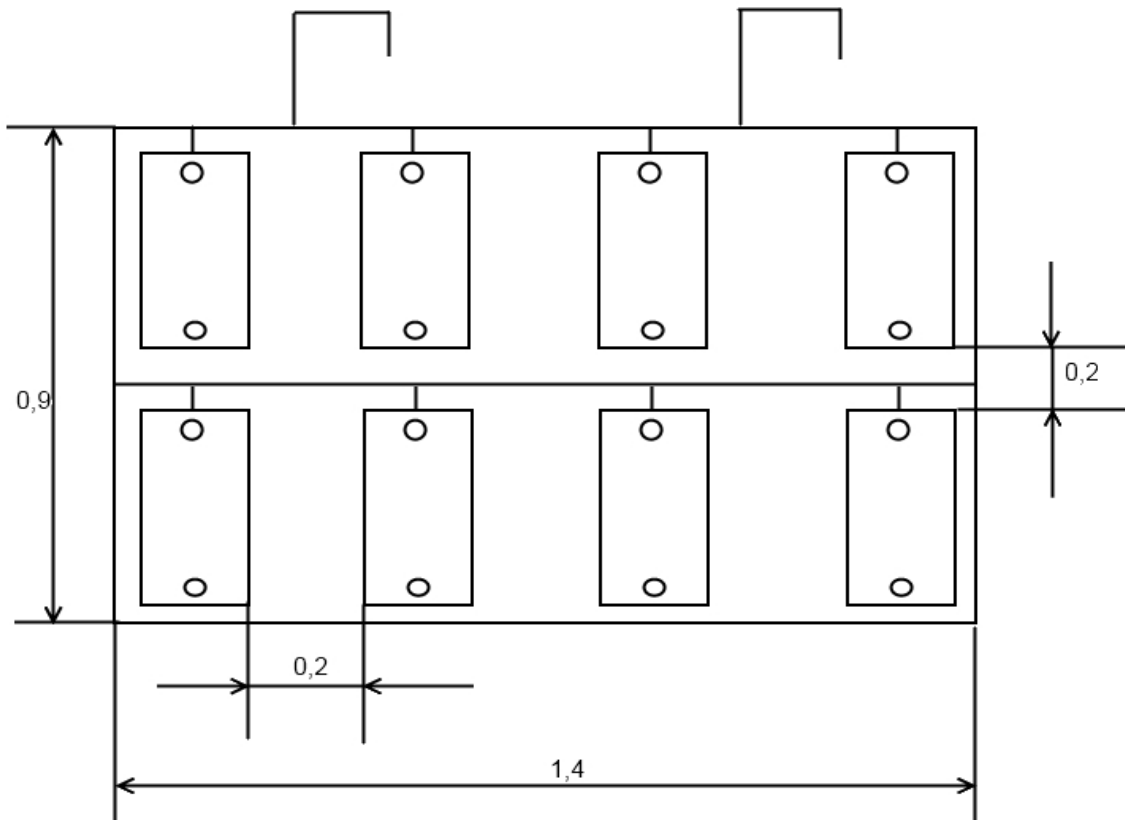
$$l_n = 1600 - 2 \cdot 0,1 = 1,4 \text{ м},$$

де l – внутрішня довжина ванни, м; l_1 – відстань від краю підвіски до борта ванни (приймають 0,10 м).

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

$$h_n = 1,25 - 0,15 - 0,05 - 0,15 = 0,9 \text{ м},$$

де h – внутрішня висота ванни, м; h_1 – відстань від дна ванни до нижнього краю підвіски; h_2 – відстань від верхнього краю підвіски до дзеркала електроліту; h_3 – відстань від дзеркала електроліту до верхнього краю ванни.



Визначивши габаритні розміри підвіски та знаючи габаритні розміри деталей, розраховуємо кількість деталей n_d , яку можна закріпити на одну підвіску (між деталями потрібно передбачити невеликі зазори, деталі не мають екранувати одна одну).

Розраховують сумарну поверхню деталей S_n , які завантажують на одну підвіску (m^2):

$$S_n = S_d \cdot n_d$$

$$S_n = 0,0229 \cdot 8 = 0,1832 \text{ м}^2$$

де S_d – поверхня однієї деталі, m^2 ; n_d – кількість деталей на підвісці.

Визначають поверхню одноразового завантаження у ванну S_{03} , m^2 :

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

$$S_{03} = 0,1832 \cdot 2 = 0,3664 \text{ м}^2,$$

де N_n – кількість підвісок, які завантажують у ванну.

Потім розраховують відстань між анодом та ближнім краєм підвіски з деталями l_{a-k} та перевіряємо, чи відповідає вона нормативному значенню, яке повинно складати 0,10...0,25 м, що необхідно для забезпечення максимальної рівномірності покриття. Для однопозиційних ванн l_{a-k} складає, м:

$$l_{a-k} = \frac{B - B_n - 2B_a - 2B_1}{2},$$

де B – внутрішня ширина ванни; B_n – товщина підвіски з деталями (визначається із креслення підвіски з деталями); B_a – товщина анодів ; B_1 – відстань між анодом і боковою стінкою ванни, приймають 0,05...0,10 м. Розрахована величина l_{a-k} не повинна бути меншою унормованого значення. У подальшому вона використовується для визначення напруги на ванні.

$$l_{a-k} = \frac{0,63 - 0,01 - 2 \cdot 0,005 - 2 \cdot 0,1}{2} = 0,2 \text{ м},$$

Використовуючи визначену величину одноразового завантаження ванни S_{03} , розраховуємо кількість ванн, які необхідні для виконання річної виробничої програми:

$$n_B = \frac{Y_C}{S_{03}}$$

$$n_B = \frac{2,33}{0,3664} = 6,3 \approx 6$$

Виходячи із визначеної кількості ванн, розраховуємо річну продуктивність вибраного обладнання, P_p' :

$$P_p' = S_{03} \cdot n_B \cdot \frac{T_d \cdot 60}{\tau \cdot K_{об}}$$

$$P_p' = 0,3664 \cdot 6 \cdot \frac{3798,1 \cdot 60}{20 \cdot 1,05} = 23856,408 \text{ м}^2$$

та коефіцієнт завантаження обладнання:

$$K_{зав} = \frac{P_p}{P_p'}$$

$$K_{зав} = \frac{25235}{23856,408} = 1,06.$$

3.10.4 Визначення сили струму на гальванічній ванні.

Сила струму I , А на однопозиційній ванні розраховується як добуток величини технологічної густини струму на катоді i_k , А/м² на площу деталей одноразового завантаження S_{03} , м²:

$$I = K \cdot i_k \cdot S_{03},$$

$$I = 1,15 \cdot 3500 \cdot 0,3664 = 1474,76 \text{ А},$$

де коефіцієнт K враховує втрати електрики на осаджування металу на контактах підвісного пристрою, $K = 1,15$.

3.10.5 Визначення напруги на гальванічній ванні.

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

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

де різниця потенціалів

$$E_a - E_k = 1.80 - (-0.80) = 2.6 \text{ В}.$$

Омічне падіння напруги в електроліті $\Delta U_{ом}$, В розраховуємо за формулою:

$$\Delta U_{ом} = K \cdot i_{cp} \cdot l_{a-k} \cdot \rho_e,$$

де i_{cp} – середня густина струму в між електродному просторі, А/м², розраховується за формулою $i_{cp} = \sqrt{i_k \cdot i_a}$; l_{a-k} – відстань між анодом і краєм підвіски з деталями, ρ_e – питомий електричний опір електроліту, Ом·м, K – коефіцієнт, який ураховує збільшення опору за рахунок газонаповнення, величина $K = 1,1$.

