

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

Факультет хімічних та біофармацевтичних технологій

Кафедра хімічних технологій та ресурсозбереження

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА (ПРОЄКТ)

на тему

**Розробка проєкту цеху гальванічного цинкування з
застосуванням модифікованих цинкатних електролітів
загальним обсягом 15000 м²**

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

Освітня програма Технічна електрохімія та електрохімічна енергетика

Виконав: студент групи МГТЕ-22

Коломоєць О.О.

Науковий керівник к.б.н., доцент

Кислова О.В.

Науковий консультант к.т.н., доцент

Крюкова О.А.

Рецензент д.ф.-м.н., проф.

Ковальчук О. В.

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Факультет хімічних та біофармацевтичних технологій

Кафедра хімічних технологій та ресурсозбереження

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

Освітня програма Технічна електрохімія та електрохімічна енергетика

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ХТР

_____Вікторія ПЛАВАН
«_____» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТУ

Коломойцю Олександру Олександровичу

1. Тема кваліфікаційної роботи (проєкту): «Розробка проєкту цеху гальванічного цинкування з застосуванням модифікованих цинкатних електролітів загальним обсягом 15000 м²»

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

2. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи (проєкту): розробити технологічну схему та спроектувати цех по гальванічному нанесенню цинкового покриття річною програмою 15000 м².

3. Зміст кваліфікаційної роботи (проєкту) (перелік питань, які потрібно опрацювати): здійснити аналіз особливостей електрохімічного нанесення покриття з цинкатних електролітів різного складу та властивостей утвореного покриття; розробити технологічну схему процесу цинкування з застосуванням цинкатного електроліту оптимального складу, провести необхідні розрахунки технологічних параметрів та витрати матеріалів, перерахунок діючого обладнання за заданою річною програмою, обґрунтувати необхідні заходи по утилізації відходів електрохімічного цинкування та заходів по охороні праці.

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

5. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Ольга Кислова, к.б.н., доцент кафедри ХТР		
Розділ 2	Ольга Кислова, к.б.н., доцент кафедри ХТР		
Розділ 3	Ольга Кислова, к.б.н., доцент кафедри ХТР		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапу кваліфікаційної роботи (проекту)	Орієнтовний термін виконання	Примітка про виконання
1	Вступ		
2	Розділ 1. Особливості електрохімічного цинкування		
3	Розділ 2. Технологічні розрахунки		
4	Розділ 3. Заходи з охорони праці та навколишнього середовища		
5	Висновки		
6	Оформлення (чистовий варіант)		
7	Подача кваліфікаційної роботи (проекту) науковому керівнику для відгуку		
8	Подача кваліфікаційної роботи (проекту) для рецензування (за 14 днів до захисту)		
9	Перевірка кваліфікаційної роботи (проекту) на наявність ознак плагіату та текстових співпадінь (за 10 днів до захисту)		
10	Подання кваліфікаційної роботи (проекту) завідувачу кафедри (за 7 днів до захисту)		

З завданням ознайомлений:

Студент _____

Олександр КОЛОМОЄЦЬ

Науковий керівник _____

Ольга КИСЛОВА

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота (проект): Коломоєць О.О. «Розробка проекту гальванічного цеху з нанесення цинкового покриття в лужному середовищі продуктивністю 15000 м²/рік», Київ: КНУТД, 2023.

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

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

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

Кваліфікаційна робота (проект), освітній рівень другий (магістерський), 2023 рік, кількість сторінок – 89, таблиць – 13, рисунків – 6.

ANNOTATION

Qualification work (project): Kolomoiets O.O. "Development of a electroplating shop project for applying a zink coating in an alkaline environment with a productivity of 15000 m²/year", Kyiv: KNUTD, 2023.

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

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

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

Master's degree project, 2023, number of pages - 89, tables - 12, figures – 6.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
Розділ 1 ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ЦИНКУВАННЯ	
1.1 Технічні умови на гальванічну обробку деталей	12
1.2 Обґрунтування вибору технологічного процесу	13
1.3 Вимоги до зовнішнього вигляду покриття	15
1.4 Підготовка поверхні виробів	15
1.5 Основні стадії технологічного процесу	17
1.6 Вибір складу електроліту для нанесення цинкового покриття	21
1.7 Характеристика цинкатних електролітів	
1.8 Завершальні операції нанесення цинкового покриття	28
1.9 Приготування та коригування електролітів	36
1.10 Контроль якості гальванічного покриття. Видалення недоброякісних покриттів	40 41
Висновки	45
Розділ 2. ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ	
2.1 Характеристика деталей, які підлягають обробці	47
2.2 Карта технологічного процесу	49
2.3 Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання цеху	51
2.4 Визначення виробничої програми цеху	52
2.5 Вибір виду обладнання для нанесення покриття, розрахунок його кількості та габаритних розмірів	52
2.6 Розрахунок габаритних розмірів та кількості барабанних електролізерів	54
2.7 Баланс струму на гальванічній ванні	59
2.8 Визначення напруги на ванні з барабанним електролізером	60
2.9 Вибір джерела струму для гальванічної ванни	63
2.10 Складання балансу енергії на ванні та розрахунок джоулевої теплоти	64
2.11 Розрахунок витрат реагентів та матеріалів для виконання	

річної виробничої програми	65
2.12 Розрахунок витрат води на промивні операції	67
2.13 Технологічна підготовка виробництва	
2.13.1 Визначення оптимального виду руху предметів праці	69
2.13.2 Визначення виробничої площі цеху загальна характеристика приміщень	69
2.13.3 Автоматичне регулювання основних параметрів нанесення цинкового покриття	72
Висновки	73
Розділ 3. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	
3.1 Охорона праці на підприємстві	74
3.1.1 Електропожежна безпека гальванічного виробництва	75
3.1.2 Повітряна зона (ВЕНТИЛЯЦІЯ)	76
3.2 Охорона навколишнього середовища	
3.2.1 Класифікація стічних вод	78
3.2.2 Очищення стічних вод процесу цинкування	80
Висновки	84
ВИСНОВКИ	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	87

ВСТУП

Під час використання виробів з металів та їх сплавів, нам часто доводиться стикатися з проблемою руйнування, відомою як корозія, впливом навколишнього середовища. Корозія металів стається постійно і призводить до значних фінансових збитків. Визначено, що безпосередні втрати заліза від корозії становлять близько 10% щорічної його виплавки. Внаслідок корозії металеві вироби втрачають свої цінні технічні характеристики. Сучасні виробництва, які спрямовані на захист сталених деталей від корозії, використовують різні методи боротьби з нею. Постійне шліфування та полірування призводять до великих втрат заліза, у той час як застосування кольорових металів для захисту сталених деталей, хоч і з більшими економічними витратами, зменшує необоротні втрати заліза та підвищує їхні експлуатаційні характеристики [1].

Захистити метали від корозійної руйнації можна на наступними сучасними методами:

- підвищення хімічної стійкості конструкційних матеріалів;
- ізоляція поверхні металу від агресивного середовища;
- зниження корозії за допомогою зовнішнього струму (електрохімічний захист);
- зменшення агресивності виробничого середовища [2].

Одним із найпоширеніших і ефективних методів захисту металів від корозії, а також поліпшення їхньої стійкості до зношування і тривалості служби є нанесення гальванічних покриттів. Гальванічні покриття значно покращують зовнішній вигляд різних виробів. До захисних покриттів належать металеві і неметалеві покриття, а також хімічна та електрохімічна обробка поверхні деталей [3].