При середній густині струму, яка проходить через електроліт

$$i_{cp} = \sqrt{i_k \cdot i_a} = \sqrt{3500 \cdot 1750} = 2474,87 \text{ А/м}^2$$

падіння напруги в електроліті становитиме:

$$\Delta U_{ом} = 1,1 \cdot 2475 \cdot 0,165 \cdot 0,0162 = 7,27 \text{ В},$$

Суму падіння напруги в електродах, провідниках першого роду у контактах ванни $\Delta U_I + \Delta U_k$ приймаємо у межах величини, яка не перевищує 10 % загальної напруги на ванні U , V визначається як:

$$U = \frac{E_a - E_k + \Delta U_{ом}}{0,9}$$

$$U = (E_a - E_k + \Delta U_{ом})/0,9 = (2,6 + 7,27)/0,9 = 10,97 \text{ В},$$

$$\text{а сума } \Delta U_I + \Delta U_k = 0,1 \cdot U.$$

Сума падіння напруги на електродах, провідниках і контактах ванни:

$$\Delta U_I + \Delta U_k = 0,1 \cdot 10,97 = 1,097 \approx 1,1 \text{ В}$$

Мінімальна напруга на джерелі струму $U_{дс}$ складається із суми напруги на ванні U та падіння напруги у шинопроводах від джерела струму до ванни, що приймають не більшим 10 % від $U_{дс}$. Отже:

$$U_{дс} = 1,1 \cdot U.$$

$$U_{дс} = 1,1 \cdot U = 1,1 \cdot 10,97 = 12 \text{ В}$$

Таблиця 3.10.1

Баланс напруги на ванні хромування

Надходження	В	%	Витрати	В	%
Напруга на ванні	10,97	100	Різниця потенціалів під струмом $E_a - E_k$	2,6	33
			Падіння напруги в електроліті $\Delta U_{ом}$	7,27	57
			Падіння напруги в електродах, контактах і провідниках $\Delta U_I + \Delta U_k$	1,1	10
Разом	10,97	100	Разом	10,97	100

3.10.6 Вибір джерела струму для гальванічної ванни.

Джерело постійного струму обираємо, виходячи з сили струму і напруги на ванні.

Обираємо випрямний агрегат ВАКР-1600-24У4.

Для обраного випрямного агрегату розраховуємо коефіцієнт завантаження:

$$K = \frac{N_{\text{дс}}}{N_{\text{пасп}}},$$

де $N_{\text{дс}}$ – потужність, необхідна для виконання завданої програми,

$$N_{\text{дс}} = U \cdot I \cdot 10^{-3}, \text{ кВт};$$

$N_{\text{пасп}}$ – паспортна потужність вибраного агрегату.

$$N_{\text{дс}} = U \cdot I \cdot 10^{-3} = 10,97 \cdot 0,147476 = 16,17 \text{ кВт},$$

$$N_{\text{пасп}} = 12 \cdot 1600 \cdot 10^{-3} = 19,2 \text{ кВт},$$

$$K = \frac{16,17}{19,2} = 0,82,$$

3.10.7 Визначення джоулевої теплоти, складання балансу енергії.

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

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

$$W_{\text{дж}} = 3,6 \cdot I \cdot \tau \cdot \left(U_i + \frac{\Delta H_1^0 \cdot B_{c1}}{z_1 \cdot F} + \frac{\Delta H_2^0 \cdot B_{c2}}{z_2 \cdot F} + \frac{\Delta H_3^0 \cdot B_{c3}}{z_3 \cdot F} \right)$$

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

Сумарні електрохімічні процеси, які відбуваються у ванні хромування:



Зміна ентальпії для наведених реакцій:

$$1. \quad \Delta H_1 = \Delta H_{\text{CrO}_3} + \Delta H - \Delta H_{\text{Cr}} - 1,5\Delta H_{\text{O}_2} = -569,0 - 10,3 - 0 - 0 = -579,3 \text{ кДж / моль},$$

де ΔH – зміна ентальпії при розчиненні CrO_3 .

$$2. \quad \Delta H_2 = 0, \text{ так як реакція не призводить до зміни складу системи.}$$

$$3. \quad \Delta H_3 = \Delta H_{\text{H}_2\text{O}} - \Delta H_{\text{H}_2} - 0,5\Delta H_{\text{O}_2} = -268,0 - 0 - 0 = -268,0 \text{ кДж / моль}$$

Звідки знаходимо:

$$W_{\text{дж}} = 3,6 \cdot I \cdot \tau \cdot \left(U_i + \frac{\Delta H_1^0 \cdot B_{c1}}{z_1 \cdot F} + \frac{\Delta H_2^0 \cdot B_{c2}}{z_2 \cdot F} + \frac{\Delta H_3^0 \cdot B_{c3}}{z_3 \cdot F} \right) =$$

$$= 3,6 \cdot 1474,76 \cdot \frac{20}{60} \left(10,97 + \frac{(-579,3) \cdot 0,13}{6 \cdot 96,5} + 0 + \frac{(-286) \cdot 0,77}{2 \cdot 96,5} \right) = 17166,2046 \text{ кДж/год};$$

$$W_{\text{заг}} = 3,6 \cdot 1474,76 \cdot 10,97 \cdot 20/60 = 19413,74064 \text{ кДж/год};$$

$$W_{\text{хім}} = W_{\text{заг}} - W_{\text{дж}} = 19413,74064 - 17166,2046 = 2247,53 \text{ кДж/год};$$

3.10.8 Тепловий розрахунок гальванічних ванн.

Тепловий розрахунок проводять для гальванічних ванн, які працюють при підвищеній температурі.

3.10.8.1 Визначення витрат теплоти на розігрів ванни.

Кількість теплоти $Q_{\text{роз}}$, яка потрібна на розігрів ванни, складається із витрат теплоти Q , на розігрів електроліту, матеріалу й футерівки ванни, анодів та витрат теплоти - $Q_2/2$ на компенсацію витрат у навколишнє середовище:

$$Q_{\text{роз}} = Q_1 + Q_2/2,$$

де Q_2 - теплові втрати ванни при робочій температурі. Приймається, що в процесі розігріву ванни, теплові втрати орієнтовно у два рази нижчі.

Величину Q визначаємо як:

$$Q = (V_1 C_1 d_1 + C_2 m_2 + C_3 m_3 + C_4 d_4) (t_k - t_n)$$

де $V_1 C_1 d_1$ - відповідно об'єм, питома масова теплоємність та густина електроліту, що нагрівається;

C_2 - теплоємність матеріалу корпусу ванни, для сталі близько 500 Дж/кг·К;

m_2 - маса ванни;

C_3 - теплоємність матеріалу футерівки (для вініпласту - близько 1630 Дж/кг·К):

m_3 - маса футерівки;

C_4 - теплоємність матеріалу анодів; m - маса анодів у ванні;

$t_k - t_n$ - кінцева та початкова температура електроліту.

Визначаємо величину Q :

$$Q_1 = (0,8 \cdot 3465 \cdot 1200 + 500 \cdot 360 + 1630 \cdot 30,348 + 129 \cdot 71,442)(24 - 15) = 32085,75 \text{ кДж.}$$

Для розбавлених електролітів (з загальною концентрацією компонентів електроліту до 100 кг/м^2) допускається прийняти густину та теплоємність води, відповідно 1000 кг/м^3 та $4180 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$.

Кількість теплоти на компенсацію втрат у навколишнє середовище Q_2 складається з втрат теплоти нагрітим електролітом через стінки ванни Q_3 та втрат теплоти через дзеркало електроліту Q_4 .

$$Q_2 = Q_3 + Q_4$$

Так як точний розрахунок величин Q_3 і Q_4 значно ускладнений відсутністю у літературі ряду довідкових даних, можна розрахувати наближено за допомогою таких рівнянь:

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

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

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

F_3 - площа поверхні дзеркала електроліту, м^2 ;

τ_p - час розігрівання ванни (приймають у межах 3600 - 7200 секунд, частіше 3600 сек); q_3 - величина питомих витрат теплоти через стінки ванни (Вт/м^2). Для інтервалу температур у ванні $t \sim 40 - 100^\circ\text{C}$ величину q_3 можна вирахувати за емпіричним рівнянням

$$q_3 = v_0 + v_1 \cdot t = -40,54 + 2,435 \cdot 24 = 17,9 \text{ Вт/м}^2.$$

Значення коефіцієнтів $v_0 + v_1$ наведені в таблиці

Таблиця 3.10.2

Значення коефіцієнтів $v_0 + v_1$ у рівнянні

Коефіцієнт	Товщина тепл ізолюючого шару корпусу ванни, мм			
	0	25	50	75
v_0	-397	-40,54	-24,85	-13,92
v_1	15,23	2,435	1,357	0,909

Величину питомих витрат теплоти q_3 (Вт/м^2) через дзеркало електроліту в інтервалі температури $t = 30-100^\circ\text{C}$ можна вирахувати за емпіричним рівнянням

$$q_4 = 82 + 0,0115 \cdot t^3 = 82 + 0,0115 \cdot 24^3 = 241 \text{ Вт/м}^2$$

Величини q_3 і q_4 для відповідного діапазону температури можна обрати із таблиць емпіричних даних:

$$Q_3 = q_3 \cdot F_k \cdot \tau_p = (v_0 + v_1 t) \cdot F_k \tau_p$$

Визначаємо для ванн, відповідно: хромування.

$$Q_3 = 17,9 \cdot 4,832 \cdot 3600 = 311,374 \text{ кДж};$$

$$Q_4 = 241 \cdot 1,136 \cdot 3600 = 985,593 \text{ кДж};$$

$$Q_2 = 311,374 + 985,593 = 1296,967 \text{ кДж};$$

$$Q_{\text{роз}} = 32085,75 + 1296,967/2 = 32734,2335 \text{ кДж}.$$

3.10.8.2 Визначення витрат теплоти на підтримання робочої температури ванни.

Теплота $Q_{\text{роб.}}$, яка необхідна для підтримання робочої температури в електрохімічній ванні, складається з суми витрати теплоти на компенсацію теплових втрат в навколишнє середовище Q_2 та витрат теплоти Q_5 на підігрів підвісок із деталями, які періодично завантажують у ванну, за вирахуванням величини джоулевої теплоти $Q_{\text{дж}}$, яка виділяється при електролізі:

$$Q_{\text{роб.}} = Q_2 + Q_5 - Q_{\text{дж}}$$

Розрахунок величин $Q_{\text{роб.}}$ рекомендується проводити на одну годину роботи ванни. В цьому випадку можна скористатися значенням величини Q_2 , розрахованим у попередніх розрахунках.

Величину Q_5 можна визначити за формулою:

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

де C_5 і C_6 – питомі масові теплоємкості матеріалу підвіски та оброблюваних деталей відповідно Дж/(кг·К); M_5 і M_6 – маси підвісочного пристрою та деталей, оброблюваних на одній підвісці, кг; n_{03} – кількість підвісок з деталями, лісі обробляються у ванні за одну годину.

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

$$Q_2 = (17,9 \cdot 4,832 + 241 \cdot 1,136) \cdot 3600 = 1296,967 \text{ кДж}$$

$$Q_5 = (452,1 \cdot 13,4 + 452,1 \cdot 16) \cdot (24 - 15) \cdot 2 = 239,251 \text{ кДж}$$

$$Q_{\text{роб.}} = 1296,967 + 239,251 - 17166,2046 = -15629,9866 \text{ кДж}$$

Величина $Q_{\text{дж.}}$ відповідає $W_{\text{дж.}}$

Таблиця 3.10.3

Тепловий баланс ванни хромування за годину

Надходження	кДж	%	Витрати	кДж	%
Теплота підтримування робочої температури у ванні $Q_{\text{роб.}}$	-15629,9866		Втрати теплоти у навколишнє середовище Q_2	1296,967	
Джоулева теплота $Q_{\text{дж}}$	17166,2046		Втрати теплоти на підігрів підвісок з деталями Q_5	239,251	
Разом:	1536,2386	100	Разом:	1536,218	100

3.10.9 Розрахунок витрат водяної пари.

Витрати пари для розігріву ванн до робочої температури, кг

$$G_{\text{п роз}} = Q_{\text{роз}} \cdot n_{\text{в}} / 2122$$

де 2122 - кількість тепла, що віддається паром при переході до конденсату з температурою 130°C, $n_{\text{в}}$ - кількість ванн даного типу.

Визначаємо для ванн, відповідно: хромування, хімічного знежирення, електрохімічного знежирення, гарячої промивки:

$$G_{\text{п роз}} = 32734,2335 \cdot 3 / 2122 = 46,27 \text{ кг};$$

Витрати пари на підтримування теплового режиму протягом 1 години, кг:

$$G_{\text{п роб}} = Q_{\text{роб}} \cdot n_{\text{в}} / 2122$$

$$G_{\text{п роб.}} = 15629,9866 \cdot 3 / 2122 = 22,09 \text{ кг};$$

Витрати пари па виконання річної виробничої програми:

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

де $T_{\text{дб}}$ - кількість робочих діб у календарному році,

$T_{\text{д}}$ - дійсний фонд робочого часу обладнанням, год.

$$G_{\text{п}} = (46,27 \cdot 251 + 22,09 \cdot 3798,1) / 1000 = 95,51 \text{ тон.}$$

3.10.10 Розрахунок змійовика.

Через те, що при розігріванні ванни інтенсивність тепловиділення набагато вища, ніж для підтримування робочої температури, то параметри змійовика розраховують, виходячи з $Q_{роз}$. (тобто, для розігріву ванни).

Поверхня змійовика $S_{зм}$, m^2 визначається як:

$$S_{зм} = Q_{роз} / 3,6 \cdot K \cdot \Delta t_{ср}$$

де K - коефіцієнт теплопередачі від змійовика до електроліту, приблизно його значення можна прийняти $950 \text{ Дж}/(m^2 \text{ град} \cdot \text{сек})$;

$\Delta t_{ср}$ - середній температурний натиск.. Величину $\Delta t_{ср}$ вираховуємо за формулою:

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

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

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

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

Визначаємо для ванн, відповідно: хромування, хімічного знежирення, електрохімічного знежирення, гарячої промивки:

$$\Delta t_{ср} = (24 - 20) / (2,3 \cdot \lg(130 - 20 / 130 - 24)) = 108,14^{\circ}C;$$

$$S_{зм} = 32734,2335 / (3,6 \cdot 950 \cdot 108,14) = 0,088 \text{ м}^2.$$

Довжина труби змійовика $L_{зм}$, м залежить від її діаметра $d_{зм}$ і визначається за формулою

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

$$L_{зм} = 0,088 / (3,14 \cdot 0,032) = 0,8 \text{ м}.$$

Для виготовлення змійовиків найчастіше використовують сталеві труби з діаметром 32-38 мм. Діаметр змійовика підбирають такої величини, щоб початкова швидкість пари V_n , м/с не перевищувала 30 м/сек.

$$V_n = G_{п роз} / (n_v \cdot 3600 \cdot 1161,8 \cdot 0,785 d^2),$$

де 1161,8 - густина пари, $кг/м^3$.

$$V_n = 46,27 / (3600 \cdot 1164,8 \cdot 0,785 \cdot 0,032^2) = 0,012 \text{ м/с}.$$

3.10.11 Розрахунок витрат електроенергії та потужності електронагрівачів для нагрівання гальванічної ванни.