Металеві покриття можна поділити на анодні і катодні в залежності від їхньої захисної дії. Анодні покриття мають більш негативний електрохімічний потенціал у водних розчинах електролітів, ніж захищений

метал, тоді як катодні покриття мають позитивний електрохімічний потенціал. Анодні покриття зазвичай захищають метал від корозії в порах покриття, надаючи електрохімічний захист, тоді як катодні покриття можуть підсилити корозію в порах, проте їх використовують через покращення фізико-механічних властивостей металу, наприклад, зносостійкість і твердість. Однак для катодних покриттів, як правило, необхідна значна товщина, а іноді додатковий захист [5].

Металеві покриття можуть бути отримані різними методами, такими як електролітичне осадження, хімічне осадження, гаряче і холодне нанесення, термодифузійна обробка, металізація напиленням, плакування.

Неметалеві покриття формуються за допомогою нанесення на поверхню різних неметалічних матеріалів, таких як лакофарбові, каучукові, пластмасові, керамічні тощо. Лакофарбові покриття, які можна класифікувати за різними характеристиками (атмосферостійкі, водостійкі, хімічно стійкі тощо), є найпоширенішими серед них.

Покриття, які формуються хімічною та електрохімічною обробкою поверхні, включають в себе плівки нерозчинних продуктів, що утворилися в результаті хімічної взаємодії металів з навколишнім середовищем. Такі покриття, як правило, застосовуються як базові шари під мастила та лакофарбові покриття, щоб збільшити захисну дію покриття на метал та забезпечити надійну адгезію. До методів нанесення цих покриттів відносяться оксидування, фосфатування, пасивування та анодування.

Гальванотехніка - це галузь електрохімії, що включає в себе процеси електрохімічного осадження металів на поверхню металевих і неметалевих виробів. Один із найбільш поширених процесів в гальванотехніці - це електролітичне цинкування, яке становить понад половину всіх металевих покриттів. Високі захисні властивості цинкового покриття, завдяки його анодному характеру, та низька вартість цинку пояснюють його широке використання у різних галузях промисловості. Захист цинку діє не лише при наявності щілин, але й при інших дефектах покриття, таких як подряпини і

забоїни. Ефективність цинкового покриття залежить від його товщини і рівномірності нанесення. Продукти, які утворюються під час корозії цинку, частково заповнюють пори в покритті, що зменшує швидкість корозії [2].

Для підвищення корозійної стійкості цинкового покриття застосовують хроматування або фосфатування. Під час цих процесів відбувається взаємодія поверхні цинкового покриття з компонентами пасивуючого розчину, що призводить до формування додаткового бар'єрного шару, що складається з важкорозчинних сполук, що міцно прилягають до основи. Хроматовані або фосфатовані цинкові покриття демонструють задовільну корозійну стійкість при контакті з деталями, які містять паливо з сірковмісними сполуками [6].

У цьому проекті розроблена технологія і виконаний розрахунок обладнання для нанесення цинкового покриття на сталі вироби. Підібрані оптимальні умови процесу для отримання якісного покриття, що захищає вироби від корозії. Наведена схема управління технологічним процесом.

Мета дослідження. Знайти залежність між складом електроліту та умовами нанесення цинкового покриття електрохімічним методом та властивостями утвореного покриття. Узагальнити результати досліджень щодо впливу компонентів електроліту на умови проведення гальванічного цинкування, на структуру та якість електроосажденного цинку.

Завдання дослідження. На основі аналізу сучасних джерел літератури проаналізувати переваги та недоліки існуючих методів одержання цинкового покриття.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є склад електролітів цинкування, вплив окремих компонентів на якість утвореного покриття, а також розробка технологічної схеми нанесення твердого цинкового покриття з застосуванням модернізованого цинкатного електроліту.

Методи дослідження. Аналіз літературних даних щодо специфіки твердого цинкування, умов нанесення даного типу покриття, залежності його

властивостей від умов проведення гальванічного процесу, складу електролітів цинкування.

Практична цінність. Здійснено аналіз на основі літературних даних електролітів цинкування різного складу та режимів нанесення гальванічного покриття з їх застосуванням. Для процесу цинкування обрано найбільш ефективний та економічно вигідний електроліт.

Елементи наукової новизни. Показано, що покриття, отримані з комплексних цинкатних електролітів при температурі 10 -40 °C і густині струму 0,5 - 20 А/дм² мають такі переваги як: доступність, дешевизна, висока електропровідність, стійкість, нетоксичність. Концентрацію різних компонентів у розчині можна регулювати, щоб забезпечити оптимальні умови для осадження цинку

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

Розділ 1 ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ЦИНКУВАННЯ

1.1 Технічні умови на гальванічну обробку деталей

Технічні умови – це параметри гальванічного покриття із зазначенням умов експлуатації і збереження деталей після покриття.

У даному проекті використовується електрохімічне цинкування, яке є найбільш поширеним процесом у гальванотехніці. Понад половина усіх металевих покриттів належить до цинкових покриттів. Цинкове покриття діє як анод відносно чорних металів і захищає сталь від корозії електрохімічно при температурах до 70 °С, а при вищих температурах - механічно. Таке покриття також запобігає контактній корозії сталей при з'єднанні з деталями з алюмінію та його сплавами, а також забезпечує надійну фіксацію різьбових деталей. По відношенню до інших металів, які застосовуються в гальванотехніці, цинк є малотоксичним для людини.

Для підвищення стійкості до корозії, цинкове покриття може бути хроматування. Хроматування одночасно покращує декоративний вигляд покриття, але при механічному впливі воно може втрачати свою декоративну якість. Без хромування і фосфатування цинкове покриття використовується для забезпечення електропровідності і при обробці пластмас при температурах вище 100 °С. Це покриття має високу адгезію до основного металу, низький опір механічному зносу та підвищену хрупкість при температурах вище 250 °С і нижче 70 °С. Проте воно має обмежену хімічну стійкість при взаємодії з продуктами, що виділяються при старінні органічних речовин. Мікротвердість покриття, що наноситься електрохімічним методом, в середньому, становить 490-1180 МПа; питомий опір при $t = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ становить $5,75 \cdot 10^{-8}\text{ Ом/мм}$ [2].

Цинкові покриття застосовуються для захисту від корозії сталевих деталей що:

- використовують в повітрі різних кліматичних районів, в атмосфері промислових районів (забрудненій SO_2), в закритих приміщеннях з помірною вологістю або забруднених газами і продуктами горіння;
- контактують з прісною водою при температурі не вище $60-70^\circ\text{C}$ (водопровідні труби, живильні резервуари, предмети домашнього вжитку);
- експлуатуються при температурі до 300°C ;
- контактують з паливом, що містять сірчисті сполуками і мастилом.

Швидкість корозії цинку складає, (в мкм/рік):

- 0,5 при чистій сухій атмосфері (пустеля);
- 1,0-1,5 - в сільській місцевості помірного клімату;
- до 5 в чистій вологій атмосфері тропіків;
- 6-8 в місті з атмосферою, забрудненою газами (CO_2 , SO_2 , H_2S);
- до 20 в місті з особливо забрудненою атмосферою;
- 4-20 в атмосфері примор'я.

На швидкість корозії цинку суттєво впливає величина pH середовища. У інтервалі pH 7-12 швидкість корозії цинку мінімальна; вона зростає при відхиленні від вказаних значень.

Захисна дія цинку зберігається не тільки за наявності щілин, але і при інших дефектах покриття (подряпини, забоїни), що є причиною цинкування деталей даного проекту. Крім цього продукти, що утворюються в процесі корозії цинку, частково заповнюють пори в покритті, зменшуючи швидкість корозії [3].

1.2 Обґрунтування вибору технологічного процесу

Нанесення гальванічних покриттів є одним з найпоширеніших методів захисту металів від корозії. Якість гальванічного покриття має значний вплив на якість готових виробів, їхню тривалість служби і експлуатаційні характеристики. Гальванічні покриття знаходять широке застосування в

різних галузях промисловості, не лише як засіб захисту металів від корозії, але і як засіб для покращення різних важливих властивостей виробів.

Гальванічні покриття виготовляють шляхом виділення металу із розчину його солей під впливом електричного струму. У цьому процесі, допоміжний електрод, який підключений до джерела струму позитивним полюсом, виступає як анод, а сама деталь, на яку наноситься гальванічне покриття, є катодом [2].

Залежно від вимог до характеристик деталей, гальванічні покриття можна умовно поділити на три типи:

Захисно-декоративні гальванічні покриття використовуються для надання виробам як декоративних, так і захисних властивостей одночасно.

Захисні електролітичні покриття використовуються для захисту деталей від корозії в агресивних середовищах.

Гальванічні покриття спеціального призначення застосовуються для надання деталям певних спеціальних властивостей, таких як магнітність, твердість, стійкість до зносу, електроізоляція та інші. Також ці покриття можуть бути використані для відновлення пошкоджених деталей.

Цинкові покриття широко використовуються завдяки їх високій захисній якості і відносно невеликій вартості. Оскільки цинк має більш негативний потенціал, ніж залізо, цинкове покриття виступає як анод і захищає сталь від корозії.

У сухому повітрі при кімнатній температурі цинк є хімічно стійким. Проте при вищих температурах, особливо понад 200 °С, він швидко окислюється. У вологій атмосфері або в присутності оксидів сірки, вуглецю, сірководню, хлоридів і деяких органічних кислот цинк може кородувати навіть при кімнатній температурі. Цинкові покриття можуть бути досить стійкими, якщо на їх поверхні утворюються захисні шари внаслідок окислення та накопичення корозійних продуктів.

Для покращення корозійної стійкості цинкових покриттів їх часто піддають хроматуванню або фосфатуванню, що сприяє утворенню бар'єрного

шару, який додатково захищає метал від корозії.

1.3 Вимоги до зовнішнього вигляду покриття

Зовнішній вигляд гальванопокриттів визначається якістю покриття та може мати дефекти. Колір цинкового покриття зазвичай варіюється від сірого до світло-сірого. Під час зберігання оцинкованих деталей може відбуватися помутніння їх поверхні. Утворення білого нальоту на цинковому покритті, який може обсіпатися, може впливати на зовнішній вигляд, але не впливає на захисні властивості. Для покращення захисних властивостей цинкових покриттів їх обробляють в пасивуючих розчинах. Зазвичай цей процес включає обробку цинкового покриття в розчинах хромової кислоти.

Для цинкових покриттів, які підлягають хроматуванню, допускається різний колір, від золотисто-жовтого до жовтуватого-зеленого з веселковим відтінком. Однак темно-жовтий або коричневий колір не приймаються. Допускається відсутність хроматної плівки в порах, раковинах лиття, в швах зварювання та біля них, поблизу щілинних зазорів і невеликих отворів. Також допускається незначне порушення хроматної плівки у вигляді окремих рисок і крапок [6].

Покриття повинно бути рівномірним за товщиною, без пор, суцільним, мати міцний зчеплення з поверхнею металу-основи. Ці параметри зазвичай перевіряються під час контролю якості покриття після його нанесення [7].

1.4 Підготовка поверхні виробів

Підготовка виробів перед нанесенням гальванічного покриття дійсно є дуже важливим етапом, оскільки від неї залежить якість та адгезія покриття, а також його стійкість та ефективність у захисті металу від корозії. Задача підготовки включає в себе кілька етапів:

Механічна обробка - перед нанесенням покриття поверхню деталей слід ретельно обробити механічно, видаливши нерівності, задирки, окалини та інші дефекти. Для цього можна використовувати методи полірування, крацювання або галтування, в залежності від розміру та типу деталей. Після

механічної обробки деталі потребують видалення з поверхні забруднень мастилами, слідів від механічної обробки та ін., яке потребує максимальної чистоти поверхні, а також зняття та змиття оксидних плівок, які накопичуються в результаті взаємодії з навколишнім середовищем. Для цього деталі проходять знежирення, активацію, а також травлення.

Знежирення - видалення жирів та мастил з поверхні деталей є критичним етапом. Жири можуть бути різних походжень, і для їх видалення застосовують органічні розчинники, які підходять для конкретного типу жирів. Знежирення може вимагати декількох етапів. Деталі можуть бути забруднені тваринними і рослинними жирами обох груп. У цьому випадку застосовують попереднє очищення в розчинниках з наступним знежирюванням у лужних розчинах, або вводять у лужні розчини речовини, що сприяють емульгуванню високомолекулярних вуглеводнів. Широко застосовують обробку водними розчинами ПАР, що характеризуються сильною миючою спроможністю.

Очищення від оксидних плівок - оксидні плівки, які утворюються на поверхні металу в результаті взаємодії з атмосферою або водою, можуть перешкоджати адгезії покриття. Тому їх слід видалити шляхом травлення або активації поверхні.

Травлення - цей процес використовує кислоти або їхні солі для видалення оксидних шарів. Травлення може бути хімічним або електрохімічним.

Активація поверхні - після знежирення і травлення поверхню може бути активовано для забезпечення кращої адгезії гальванічного покриття. Це може включати в себе обробку відповідними хімічними розчинами.

Загальний підхід до підготовки поверхні перед гальванічним покриттям може варіюватися в залежності від типу металу, типу гальванічного покриття і специфікацій виробів. Дотримання правильної послідовності і контроль якості на кожному етапі допомагають забезпечити найвищу якість гальванічних покриттів.

1.5 Основні стадії технологічного процесу

Для електрохімічного осадження цинкового покриття на дрібних деталях, таких як болти, спершу необхідно підготувати ці деталі та виконати певні попередні кроки перед гальванічним осадженням:

Механічна обробка: Виготовлення болтів із сталюого дроту на токарних верстатах: Цей етап включає в себе обробку сирового матеріалу (сталюого дроту) на токарному верстаті, де за допомогою різців знімається надлишковий метал і створюється форма болта. Важливо забезпечити гладку і рівну поверхню болта після цієї обробки.

Після нанесення цинкового покриття може бути проведена завершальна обробка, така як хроматування або фосфатування, для поліпшення корозійної стійкості і зовнішнього вигляду покриття.

Цей процес гарантує, що болти мають надійне і стійке цинкове покриття, яке захищає їх від корозії та надає їм естетичний вигляд.

Завантаження: у барабан деталі засипають через завантажувальну грань призми. Так як у барабані відбувається нарощування шару гальванопокриття на контактi, то для зняття шару цинку занурюють барабан в розчин зі слабкою хлоридною кислотою (щоб не активізувати корозію контактiв).

Вказані деталі експлуатуються в районах з вологим кліматом, в яких температура повітря коливається від -45 до +40 °C.

Знежирення та очищення: Після обробки на токарному верстаті болти можуть бути забруднені мастилами або іншими забрудненнями. Спершу їх слід знежирити, використовуючи відповідні розчинники для видалення мастил. Потім поверхню болтів слід очистити від іржі, оксидних плівок і інших забруднень. Це може включати в себе травлення або активацію поверхні.

Процес хімічного знежирення має свої особливості. Під час цього процесу взаємодіють різні види жирів з лугами, що призводить до утворення колоїдного розчину натрієвих солей вищих масних кислот та розчинного у

воді гліцерину. Мінеральні масла, у свою чергу, утворюють емульсію при впливі лугу, особливо за підвищених температур, що допомагає їх видаленню з очищеної поверхні. Важливо зауважити, що при вищій температурі швидкість очищення збільшується, наприклад, при 80°C вона в 4 рази вища, ніж при 60°C.