Розрахунки роблять тільки для ванн, обладнаних електричними теплонагрівачами. Витрати електроенергії на розігрів ванни протягом однієї години визначається як:

$$W_{\text{роз}} = (Q_{\text{роз}} / 3600) / 1000 \text{ кВт/год.}$$

$$W_{\text{роз}} = (32734,2335 / 3600) / 1000 = 0,009 \text{ кВт/год.}$$

Витрати електроенергії на підтримування теплового режиму ванни протягом однієї години:

$$W_{\text{роб}} = (Q_{\text{роб}} / 3600) / 1000 \text{ кВт/год}$$

$$W_{\text{роб}} = (15629,9866 / 3600) / 1000 = 0,004 \text{ кВт/год.}$$

Потужність трубчастих електронагрівачів (ТЕНів) для розігріву ванни

$$N_{\text{роз}} = W_{\text{роз}} / \tau, \text{ кВт}$$

$$N_{\text{роз}} = 0,009 / 1 = 0,009 \text{ кВт.}$$

Потужність ТЕНів для підтримування теплового режиму:

$$N_{\text{роб}} = W_{\text{роб}} / \tau, \text{ кВт}$$

$$N_{\text{роб}} = 0,004 / 1 = 0,004 \text{ кВт.}$$

Зазвичай τ приймають рівним 1 годині.

Загальні витрати електроенергії на підтримування теплового режиму ванн при річній виробничій програмі:

$$W_{\text{заг}} = (W_{\text{роз}} \cdot T_{\text{дб}} + W_{\text{роб}} \cdot T_{\text{л}}) n_{\text{в}}, \text{ кВт год}$$

де $T_{\text{дб}}$ - кількість робочих діб у календарному році,

$T_{\text{л}}$ - дійсний фонд часу роботи обладнання, год,

$n_{\text{в}}$ - кількість ванн даного типу.

$$W_{\text{заг}} = (0,009 \cdot 251 + 0,004 \cdot 3798,1) \cdot 3 = 52,3542 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

3.10.11.1 Розрахунок витрат електроенергії на виконання річної виробничої програми.

Сумарні витрати електроенергії на виконання річної виробничої програми розраховуються:

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

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

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

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

Отже для процесу хромування:

$$W = W_e,$$

$$W_e = (I \cdot U_i \cdot \tau \cdot N_{O_3}) / (1000 \cdot 0,82) \text{ кВт}\cdot\text{год},$$

$$N_{O_3} = Pp/S_{O_3} = 25235/0,3664 = 68872,8 \text{ кількість завантажень за рік (підвісок)},$$

$$W_e = (1474,76 \cdot 10,97 \cdot 0,33 \cdot 68872,8) / (1000 \cdot 0,82) = 448410,5 \text{ кВт}\cdot\text{год}.$$

3.11 Розрахунок витрат матеріалів.

Розрахунок витрат матеріалів виконують з метою визначення річних потреб виробництва в вихідній сировині й матеріалах для нанесення даного виду покриття. При розрахунках необхідної кількості анодів, хімічних матеріалів, води та інших реактивів виходять з того, що їх витрати здійснюються за наступними статтями:

- а) на початковий запуск обладнання,
- б) на виконання річної виробничої програми.

3.11.1. Розрахунок витрати анодів.

3.11.1.1 Розрахунок витрат анодів на початковий запуск обладнання.

Витрата розчинних та нерозчинних анодів на запуск обладнання (кг) визначаються за формулою:

$$G_{\text{аз}} = K_1 \cdot K_2 \cdot n_{\text{аш}} \cdot l_{\text{в}} \cdot h_{\text{в}} \cdot \delta_{\text{а}} \cdot d_{\text{а}} \cdot n_{\text{в}},$$

де K_1 – коефіцієнт, який враховує співвідношення сумарної ширини анодів до довжини ванни (приймають $K_1 = 0,6$); K_2 – коефіцієнт, який враховує співвідношення анодів та висоти ванни (приймають $K_2 = 0,8$); $n_{\text{аш}}$ – кількість

анодних штанг у ванні; l_b – внутрішня довжина ванни, м; d_a – густина матеріалу анодів, кг/м^3 ; δ_a – товщина анодів, м; n_b – кількість ванн даного типу.

$$G_{аз} = 0,6 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 1,25 \cdot 0,005 \cdot 11340 \cdot 2 = 108,864 \text{ кг.}$$

3.11.1.2 Витрати нерозчинних анодів на виконання річної виробничої програми.

Такі витрати обумовлені технологічними витратами, відходами і визначаються за формулою

$$G_{ан} = S \cdot A_n \cdot 10^{-3}, \text{ кг,}$$

$$G_{ан} = 4217,85 \cdot 1,8 \cdot 10^{-3} = 7,6 \text{ кг,}$$

де S – сумарна площа нанесеного покриття при виконанні річної програми, м^2 ; A_n – норма витрат нерозчинних анодів, г/м^2 . Величини A_n для найбільш поширених процесів.

3.11.2 Розрахунок витрат хімічних реактивів.

Витрати матеріалів на хімічні та електрохімічні процеси складаються з кількості матеріалів, необхідних для виконання річної програми із урахуванням технологічних втрат на винесення електроліту із деталями, викиди в атмосферу при вентиляції, на коректування та зміну розчину (електроліту) та матеріали на запуск нового обладнання.

3.11.2.1 Витрата хімічних реактивів g_i на запуск нового обладнання визначається за формулою, (кг):

$$g_i = C_i \cdot V_b \cdot K_{зап} \cdot n_b,$$

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

V_b - об'єм ванни, м³;

$K_{зап}$ - коефіцієнт заповнення ванни, $K_{зап} = 0,8$;

n_b - кількість ванн даного типу.

Для процесу нанесення хромового покриття (1 ванна):

$$g(\text{CrO}_3) = 250 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 1 = 180 \text{ (кг),}$$

$$g(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2.5 \cdot 0.8 \cdot 0.9 \cdot 1 = 1.8 \text{ (кг)},$$

3.11.2.2 Витрата кожного реактиву на виконання річної програми, кг:

$$G_i = C_i \cdot V_{\text{ВТ}}$$

де $V_{\text{ВТ}}$ - загальний обсяг витрати розчину електроліту, м^3 .

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

$$V_{\text{ВТ}} = 1,15 \cdot S \cdot A_e = 1,15 \cdot 25235 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} = 5,8 \text{ (м}^3\text{)},$$

де S - річна продуктивність, м^2 ;

коефіцієнт 1,15- враховує площу зануреної частини підвіски, м^2 ;

A_e - норма витрати електроліту, $\text{м}^3/\text{м}^2$.