Для полегшення емульгування мінеральних жирів до розчину додають емульгатори, які забезпечують стійкість емульсії. Ці речовини перешкоджають об'єднанню масляних крапель, що утворюються під час емульгування, на поверхні розділу двох рідких фаз (масла та водяного розчину). Ефективними емульгаторами є поверхнево-активні речовини, які розчиняються як у водній, так і у масляній фазі емульсії.

До складу розчинів, що використовуються для знежирення, крім лугу та емульгаторів, можуть входити кальцинована сода та тринатрійфосфат. Ці солі гідролізуються, утворюючи гідроксильні іони, які компенсують витрату лугу під час знежирення. Тринатрійфосфат також зменшує жорсткість води за рахунок утворення важкорозчинних фосфатів кальцію та магнію, поліпшуючи при цьому миючу спроможність розчину та його здатність утворювати піну.

У даному проекті, спрямованому на нанесення цинкових покриттів на підвісні деталі та деталі, що підлягають обробці у барабані, склад розчину для хімічного знежирення може бути наступним (в г/дм³):

натр їдкий технічний марки ТР – 20-40,

- Натрій ортофосфат – 5-15,
- знежирювач ДВ-301 – 3-5,
- силікат натрію розчинний – 10-30,
- температура – 50-70 °C,
- час обробки – 2-5 хв.

Процес електрохімічного знежирення включає видалення забруднень з поверхні деталей, який може відбуватися на аноді, катоді або комбіновано, супроводжуючись виділенням газу на поверхні деталей. Жирові плівки

руйнуються в результаті емульгування та омилення, а також механічного відриву краплин жиру та мастила під впливом водню на катоді та кисню на аноді, які утворюються під час електролізу. Важливо відзначити, що водень утворюється вдвічі більше за об'ємом, ніж кисень, і лужність в області прикатодного шару вища, тому обробка на катоді забезпечує значно кращу швидкість та якість очищення.

Водень, який утворюється на поверхні деталей, може проникати в поверхневий шар металу і викликати водневу крихкість. Щоб суттєво знизити це явище, рекомендується спочатку знежирювати на катоді, а потім на аноді.

Швидкість знежирювання великою мірою залежить від густини струму. Чим більше жирових забруднень, тим вища густина струму. Збільшення температури також сприяє реакціям омилення та емульгування, підвищує електропровідність розчину і зменшує напругу в ванні. В даному випадку розчин використовується для очищення сталевих, коварних деталей, які підвішують або розміщують у барабанах та ковпаках. Температуру можна знизити до 40°C у барабанах, виготовлених із поліетилену, оргскла або вініпласту, і визначити оптимальний час обробки в залежності від типу виробів шляхом проведення експериментів.

Склад розчину для електрохімічного знежирення (г/дм³):

- натр гідроксид технічний марки ТР – 20-40;
- тринатрійфосфат – 5-15,
- силікат натрію розчинний – 10-30,
- знежирювач ДВ-301 – 1,4-1,9,
- температура – 60-95 °C,
- густина струму – до 10 А/дм²,
- час обробки: на катоді – 0,5-5,0 хв., на аноді – 3-5 хв.

Гаряче промивання.

Промивання - це не лише ретельне очищення поверхні деталей від залишків розчинів і попередніх операцій, але також важливо забезпечити

мінімальну витрату води та уникнути забруднення стічних вод. Якість використаної води є ключовим фактором ефективності процесу промивання. Низька якість води та неефективна система промивки можуть негативно вплинути на якість отриманих покриттів. Наприклад, підвищений вміст кальцію і магнію в воді може спричинити утворення плям на поверхні покриття.

Для промивання захисних покриттів, на які не накладаються спеціальні вимоги, можна використовувати технічну воду. Інші фізико-хімічні показники технічної води не повинні перевищувати гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин у водоймищах для санітарно-побутового використання. В даному проекті передбачено використання одноступінчастої промивки, тобто води проходять через ванну лише один раз. Однак у технологічній схемі також може бути послідовна промивка з використанням ванни для уловлювання розчину, яка розташована після основної ванни та пасиваційної обробки. Ця послідовність допомагає повернути розчин назад до попередньої ванни, зменшуючи втрати і забруднення навколишнього середовища.

Деталі очищують шляхом занурення їх у ванну з проточною або стоячою водою. В гальванічному виробництві розрізняють три типи промивання: холодне (з температурою, яка не регулюється); тепле (при температурі 40-50°C); і гаряче (70-90°C).

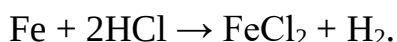
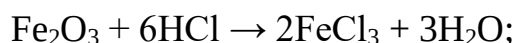
Для даного проекту застосовується гаряче промивання при температурі 70-90 °C у проточній воді.

Холодне промивання включає промивку деталей у холодній проточній воді при кімнатній температурі.

Травлення - це процес видалення продуктів корозії і окисних плівок з поверхні деталей шляхом їх розчинення у кислотах або лужних розчинах. Зазвичай окисні плівки або інші продукти корозії утворюються на поверхні

металу під впливом навколишнього середовища. Такі оксидні плівки можуть утворюватися також під час попередньої обробки металу, наприклад, після термічної обробки сталі, поверхня може бути покрита густим шаром окалини, який складається з суміші оксидів, таких як Fe, Fe₂O₃, Fe₃O₄. Ця плівка може перешкоджати нанесенню гальванічного покриття.

Під час травлення сталевих деталей, яка покрита корозією і занурена в хлоридну кислоту, відбуваються реакції розчинення продуктів корозії і металу:



Використання хлоридної кислоти при підвищеній температурі супроводжується виділенням хлороводню та інтенсивним розчиненням основного металу. Це може призвести до зайвих витрат кислоти, втрати металу та навіть наводнення металу. Щоб запобігти цим негативним наслідкам, в процес вводять інгібітори корозії. Крім того, важливо мати витяжну вентиляцію у ванні для відведення шкідливої пари - хлороводню.

Склад розчину для травлення, г/л:

кислота хлоридна ДСТУ 857-78 – 200-250,

інгібітор – 0,5-1,

температура – 18-25 °C,

час витримки – 20-40 хв.

Холодне промивання включає промивку деталей в холодній проточній воді (ДСТУ 2874-82) при температурі 18-25 °C.

1.6 Вибір складу електроліту для нанесення цинкового покриття

Підбір електроліту для процесу цинкування є складним завданням, яке вимагає докладного аналізу різних факторів. Для нанесення цинкового покриття на обрані деталі в цьому проекті, ми можемо сформулювати наступні основні вимоги до цього покриття:

- Стійкість до відшарування: Покриття повинно надійно триматися на поверхні деталей і не відкріплюватися внаслідок механічних впливів або інших факторів.
- Рівномірність покриття: Важливо, щоб цинкове покриття було рівномірно розподілене по всій поверхні деталей, особливо на кріпильних елементах.
- Твердість та зносостійкість: Покриття повинно бути досить твердим та витримувати умови, які можуть включати тертя та механічні впливи без значного пошкодження.
- Відсутність поруватості: Покриття повинно бути вільним від пор або тріщини, якщо це технічно можливо.

Електролітичне відкладення цинку на катоді може виконуватися за допомогою розчинів, де цинк має різні сполуки. Потенціал електроосадження цинку залежить від типу електроліту і може коливатися від -0,8 В для кислих електролітів до -1,25 В для ціаністих. Хоча потенціал відкладення водню в усіх електролітах цинкування більш позитивний, що, в принципі, могло б заважати відкладенню цинку на катоді, велика концентрація водню на поверхні цинку робить його потенціал більш електронегативним, і, таким чином, сприяє відкладенню цинку на катоді з високою якістю та ефективністю.

Найбільш поширеними в промисловості є кислі, ціаністі, аміакатні і цинкатні електроліти, в яких цинк існує у формі простих або комплексних іонів. Менш розповсюдженими є електроліти на основі амінокислот, таких як етилендіаміновий, моноетаноламіновий і поліетилеполіаміновий. У цих електролітах цинк існує у формі комплексних катіонів з амінами, що сприяє отриманню якісних та рівномірно розподілених покриттів на поверхні. Однак амінокислоти відносяться до токсичних сполук, і поки що не розроблено надійних і простих методів обробки стічних вод, що містять амінокислоти. Це є головною причиною обмеженого використання їх в промисловості. Вибір електроліту для промислового застосування проводиться з рахуванням

необхідної продуктивності, форми і розміру деталей, що покриваються, а також допустимості застосування токсичних сполук. Для цинкування використовують велику кількість електролітів. Вони діляться на кислі та лужні. До кислих електролітів цинкування відносять сульфатні, борфтористоводневі, хлоридні, бензолсульфонові, до лужних – ціанідні, цинкатні, амікатні, пірофосфатні, поліетиленполіамінові.

Сульфатні електроліти для процесу цинкування є відмінним вибором, оскільки вони мають ряд важливих переваг. Ось деякі характеристики і переваги цих електролітів:

- Нетоксичність: Сульфатні електроліти є небезпечними для здоров'я і навколишнього середовища, оскільки не містять токсичних компонентів.
- Стабільність: Ці електроліти стабільні та здатні забезпечити сталу якість покриття на деталях протягом тривалого періоду.
- Висока продуктивність: Вони дозволяють досягти високого катодного та анодного виходу цинку при процесі гальванізації, близького до 100%.
- Менша ступінь наводнення: Деталі, покриті в сульфатних електролітах, мають менше наводнення, що робить їх ідеальними для тонкостінних і термічно оброблених деталей, таких як пружини, пружинні шайби, контакти тощо.
- Доступність і економічність: Сульфатні солі цинку широко доступні та відносно дешеві, що робить їх вигідним варіантом для багатьох виробників.

Хоча у сульфатних електролітах є деякі недоліки, такі як низька розсіювальна здатність, яка обмежує їхню придатність для складнопрофільованих деталей, ці недоліки можна компенсувати за допомогою добавок, які поліпшують розсіювальну здатність. Таким чином, сульфатні електроліти широко використовуються для покриття деталей з простими формами, такими як кріпильні елементи, листи, проволока, і

виявляються ефективними як в стаціонарних, так і автоматичних лініях виробництва.

Склад сульфатних електролітів для цинкування включає наступні компоненти: солі цинку, буферні добавки, солі для підвищення електропровідності, та поверхнево-активні добавки, які поліпшують якість та структуру отриманих покриттів. Сульфат цинку найчастіше використовується як сіль цинку у таких електролітах. Буферні добавки можуть включати борну кислоту, солі оцтової кислоти, сірчанокислий алюміній або алюмінієві квасці, які підвищують стабільність робочого розчину. Для підвищення електропровідності розчину до нього додають сульфати або хлориди натрію та амонію.

Кислі електроліти не токсичні, стабільні, високопродуктивні, порівняно дешеві. Катодний і анодний вихід цинку за струмом в цих електролітах близький до 100%. Деталі, що покриваються в кислих електролітах, мають значно меншу ступінь наводнення, ніж в інших електролітах цинкування, тому в них рекомендується покривати тонкостінні, термічно оброблені деталі (пружини, пружинні шайби, контакти та ін.). До недоліків сульфатних електролітів слід віднести низьку розсіювальну здатність, що не дозволяє покривати в них складно профільовані деталі. Існує ряд добавок, які покращують розсіювальну здатність, однак найбільш широко кислі електроліти застосовуються для покриття деталей не складної конфігурації – кріпильних, листів, проволоки, як в стаціонарних так і в автоматичних лініях.

Приклад складу сульфатного електроліту цинкування для виробів, щозасипаються в барабан (г/л):

$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 200-220;

$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ – 70-80;

CH_3COONa – 15-20;

декстрин – 10; $(\text{CH}_2)_6\text{N}_2$ – 0,2-0,3;

pH – 3,5-4,5; i_k – 1,0-1,5 А/дм²; t – 18-25 °С.

До кислих електролітів відносять також фторборатні електроліти цинкування, які дозволяють отримати високоякісні покриття при високій катодній густині ($\geq 15 \text{ А/дм}^2$). Дані електроліти забезпечують хорошу якість зчеплення покриття при їх нанесенні на пасивуючі підлоги, в більшості на хромисті сталі. Катодний вихід за струмом цих електролітів $\sim 100\%$. Недоліком цих електролітів являється їх низька розсіювальна здатність, тому їх використовують для цинкування деталей не складної конфігурації – проволочки та стрічки на прохід.

Склад (г/л) та режим роботи фторборатного електроліту:

фторборат цинку – 250-300,
фторборат амонію – 25-30,
борна кислота – 10-15, тіомочевина – 4,0-5,0,
ПАР – 1,5-2,0, рН – 3,0-4,5,
 $i_k \leq 4,0 \text{ А/дм}^2$ при кімнатній температурі,
 $\leq 10 \text{ А/дм}^2$ при 35-40 °С.

Ціанідні електроліти виділяються особливою розсіювальною здатністю, яка перевищує подібні властивості у всіх інших електролітах, що використовуються в процесі цинкування. Використання ціанідних електролітів сприяє отриманню мікроосадів з дрібним зерном та малою пористістю.

Проте, до недоліків ціанідних електролітів слід відзначити декілька важливих питань. По-перше, ці електроліти мають високий токсичний потенціал, що ставить під загрозу здоров'я людини та довкілля. По-друге, їхній склад може бути нестійким через карбонізацію ціанідних сполук, що призводить до змін у якості покриття. Також, в порівнянні з деякими кислими електролітами, такими як фторборатні, ціанідні електроліти можуть мати меншу швидкість осадження, що може впливати на продуктивність процесу. Крім того, вартість ціанідних електролітів може бути високою, що робить їх менш доступними для деяких застосувань.

Основними компонентами цих електролітів являються ціанідні комплексні солі цинку $\text{Na}_2\text{Zn}(\text{CN})_4$ або $\text{K}_2\text{Zn}(\text{CN})_4$, цинкат натрію (Na_2ZnO_2)

або калію, вільний ціанід – NaCN або KCN, вільний луг – NaOH або KOH. Вільний ціанід і луг не тільки утворюють комплексну сіль цинку, але і забезпечують збільшенню електропровідності розчинів, відсторонюють пасивацію анодів, забезпечують стійкість комплексних солей, попереджуючи їх гідроліз. Крім вказаних солей, в ціанідних електролітах присутні карбонати лужних металів, які утворюються за рахунок карбонізації ціаніду і лугу вуглекислотою повітря. Для покращення якості та блиску осадів цинку в ціанідні електроліти вводять спеціальні добавки, серед яких найбільш практичне застосування отримали гліцерин, сульфід натрію, солі тяжких металів, різні, в основному органічні блискоутворювачі.