Для процесу нанесення хромового покриття:

$$G(\text{CrO}_3) = 250 \cdot 5,8 = 1450 \text{ (кг)},$$

$$G(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2,5 \cdot 5,8 = 14,5 \text{ (кг)}.$$

3.11.3 Розрахунок витрат води.

Вода витрачається на приготування електроліту, при електролізі внаслідок розкладання, при винесенні з газами, в результаті випаровування з поверхні електроліту. Але найбільше води використовується на промивні операції.

3.11.3.1 Витрата води на приготування електроліту, кг:

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

де C - вміст води в 1 м розчину $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$C_{\text{вод}} = d_{\text{ел}} - (C_1 + C_2) = 1200 - (250 + 2,5) = 947.5 \text{ (кг}/\text{м}^3\text{)},$$

де, $d_{\text{ел}}$ - густина електроліту ($1200 \text{ кг}/\text{м}^3$);

$V_{\text{заг}}$ - річна витрата електроліту ($1,69 \text{ м}^3$);

C_1 - вміст CrO_3 ;

C_2 - вміст H_2SO_4 ;

$$V_{\text{заг}} = V_{\text{В}} \cdot K_{\text{зап}} \cdot n_{\text{В}} + V_{\text{ВТ}} = 0,8 \cdot 0,9 \cdot 1 + 0,97 = 1,69 \text{ м}^3,$$

де $V_{\text{В}}$ - об'єм ванни, 1 м^3 ;

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

$n_{\text{в}}$ - кількість ванн;

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

$$m_{\text{вод}} = C_{\text{вод}} \cdot V_{\text{заг}} = 947,5 \cdot 1,69 = 1601,275 \text{ кг.}$$

3.11.3.2. Витрата води на розкладання при електролізі:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = I \cdot \frac{18}{2 \cdot 26,8} \cdot \tau_{\text{д}} \cdot V_{\text{T}} \cdot 10^{-5} = 1474,76 \cdot \frac{18}{2 \cdot 26,8} \cdot 3798,1 \cdot 87 \cdot 10^{-5} = 1636,49 \text{ кг.}$$

3.11.3.3 Витрата води на винесення з газами:

$$m''_{\text{H}_2\text{O}} = g_{\text{H}_2\text{O}} \cdot V_{\text{газа}}$$

$P_{\text{H}_2\text{O}} = 46,74 \text{ мм.рт.ст.}$ при $t_{\text{ел}} = 50^\circ\text{C}$.

$$g_{\text{H}_2\text{O}} = 0,805 \cdot \frac{46,74}{760 - 46,74} = 0,053 \text{ кг/м}^3;$$

$$V^0_{\text{H}_2} = 0,419 \cdot 1550 \cdot 3910 \cdot 8 \cdot 10^{-5} = 2209,2 \text{ м}^3;$$

$$V^0_{\text{г}} = V^0_{\text{H}_2} + V^0_{\text{O}_2} = 2209,2 + 0 = 2209,2 \text{ м}^3.$$

Об'єм вологого газу при температурі електролізу:

$$V^t_{\text{г}} = \frac{V^0_{\text{г}} \cdot P_{\text{г}} \cdot (273 + t_{\text{ел}})}{273 \cdot (P_{\text{г}} - P_{\text{H}_2\text{O}})} = \frac{2209,2 \cdot 760 \cdot (273 + 50)}{273 \cdot (760 - 46,74)} = 2462,4 \text{ м}^3,$$

де $t_{\text{ел}}$ - температура електролізу, $^\circ\text{C}$.

$$m''_{\text{H}_2\text{O}} = 0,053 \cdot 2462,4 = 130 \text{ кг.}$$

3.11.3.4 Витрата води на випаровування з поверхні електроліту:

$$m'''_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{45,6 \cdot K_{\text{в}} \cdot S_{\text{е}} \cdot (P_{\text{H}_2\text{O}} - P_{\text{н}}) \cdot T_{\text{д}} \cdot n_{\text{в}}}{P_{\text{н}}} = \frac{45,6 \cdot 0,71 \cdot 0,8 \cdot (46,74 - 35,62) \cdot 3798,1 \cdot 1}{760} = 1439 \text{ кг.}$$

де 45,6 - коеф. пропорційності;

$K_{\text{в}}$ – коефіцієнт, який залежить від швидкості руху повітря над дзеркалом електроліту (0,71 для повільного руху повітря);

$S_{\text{е}}$ - поверхня дзеркала електроліту у ванні, м^2 ;

$n_{\text{в}}$ - кількість ванн даного типу;

$P_{\text{н}}$ - парціальний тиск водяної пари за температури та вологості навколишнього середовища.

$$P_n = P_s \cdot \varphi / 100 = 47.5 \cdot 75 / 100 = 35.62 \text{ мм. рт. ст.}$$

3.11.3.5 Витрата води на промивні операції:

$$V_{\text{год}} = A_e \cdot K \cdot P_r = 0,2 \cdot 50 \cdot 1,11 = 11,1 \text{ дм}^3/\text{год},$$

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

K - критерій залишкового промивання деталей;

P_r - годинна виробнича програма ванни, $\text{м}^2/\text{год}$:

$$K = C_0 / C_k = 250 / 0,01 = 25000,$$

де C_0 - концентрація основного компонента у ванні, після якої проводиться промивання, $\text{г}/\text{дм}^3$;

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

Сумарні витрати води на промивання при виконанні виробничої програми:

$$V_{\text{сум}} = V_{\text{год}} \cdot T_d \cdot 1,5 = 11,1 \cdot 10^{-3} \cdot 3798,1 \cdot 1,5 = 63,24 \text{ м}^3,$$

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

Висновки до розділу. У розділі проведені технологічні розрахунки процесу нанесення матового хромового покриття, вибране відповідне обладнання, розроблена схема автоматичного регулювання процесу анодування.

Розділ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

З технологічної частини видно, що в виробничому процесі мають місце шкідливі, пожежо- та вибухонебезпечні речовини і матеріали, також використовується електрична й механічна енергія. Небажаними виробничими факторами є шум та вібрація, які викликані роботою внутрішньо цехового обладнання.

Проектні рішення прийняті з врахуванням сучасних норм охорони праці та вимог до екологічності виробництва. В розділі на основі аналізу шкідливих та небезпечних виробничих факторів, запропоновані заходи по створенню здорових та безпечних умов праці, а також пожежної безпеки.

4.1 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів. Заходи з охорони праці.

4.1.1 Повітря робочої зони.

Робота, на ділянці пов'язана з обслуговуванням автооператорної лінії, та згідно ДСН 3.3.6.042 - 99 може бути віднесена до категорії робіт середньої тяжкості ||б.

У проекті узгоджені санітарні норми параметрів мікроклімату у робочій зоні приміщення в залежності від категорії виконуваних робіт по важкості та періоду року.

Таблиця 4.1

Нормативні значення температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні приміщення

Період року	Категорія робіт	Оптимальні норми		
		T, °C	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	б	17-19	40 - 60	0,2
Теплий	б	20-22	40 - 60	0,3

4.1.1.1 Нормалізація повітря робочої зони

У гальванічному цеху передбачена механічна припливна та місцева витяжна вентиляція. Мінімальна кратність повітрообміну повинна бути не менше 5. Повітряний баланс для цеху хромування від'ємний на 10-15%.

Приміщення цеху також обладнані повітряним опаленням за допомогою калориферів, суміщено з припливною вентиляцією, для кращого забезпечення нормальної температури повітря у зимовий період. Для попередження переохолодження та застудних захворювань працівників, при вході в цех передбачені теплові повітряні завіси [19].