Склад одного з поширених ціанідних електролітів (г/л), що застосовується у стаціонарних ваннах та барабанах:

ZnO – 40-45;

NaCN (KCN) – 80-85;

NaOH (KOH) – 40-60;

$i_k - 1,5-2,0 \text{ A/дм}^2$; $t - 18-25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Пірофосфатні електроліти проявляють високу розсіювальну здатність, що наближається до розсіювальної здатності ціанідних електролітів. У цих електролітах цинк існує у формі комплексного аніона - $[\text{Zn}(\text{P}_2\text{O}_7)_2]^{6-}$. Приємно відзначити, що пірофосфатні електроліти не є токсичними, і їхнє використання не вимагає вентиляції з відведенням газів. Однак основним недоліком цих електролітів є обмежена розчинність пірофосфата цинку, що призводить до проведення осадження при відносно низьких густинах струму. Для цинкування в барабанах і стаціонарних ваннах рекомендується використовувати електроліт з таким складом (г/л): сульфат цинку - 35-40, пірофосфат калію - 140-150, гідрофосфат натрію - 50, декстрин - 10, інтенсивність струму (i_k) - $0,3-1,0 \text{ A/дм}^2$, температура (t) - $18-25 \text{ }^\circ\text{C}$, рівень pH - 11,2-11,6, коли деталі поміщаються в барабанах. У стаціонарних ваннах при температурі $50 \text{ }^\circ\text{C}$ та активному перемішуванні густину струму можна збільшити до $4-5 \text{ A/дм}^2$.

Амінокомплексні електроліти – на основі амінокомплексних сполук. В якості комплексоутворювачів в цих електролітах використовують етилендіамін, моноетаноламін, триетаноламін, поліетиленполіамін та деякі інші комплексоутворювачі. Дані електроліти мають не погану розсіювальну здатність, практично не токсичні.

Приклад складу (г/л) одного з амінокомплексних електролітів, які проходять при $t - 18-25\text{ }^{\circ}\text{C}$: $\text{ZnO} - 30$, $\text{NH}_4\text{Cl} - 180$, желатин (або столярний клей) – 1-1,5, $i_k - 1-2\text{ А/дм}^2$, $\text{pH} - 8-9$.

Хлорамонійні електроліти можуть ефективно працювати як у кислому, так і в лужному середовищі. У них порівняно велика розсіювальна здатність,

широкий інтервал робочих густин струму прикатодному виході за струмом, близькому 100%. Із цих електролітів отримують світлі, дрібнозернисті, добре освітлювальні осади цинку. В склад хлор амонійних електролітів входять сіль цинку, хлорид амонію, буферні сполуки і добавки різного призначення.

Склад хлор амонійного електроліту для отримання матового осаду:

1. у стаціонарних і автоматичних лініях: $\text{ZnO} - 12-15\text{ г/л}$, $\text{NH}_4\text{Cl} - 240-260\text{ г/л}$, $\text{H}_3\text{BO}_3 - 20-25\text{ г/л}$, $\text{pH} - 5,8-7,5$, $i_k - 0,5-1,5\text{ А/дм}^2$, $t - 20-30\text{ }^{\circ}\text{C}$;
2. у барабанах та коло колах: $\text{ZnO} - 100\text{ г/л}$, $\text{NH}_4\text{Cl} - 300\text{ г/л}$, клей міздровий – 5-6 г/л, $\text{pH} - 7,8-8,4$, $i_k - 2-4\text{ А/дм}^2$, $t - 20-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Одним із основних недоліків цих електролітів є наявність амонієвих солей у стічних водах, що суперечить сучасним санітарним нормам, оскільки максимально допустима концентрація аміаку в стічних водах становить 2,5 мг/л. Крім того, амонійні солі у стічних водах утворюють комплексні сполуки з іонами нікелю, міді та інших важких металів, які важко очищувати або ускладнюють процес очищення стічнихвод.

Використання електролітів, що містять поверхнево-активні речовини і блискоутворювачі, значно розширило робочий діапазон густини струму, поліпшило якість покриттів та стабілізувало процес.

У даному проекті будуть використовуватися цинкатні електроліти, які

можуть відповідати зазначеним вимогам до покриттів. За їхньою розсіювальною здатністю вони наближаються до ціанідних і можуть бути використані для заміни ціанідних і аміакатних електролітів. Цинкатні електроліти є простими та більш стійкими за складом порівняно з ціанідними, не вимагають особливого догляду і є економічно вигідними. Крім того, вони мають широкий діапазон допустимих густин струму. Останні роки досліджень, спрямованих на покращення характеристик безціанідних електролітів, призвели до розробки ефективних технологій процесів цинкування, що активно впроваджуються в промисловості.

Загалом лужні електроліти є найбільш універсальними. Вони характеризуються високою розсіювальною здатністю, забезпечують рівномірне за товщиною осадження покриття з високою корозійною стійкістю на деталях складної конфігурації, осадки мають дрібнокристалічну структуру в широкому інтервалі густин струму. За складом лужні електроліти поділяються на цинкатні, ціаністі, аміакатні. Основним їх компонентом є іон цинку Zn^{2+} в складі аніонних комплексних сполук з гідроксильними або ціанідними групами, катіонних комплексів з молекулами аміаку. Кожний електроліт має свої переваги та недоліки, дає змогу наносити покриття різного призначення. Цинкатні та аміакатні електроліти застосовуються для заміни отруйних ціаністих електролітів [3].

1.7 Характеристика цинкатних електролітів

Останнім часом для осадження цинкових покриттів частіше застосовується комплексний цинкатний електроліт, основними перевагами якого є доступність, дешевизна, висока електропровідність, стійкість, нетоксичність. Концентрацію різних компонентів у розчині можна регулювати, щоб забезпечити оптимальні умови для осадження цинку [1].

Покриття, що осаджуються з цинкатних електролітів, до складу яких входять тільки сполуки цинку та натрій гідроксид, мають переважно губчасту структуру та утворюються при невисокій густині струму. У

цинкатних електролітах цинк існує у вигляді комплексних аніонів ZnO_{22-} , $\text{Zn}(\text{OH})_{42-}$, які утворюються при розчиненні оксиду цинку або гідроксиду цинку в надлишку розчину гідроксиду натрію. Висока розсіювальна здатність цинкатних електролітів пояснюється не тільки значним катодним застосуванням при відкладенні цинку, але також їхньою відмінною електропровідністю.

Для покращення якості покриття раніше використовували органічні комплексоутворювачі. Проте вони утворюють стійкі хелатні комплекси, які складно утилізувати при очищенні стічних вод. Тому сучасні лужні електроліти, як правило, не містять органічних комплексоутворювачів, але в них вводять композиції органічних добавок або деякі солі металів [3].

Гладенькі блискучі однорідні покриття утворюються з застосуванням полімерних багатофункціональних поверхнево-активних речовин. Нині запатентовано більше 200 композицій блискоутворюючих добавок до лужних електролітів цинкування. Їх основною є поліаміни та їх похідні (зокрема четвертинні амонійні солі поліетиленполіаміну), полігуанідин, фенолформальдегідна смола, ароматичні альдегіди і кетони, сульфурвмісні сполуки, і т. д. [3]

Блискоутворюючою добавкою, яку використовують для процесу цинкування, є вітчизняний препарат ЦИНК-ДЕКОР (БЛЩ, ПТАС), який забезпечує утворення якісного покриття та є дешевим в порівнянні з блискоутворювачами іноземних виробників [6]. Склад електроліту та режим нанесення покриття наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Склад цинкатного електроліту з добавкою ЦИНК-ДЕКОР (БЛЩ, ПТАС)
та режим нанесення покриття

Найменування	Хімічна формула	Концентрація	pH	Температура, °C	Густина струму, А/дм ²	Вихід за струмом, %
Цинк оксид	ZnO	8-13 г/л	10	10-40	0,5-20	95
Натрій гідроксид	NaOH	100– 120 г/л				
ЦИНК-ДЕКОР (БЛЩ)		5 мл/л				

Розроблено композицію органічних блискоутворюючих добавок, що дозволяє одержувати рівномірні блискучі цинкові покриття з лужних ціаністих та неціаністих електролітів в діапазоні 0,1-6,0 А/дм² при температурі 15-45°C. Основою композиції електроліту є водорозчинний полімер (в концентрації 0,1-1 г/л), що містить третинні або четвертинні аміноалкілакриламідні групи, що чергуються, поліетиленполіаміни, який синтезують з дихлоретилену з аміаком, взятих у співвідношенні 4:1 (в концентрації 0,1-2 г/л) та продукти конденсації епігалогенгідрину та нікотинаміду у співвідношенні 1:1 ((в концентрації 0,1-1 г/л). Додатково із зазначеними добавками як блискоутворювачі можна застосовувати ванілін, анісовий альдегід, піперонал, поліаміни, полівініловий спирт у кількості 0,1 -0,5 г/л [6].

Цинкатні електроліти з блискоутворюючими добавками на основі розчинних полімерних тетраалкіламонієвих солей за сукупністю технологічних, екологічних та економічних показників мають переваги щодо інших електролітів цинкування.

Отже, на відміну від ціаністих та амікатних електролітів цинкування в розроблених електролітах діапазон густини струму для отримання якісних

осадів мало залежить від концентрації основних компонентів (іонів цинку та лугу), тому саме введення в електроліт полімерних добавок впливає на процес електроосадження.

Здатність лужних комплексних електролітів забезпечити надійний захист металу залежить від якості підготовки поверхні перед цинкуванням. Поверхню металу слід ретельно очистити від бруду, жиру та інших забруднень, щоб забезпечити максимально ефективне зчеплення з цинковим покриттям. Також для покращення захисних властивостей цинкові покриття піддають пасивації у розчині хромової кислоти або її солей у кислому середовищі, що підвищує стійкість виробів в вологій атмосфері або при контакті з агресивними неорганічними (аміак, сірководень) та органічними (фенол, формальдегід, органічні кислоти) сполуками [1].

При застосуванні цинкатних електролітів на катоді спостерігається переважно концентраційна поляризація. Тому зі збільшенням температури та концентрації цинку показник густини струму зростає. Для рівномірного розчинення цинкових анодів та стабільної роботи електроліту необхідно підтримувати співвідношення концентрації іонів цинку та лугу приблизно 1:10. При недостатній кількості лугу значно зменшується електропровідність розчинів, спостерігається пасивація анодів, на яких осідає нерозчинний цинк гідроксид та зменшується концентрація розчинної комплексної солі цинку. На аноді починає виділятися кисень. При вищих концентраціях лугу утворюються драглисті та губчасті осади [3].

Якість, властивості та структура покриттів, отриманих з цинкатних електролітів з вмістом полімерних сполук, залежать також і від їх будови. Так, у присутності поліетиленполіаміну при низькій густині струму (0,2-1,0 А/дм²) утворюються грубокристалічні покриття з пухким чорним нальотом. Для поліпшення структури покриттів в електроліти крім поліетиленполіаміну вводять додаткові добавки тіомочевини, 2-меркаптобензтіазолу (каптакс), а підвищення блиску - ароматичні альдегіди. В електроліти з добавкою полігуанідину введення додаткових сполук для отримання блискучих покриттів

не потрібно [6].

Розроблено композиції цинкатних електролітів, що містять органічні речовини, з яких можна отримати осад гарної якості в широкому інтервалі густин струму. Наприклад, у присутності добавки поліетилендиміну в концентрації 1 г/л відбувається зсув значень катодного потенціалу в бік негативних значень. Це призводить до виділення водню та зменшує вихід цинку за струмом, що обумовлює рівномірний розподіл металу.

Утворене блискуче цинкове покриття відрізняється пластичністю та дрібнокристалічною структурою. При використанні всього комплексу нових технологій – холодного електрохімічного знежирення, цинкування та пасивації без хрому (VI), на практиці досягається максимальний економічний та екологічний ефект [1,3].

За основними технологічними показниками (розсіююча здатність, швидкість осадження) цинкатні електроліти поступаються ціаністим і слабкокислим. Тому їх слід застосовувати переважно для цинкування деталей не дуже складної конфігурації. При цинкуванні складнопрофільованих виробів використовують електроліт з низькою концентрацією цинку, але швидкість нанесення покриття з такого електроліту значно зменшується (0.1-0,2 мкм/хв) за рахунок зниження густини струму (до 1 А/дм²) та виходу цинку по струму (до 50-60%). Тому лужні безціаністі електроліти доцільно застосовувати в тому випадку, коли з технічних причин (через відсутність ванн з кислотостійким облицюванням) не можна використовувати слабкокислі або нейтральні електроліти цинкування, або в невеликих гальванічних цехах малої продуктивності. Ці електроліти можна застосовувати також для ванн дзвонового та барабанного типу.

На відміну від кислих і слабкокислих електролітів у лужних електролітах швидкість осадження визначається не тільки густиною струму, а й катодним виходом металу за струмом, який залежить від густини струму. При заданій робочій густині струму катодний вихід металу в залежності від складу електроліту змінюється. Зниження концентрації цинку в електроліті призводить

до зменшення виходу цинку за струмом тим більше, чим вищою є густина струму.

Також покращити якість утворених покриттів можна шляхом введення незначної кількості солей таких металів, як ртуть, олово або свинець, які сприяють підвищенню розсіювальної здатності електролітів [7]. Склад цинкатного електроліту з добавкою натрій станату та режим нанесення покриття наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Склад цинкатного електроліту з добавкою натрій станату
та режим нанесення покриття

Найменування	Хімічна формула	Концентрація, г/л	pH	Температура, °C	Густина струму, А/дм ²	Вихід за струмом, %
Цинк оксид	ZnO	5	8	20-25	2	98
Натрій гідроксид	NaOH	65				
Натрій станат	Na ₂ SnO ₃	0,3				

Причиною виникнення губчастого покриття за умов відсутності добавок в складі електроліту цинкування може бути утворення колоїдних частинок цинку або частинки не повністю окисненого цинку, які утворюються внаслідок нерівномірного розчинення цинку на аноді. Введення до складу цинкатних електролітів невеликих кількостей солей ртуті (0,1 – 0,2 г/л), олова (0,25 – 0,5 г/л) і свинцю (0,05 г /л) сприяє повному окисненню цинку на аноді. [7]

Оскільки на параметри електроосадження та якість цинкових покриттів з цинкатних електролітів впливають блискоутворюючі добавки, необхідно забезпечити постійний контроль за їх вмістом у ванні. При недостатній концентрації добавки утворюється матове покриття, з пригарами по краях, знижується розсіювальна здатність. Передозування веде до зростання

внутрішньої напруги, підвищення крихкості, зниження виходу металу за струмом.

Домішки солей Cu, Ni, Pb, Fe, які містяться в технічному натрій гідроксиді, є шкідливими для гальванічного цинкування, оскільки значно погіршують якість покриття при концентрації 0,05—1 г/л. Їх осаджують шляхом додавання в електроліт натрій сульфід з подальшою фільтрацією [6].

Недоліком цинкатних електролітів є значна швидкість хімічного розчинення цинкових анодів за відсутності струму та надлишку вільного лугу. Протягом зміни у непрацюючій ванні залежно від складу електроліту та площі анодів спостерігається зростання концентрації цинку на 1-3 г/л.

Також нормальне розчинення анодів погіршується при зниженні концентрації лугу, яке відбувається внаслідок його хімічної взаємодії з вуглекислим газом повітря.