З метою зниження виділення шкідливих речовин у повітря робочої зони передбачаються наступні заходи:

1. Приготування та коригування розчинів ванн виконувати при дії місцевої вентиляції.
2. По можливості заміна шкідливих та горючих речовин менш токсичними й негорючими матеріалами.
3. При приготуванні травильних розчинів кислоти вводять тонким струменем у холодну воду при ретельному перемішуванні.

4. Для зниження виносу електролітів із поверхні ванн у склад електроліту вводять інгібітори, присадки, ПАР.
5. Точне дотримання вибраних режимів роботи ванн.
6. Для попередження розбризкування розчинів на підлогу проміжки між ваннами закриваються спеціальними козирками.

4.1.2 Виробниче освітлення

Відповідно до СНіП П-4-79 роботи по зоровим умовам відповідають в гальванічному цесі IVб розряду.

У виробничому приміщенні використовується комбіноване природне та загальне штучне освітлення.

Таблиця 4.2

Норми освітлення при штучному і КЕО при природному та суміщеному освітленні

Розряд зорових робіт	Освітленість, лк		Значення КЕО, %			
			При природньому освітленні		При суміщеному освітленні	
	при комбінованому освітленні	при загальному освітленні	Верхнє або верхнє бокове	Бокове	Верхнє або верхнє бокове	Бокове
IVб	200	50	0.7	0.2	0.5	0.2

В проєкті передбачається загальне електричне освітлення, яке по призначенню розділяється на робоче, чергове, аварійне.

Для загального освітлення у цеху, згідно до галузевих норм, використовуються газорозрядні лампи низького тиску типу ЛДЦ або ЛБ, що використовуються для освітлення приміщення з розрядами робіт IVб. Тип самих світильників для приміщень із невеликою запиленістю та невисокою вологістю пропонується з суцільним відзеркалювачем [20].

Світильники ж аварійного освітлення під'єднані до мережі, яка не залежить від мережі живлення робочого освітлення.

Для аварійного освітлення використовують лампи накаливання типу В або Б (по ДСТУ 2239-79) та люмінесцентні типу ЛДЦ (по ДСТУ 6825-74).

Контроль освітлення проводиться після заміни світильників люксометром Ю-116 (ДСТУ 14841-69) один раз в рік та після кожного ремонту освітлювальних установок.

4.1.3 Виробничий шум

Джерелом шуму у даному цесі є випрямляч змінного струму, система вентиляції, рух автооператора та електроприводи.

Згідно ДСН 3.3.6.037-99 зниження шуму досягається наступним чином:

- ізоляція джерел шуму засобами звукоізоляції та звукопоглинання (перегородки та кожухи, перешкоджаючі засоби шуму);
- зменшення шуму у самому джерелі їх створення - мінімальні допуски, ретельне балансування, демпфірування вібрації деталей, які у контакті один з одним;
- архітектурні рішення: відстань від стіни до устаткування з робочої сторони лінії 1,5 м, з неробочої 1,2-1,5 м; площа виробничого приміщення на одного робітника не менше 4.5 м; мінімальна висота приміщення 5 м, при цьому площа зайнята лінією хромування, не перевищує 25 % загальної площі гальванічного цеху;
- акустична обробка приміщень, зокрема, у приміщенні наявні звукопоглинаючі пористі матеріали [20-21].

У цеху, що проектується для вимірювання рівня шуму та контролю рівня вібрації використовують пристрій ИШВ-003.

4.1.4 Небезпечне ураження електричним струмом

Головними причинами ураження електричним струмом є: випадковий контакт з струмоведучими частинами обладнання, які були під напругою у результаті пошкодження ізоляції, також ураження кроковою напругою або електродугою.

Живлення електроустаткування відбувається від трьохфазної чотирьох - провідної електричної мережі змінного струму, напругою 380/220В, частотою 50 Гц із глухо заземленою нейтраллю.

Сила струму, яка проходить крізь людину, при однофазному контакті в електричному ланцюзі:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{л}} + R_0} \cdot 10^3, \text{мА}$$

де $U_{\text{ф}} = 220$ - фазова напруга, В;

$R_{\text{л}} = 1000$ - опір тіла людини, Ом;

$R_0 = 4$ - опір заземлення, Ом.

$$I_{\text{л}} = \frac{220}{1000 + 4} \cdot 10^3 = 220 \text{ мА.}$$

Сила струму, яка проходить крізь людину, при двофазному дотику в електричному ланцюзі:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{л}}} \cdot 10^3, \text{мА,}$$

де $U_{\text{л}} = 380$ - лінійна напруга, В.

$$I_{\text{л}} = \frac{380}{1000} \cdot 10^3 = 380 \text{ мА.}$$

Відповідно до ДСТУ 12.1.038-84 в нормальному режимі роботи електрообладнання $I = 0.3$ мА, $U = 2$ В, а при аварійному режимі – $I = 6$ мА, $U = 36$ В.

Напруга дотику:

$$U_{\text{ДП}} = I_{\text{л}} \cdot R_{\text{л}} = 380 \cdot 1000 \cdot 10^{-3} = 380 \text{ В.}$$

Звідси випливає, що при порушенні вимог ПУЕ на гальванічному виробництві можливі травми електричним струмом з нещасними випадками.

Для захисту людей від ураження електричним струмом пропонуються наступні заходи:

- захисні відключення електрообладнання;
- подвійна ізоляція струмоведучих частин обладнання;
- використання малої напруги для живлення електроінструментів;

- захисні засоби для персоналу (діелектричні рукавички, гумові килимки, інструменти із ізолюючими ручками);
- проводити регулярний огляд пошкоджень ізоляції;
- регулярне проведення інструктажу.

Для захисту від електротравм металічні конструктивні частини електромереж установки обов'язково заземлюються [20-22].

Гальванічні ванни обладнані сигнальними лампочками: для попередження подачі напруги на ванну - червона, про зняття напруги і з ванни - зелена.

4.1.5 Безпека технологічних процесів та обладнання

Обслуговування та ремонт обладнання може проводити тільки спеціальний персонал.

Для аварійної зупинки всіх рухомих частин обладнання передбачені аварійні кнопки «Стоп загальний», «Аварійний стоп», що розташовані біля входу у виробниче приміщення.

Транспортний автооператор обладнаний обмежувачем й гальмівними пристроями. Проміжок між всіма ваннами закривається козирками для попередження попадання на підлогу різних розчинів при переносі підвісок із деталями. Для зменшення виносу електроліту із поверхні ванни до складу електроліту вводять різні добавки: інгібітори корозії, присадки, ПАР.

4.2 Пожежна безпека

Головними причинами займань в електроустановках є: коротке замикання між частинами обладнання (електроди, шини), розряди статичної електрики, механічні пошкодження обладнання та електропроводу.

Для гасіння пожежі передбачена водопровідна мережа. У цеху наявні вогнегасники рідкі та вуглекислотні ДСТУ 7276-77. Для пожежного зв'язку й сигналізації передбачені сповіщувачі типу ПК і ГА та телефонний зв'язок. Цех обладнаний охороно-пожежною сигналізацією.

Будівлі та споруди згідно СН305-77 обов'язково підлягають блискавкозахисту (блискавковідвід) [20-22].

Основними причинами короткого замикання можуть бути пошкодження ізоляції проводів, дія на проводи хімічних речовин. До засобів попередження перевантажень й короткого замикання у електричних мережах пропонується використання плавких запобіжників та спеціальних автоматів.

Для відводу статичної електрики застосовують заземлення всіх металічних частин технологічного обладнання, площадок, рукояток, приборів поручнів, де можлива електризація поверхні, також металічних резервуарів, у яких знаходяться рідини та піддаються електризації.

4.3 Очистка стічних вод

Значна кількість домішок, що забруднюють природні й стічні води, потребує їх визначення та вилучення із води. Класифікація базується на виявленні подібності фізико-хімічної поведінки домішок у воді, на їх здатності утворювати гомогенні або гетерогенні системи. Класифікація забруднень передбачає, що вибір методів очищення визначається насамперед фізичним станом домішок, а у разі гетерогенних систем ще їх дисперсністю. Суть класифікації полягає у тому, що всі домішки води відносно середовища поділяють на чотири групи (дві належать до гетерогенних систем, дві - до гомогенних). Гетерогенні системи - це суспензії, емульсії, піни; гомогенні - це речовини, які утворюють із водою молекулярні або іонні розчини.

Одним з важливих аспектів застосування гальванічного виробництва є його безпека. При використанні токсичних і шкідливих речовин утворюються відходи: тверді, газоподібні та рідкі. Потрапляючи у навколишнє середовище, спричиняють шкідливий вплив на всі живі організми. Саме тому на стадії розробки технологічних процесів потрібно забезпечити повну або часткову, згідно ГДК застосованих речовин, знезараження стічних вод та інших відходів [23]. Майбутній спеціаліст повинен знати причини такого негативного впливу виробництва на навколишнє середовище та його екологію і вміти організувати

безпечно виробництво, зменшуючи або нейтралізуючи цей вплив. Хімічні сполуки можуть спричиняти канцерогенну, мутагенну дію та бути алергенами [23]. За загальною токсичною дією найбільш небезпечними є важкі метали. Гальванічне виробництво посідає перше місце серед забруднювачів ними навколишнє середовище. Токсичність таких металів також залежить від того, у вигляді яких хімічних сполук вони знаходяться [24]. Сполуки Cr^{6+} відносяться до найбільш небезпечних, отруйних речовин та мають окиснювальні здатності. Вони впливають на живі організми та чинять кумулятивну, мутагенну, канцерогенну, алергенну й загально токсичну дію. Для поливу у сільському господарстві не можна використовувати воду, що містить навіть сліди хрому, бо він акумулюється у тканинах рослин і негативно впливає на їх розвиток [23, 24].

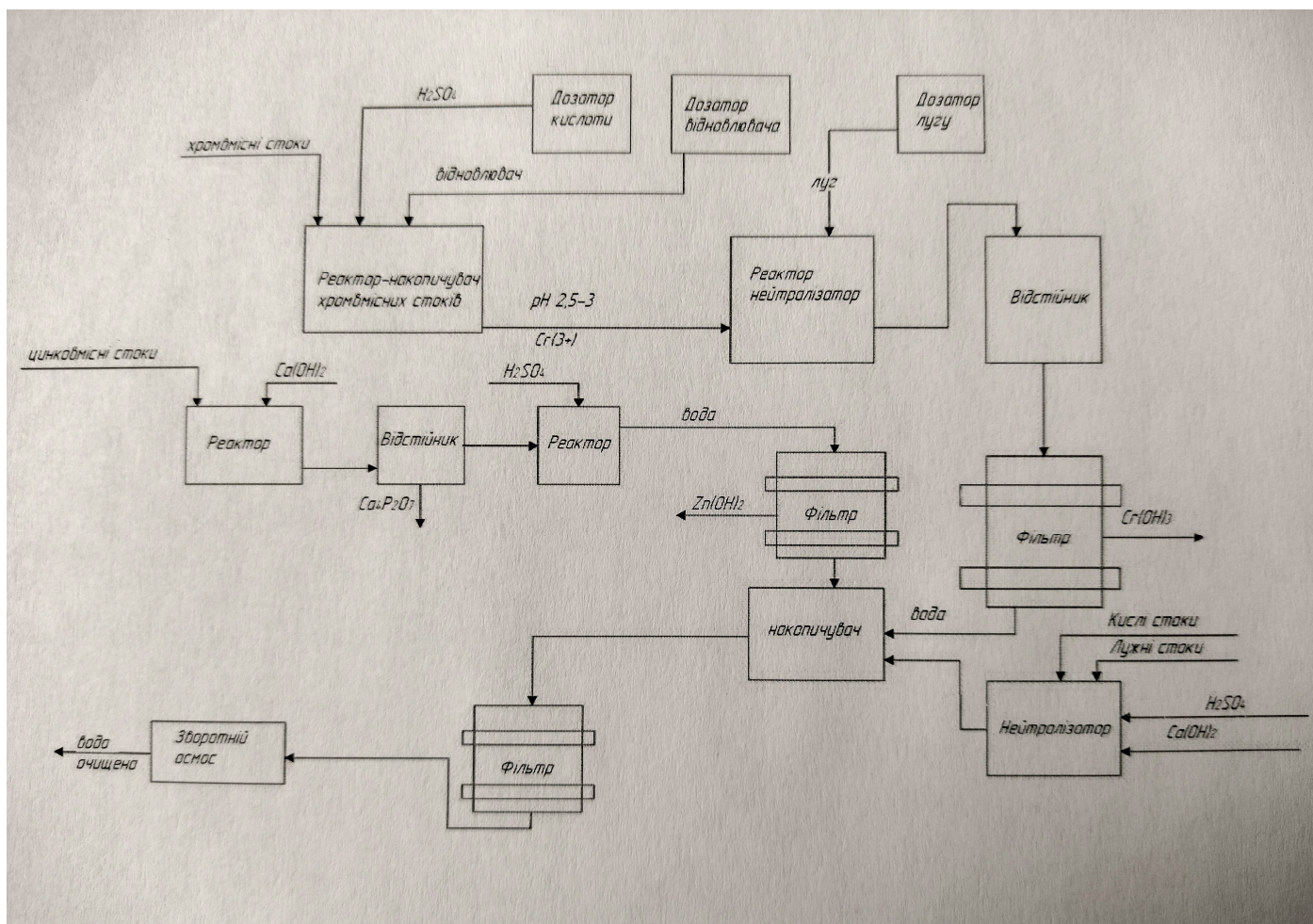


Рис 2. Принципова технологічна схема знешкодження стічних вод гальванічного цеху.

Вибір методу очищення стічних вод залежить від:

- складу та режиму надходження стічних вод,
- концентрації забруднень;
- можливості повторного використання очищеної води.

Вода в цехах для гальванопокриттів витрачається на приготування електролітів, травильних розчинів, промивку деталей, охолодження ванн і джерел струму.

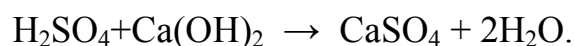
За вмістом домішок стічні води гальванічних підприємств поділяють на лужні (після знежирення виробів), кислотні (після травлення виробів, кислотного міднення, нікелювання, цинкування), хромові (після процесів хромування, пасивації), фторидні (після процесів травлення та лудіння).

Промивні стічні води виробництва потрапляють у каналізацію постійно, натомість відпрацьовані концентровані розчини періодично. Саме такі відпрацьовані концентровані електроліти, що вміщують кислоту чи луг, направляють в окремі накопичувані і використовують як реагенти для нейтралізації стічних вод. Відпрацьовані розчини, що мають цінні сполуки, повертаються у технологічний процес (регенерація). При неможливості їх повторного використання вони знезаражуються окремо чи/або сумісно з промивними стічними водами.

Стоки даного виробництва поділяються на кислі (травлення), лужні (знежирення) та хромові. Усі вони відносяться до гомогенних систем.

Кислі та лужні очищуємо переведенням іонів у малорозчинні та малодисоційовані сполуки хімічним способом (нейтралізацією).

Кислі розчини нейтралізують 10%-м розчином NaOH або вапняним молоком Ca(OH)₂ за схемою:

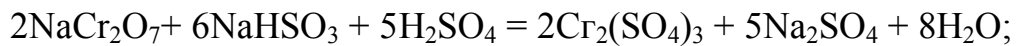


Лужні розчини нейтралізують кислотами.

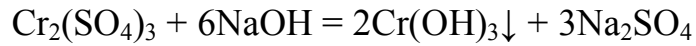
Хромові стічні води можна очищувати реагентним (хімічним) методом або методом електрокоагуляції.

Хімічне очищення хромових стічних вод проводять у дві стадії:

I стадія – Cr^{+6} відновлюють до Cr^{+3} бісульфітом натрію:



II стадія – переводять Cr^{+3} у малорозчинну сполуку дією розчином NaOH:



Висновки до розділу.

З наведених даних можна зробити висновок, що перед проєктуванням гальванічного цеху необхідно дотримуватись загально виробничих норм з охорони праці. Також потрібно забезпечити умови праці працівникам із дотриманням всіх санітарно-гігієнічних норм. Своєчасно проводити інструктаж з техніки безпеки для уникнення травмування на виробництві. З метою утилізації шкідливих відходів на виробництві потрібно дотримуватись загальних норм щодо утилізації сильно діючих отруйних речовин (СДОР).

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

З метою отримання захисного покриття у кваліфікаційній роботі розроблена гальванічна лінія енергозберігаючого матового хромування із виробничою програмою 24500 м²/рік. Проведений розрахунок технологічного процесу.

У проєкті проведена оптимізація розміщення деталей на підвісках, а також електродів у ванні з метою зменшення витрат енергії на одиницю продукції.

Запропонована методика очистки стічних вод реагентним способом. Вона є досить простою й економічно вигідною.

Проаналізувавши гальванічне виробництво, яке проєктується, а також існуючі норми, розроблені відповідні заходи з охорони праці: нормалізація повітря робочої зони, виробниче освітлення у цеху, запропонований захист від шуму, вібрацій, ураження електричним струмом, підібрані засоби індивідуального захисту для працівників.

Список літературних джерел

1. Учебні Матеріали для студентів і школярів України. Хромування: веб-сайт URL: <http://um.co.ua/8/8-10/8-10652.html>
2. Нікелювання та хромування. Хромування: веб-сайт URL: <https://xreferat.com/108/1747-1-nikelirovanie-i-hromirovanie.html>
3. Хромування в машинобудуванні. Металургія: веб-сайт URL: <https://xreferat.com/108/1747-1-nikelirovanie-i-hromirovanie.html>
4. Хромування в машинобудуванні: веб-сайт URL: https://reff.net.ua/49032-Hromirovanie_v_mashinostroenii.html#google_vignette
5. Гальванотехніка. Проектування гальванічних виробництв : [навч. посібник] / О. В. Лінючева, Л. А. Яцюк, Т. І. Мотронюк, О. І. Букет, С. В. Фроленкова. – К. : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 23 с.
6. Слюсар М. А. Сучасні електроліти та методи хромування [Електронний ресурс] / М. А. Слюсар, О. А. Крюкова // Технології та дизайн. - 2019. - № 3 (32). - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2019_3_12.
7. Тверде хромування та його вигляд. Матове тверде хромування. Веб-сайт: <https://studfile.net/preview/5010158/page:11/>
8. Хромування деталей і дисків: хімічне, декоративне, гальванічне: веб-сайт URL: <http://poradum.com/remont/xromuvannya-detalej-i-diskiv-ximichne-dekorativne-galvanichne.html>
9. Гаган М. Р. Блискуче хромове покриття / М. Р. Гаган, О. О. Бутенко, О. В. Черниш // Інноватика в освіті, науці та бізнесі: виклики та можливості : матеріали ІІ Всеукраїнської конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, м. Київ, 18 листопада 2021 року. – Т. 1. – Київ : КНУТД, 2021. – 223 с.
10. Лотоцька О. І. Сучасні фінішні методи підвищення експлуатаційних властивостей деталей поліграфічних машин поверхневим пластичним деформуванням і хромуванням. 2010. 49с.
11. Технологія нанесення гальванічних покриттів: метод. вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Технологія нанесення гальванічних покриттів», частина 1. Захисні і захисно-декоративні покриття / В. Ф. Панасенко, Л. А. Яцюк, Т. І. Мотронюк, О. В. Косогін, М. В. Бик, Ю. Ф. Фатєєв – К: НТУУ «КПІ», 2011. -33с.
12. Леговані сталі та сплави з особливими властивостями. Підручник / Куцова В.З., Ковзель М.А., Носко О.А. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2008. – 222 с.
13. Кітик, А. А. Електроосадження хрому та нікелю з низькотемпературних органічних розплавів / А. А. Кітик, Д. А. Шайдеров, Л. С. Боброва, В. Є.

- Пугач, В. С. Проценко // Сучасні проблеми електрохімії: освіта, наука, виробництво: збірник наукових праць. – Харків, 2015. – С. 233.
14. Якименко Г. Я., Артеменко В. М Технічна електрохімія. Ч.3. Гальванічні виробництва. –Х.: НТУ «ХП», 2006.–272 с.
 15. Якименко Г.Я. Гальванічні покриття. Аспекти вибору, функціональні властивості і технологія одержання : навч. Посібник /Г.Я. Якименко, В.М. Артеменко. Харків: НТУ «ХП», 2009.–148 с.
 16. Технологія нанесення гальванічних покриттів [Текст] : метод. вказівки до викон. лаборатор. робіт. з кредит. модуля «Захисні і захисно-декоративні 116 покриття» для студ. спец. 7.05130103 «Технічна електрохімія» / Уклад.: В.Ф. Панасенко, Л.А. Яцюк, Т.І. Мотронюк та ін. – К.: НТУУ «КП», 2011. – 60 с. 10. Кінетика контактного обміну металів: монографія / А. О. Майзеліс; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків: Іванченко І. С., 2021. – 180 с.
 17. Технологія нанесення неметалевих покриттів та виробництво плат друкованого монтажу [Електронний ресурс] : підручник / Л. А. Яцюк, О. В. Косогін, Д. Ю. Ущатовський, О. В. Лінючева, Ю. Ф. Фатєєв. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. – 330 с.
 18. Лінючева О.В. Гальванічні покриття у виробництві друкованих плат. Дипломне проектування: навч. посіб. / О.В. Лінючева, Л.А. Яцюк, Ю.Ф. Фатєєв, та ін. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 145 с.
 19. Житецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В. М. та ін. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник / За ред. В.Ц. Житецького.- Львів, Афіша, 2000- 352 с.
 20. 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 «КП». – Київ : Політехніка, 2012. – 336 с.

21. Метод. вказівки до виконання розділу «Охорона праці» в дипломних проектах лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю: 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.
22. 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 с.
23. Екологічна безпека гальванотехніки. Частина 1. Стічні води. Механічна та сорбційна очистка: навч. посіб. / М. І. Донченко, С. В. Фроленкова – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 197 с.
24. 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.