Таким чином, цинкатні електроліти з блискоутворюючими добавками неорганічного та органічного походження є перспективними для гальванічного осадження якісних цинкових захисно-декоративних покриттів. Застосування нових полімерних добавок дозволило створити мало компонентні нетоксичні електроліти, що забезпечують заданий рівень технологічних параметрів при одночасному зниженні в 2-5 разів концентрації іонів цинку. Тому цинкатний електроліт забезпечує більш економне використання цинку для захисту складнопрофільованих деталей. Цинкатний електроліт має високу розсіювальну здатність та електропровідність і в певних умовах може замінювати ціаністі електроліти при покритті рельєфних виробів та при цинкуванні дрібних деталей у барабанах. Покриття, осаджені з цинкатних електролітів, за товщиною є більш рівномірними, ніж покриття, отримані з кислих електролітів. Також перевагами цих електролітів є нетоксичність, відсутність наводорожування сталі, простота складу, приготування та коригування в ході експлуатації. [7].

ОБРАНО ДЛЯ ПРОЦЕСУ

Для даного процесу обрано цинкатний електроліт з добавками серії ЛВ (ЛВ-4584, ЛВ-8490). Процес гальванічного цинкування з ЛВ-4584 дає змогу наносити рівномірні, корозійностійкі, напівблискучі захисно-декоративні цинкові покриття з мінімальною витратою реагентів, тепла й електрики. Склад цинкатного електроліту з добавкою ЛВ-4584 та режим нанесення покриття наведено в таблиці 3

Таблиця 3

Склад цинкатного електроліту з добавкою ЛВ-4584
та режим нанесення покриття

Найменування	Хімічна формула	Концентрація	pH	Температура, °C	Густина струму, А/дм ²	Вихід за струмом, %
Цинк оксид	ZnO	8-12 г/л	8	15-45	2-6	95-98
Натрій гідроксид	NaOH	90 – 120 г/л				
ЛВ-4584	20% водний розчин полісульфону	4-6 мл/л				

Перевагами цього блискоутворювача є невисока вартість і утворення якісних цинкових покриттів з відсутністю пригарів та відлущування під час вигинів і на гладкій поверхні. Також особливою відмінністю добавки є її здатність утворювати високоякісні цинкові покриття під час роботи з нерозчинними анодами, в широкому діапазоні температур електроліту (від 5-10 до 60-80° C) та катодної густини струму (0,1–100 А/дм²), що дає змогу застосовувати її в будь-яких ваннах і лініях гальванічного цинкування. Добавка ЛВ-4584 є єдиним розчином, який вповні здатен замінити ціаністі електроліти цинкування. Коригування складу електроліту відбувається за

контролем концентрації іонів цинку [8].

1.8 Завершальні операції нанесення цинкового покриття

В технологічному процесі гальванічного покриття, конкретно цинкування, завершальні операції включають в себе такі кроки: промивання, освітлення, промивні ванни для збору рідини, пасивація та сушка.

Промивка та уловлення деталей є обов'язковою операцією, що виконується після кожного основного етапу обробки. Метою промивальних операцій є запобігання негативному впливу залишків робочих розчинів на якість обробленої деталі і контроль рівня небажаних домішок у технологічному розчині. В багатьох гальванічних цехах використовується метод занурення для цієї операції. Цей метод застосовується під час промивки деталей, які мають пази, виступи або обробляються насипом. У вас проекті, вода для промивки подається в теплій формі після попередньої холодної промивки в проточній воді. Водопровідна вода, без підігріву, використовується для ванн збору рідини. Розчин, зібраний з ванни уловлення, може бути використаний для поповнення об'єму електроліту для цинкування та пасивації.

Цинкування. Наступною операцією, після промивки, буде цинкування. Режим та склад розчину наведені при виборі електроліту та в технологічній карті.

Уловлення. Провести промивання деталей у холодній не проточній воді без підігріву. Розчин з ванни уловлювання застосовувати для поповнення об'ємів електроліту цинкування.

Холодна промивка. Промити деталі в холодній проточній воді при ненормованій температурі.

Освітлення застосовується для оцинкованих деталей, коли їх поверхня містить темні плями та інші забруднення, які можуть легко розчинятися в кислоті. Після цієї операції деталі стають світлішими. Важливо ретельно контролювати стан розчину для освітлення та уникати попадання в нього

солей міді та інших тяжких металів, навіть у невеликих кількостях, оскільки це може призвести до затемнення цинкового покриття. Джерелом такого забруднення можуть бути промивні води або латунні деталі, які впали на дно ванни.

Операцію освітлення можна виконувати в одному з таких розчинів (г/л):

- нітратна кислота – 10-30;
- хромовий ангідрид – 100-150 або сульфатна кислота – 8-10.

Температура розчинів зазвичай коливається в межах 15-25 °С, а час експозиції деталей в першому розчині складає від 2 до 10 секунд, в другому – від 2 до 5 секунд. Для забезпечення безпечного процесу цинкування переважно використовують перший розчин.

Пасивація цинкових покриттів є важливою операцією у виробництві. У атмосфері високої вологості та змінної температури при впливі кисню повітря та промислових газів, цинк швидко піддається корозії, утворюючи білі корозійні відклади. Щоб підвищити захисні властивості цинкового покриття, деталі пасивують безпосередньо після нанесення покриття шляхом хімічної обробки в хромових або безхромових кислих середовищах.

У процесі пасивації застосовують сполуки шестивалентного хрому, які, на жаль, є дуже токсичними і канцерогенними. Крім токсичності, хроматні плівки втрачають свою захисну властивість при нагріванні вище 100 °С, що може бути негативним для деталей, які працюють в гарячих умовах.

Тому однією з альтернатив пасивації є створення захисної плівки на цинку в кислих електролітах з трьохвалентним хромом (розчин хромитування). Плівки з цих розчинів є термостійкими і не втрачають своєї захисної властивості при нагріванні. Хроматні плівки мають хорошу корозійну стійкість, приближаючись до хроматних плівок, і мають переваги з екологічної та економічної точок зору. Застосування цих розчинів дозволяє підвищити ефективність та безпеку процесу пасивації [8].

Склад деяких електролітів, які використовуються при пасивації:

- 1) Ліконда 24А – 8-12 г/л, Ліконда 24В – 8-12 г/л,
- 2) Ліконда 27 – 45-55 мл/л, кислота азотна – 4,9-5,2 мл/л,
- 3) молібдат амонію – 4-8 г/дм³, хлорид амонію – 40-60 г/дм³, борна кислота – 10-20 г/дм³, час обробки 30-60 с. [9].

Температура в двох перших кімнатна, час обробки 1,5-2 хв. З електроліту (1) отримують прозорі безбарвні, з блакитним відтінком пасивуючі плівки на блискучих цинкових гальванопокриттях, що є із слабо кислих електролітів і яскраво-веселкові плівки з лужних електролітів цинкування. Електроліт (2) призначений для отримання прозорих безбарвних з блакитним відтінком хроматних плівок на блискучих цинкових гальванопокриттях, що отримуються із слабо кислих, лужних та ціаністих електролітів цинкування.

Електроліт (3) – без хромової пасивація. Пасивні плівки мають кольорову гамму від жовтуватого до веселкового кольору. При обробці цинкових покриттів в цьому розчині втрат цинку не спостерігається і плівка залишається стійкою деякий час навіть в 1%-ому розчині хлоридної кислоти.

В цьому проекті беремо умовно електроліт (2), що необхідно для умов та вигляду даних деталей, електроліт (3) є важкодоступним.

Уловлення. Провести промивання деталей у холодній не проточній воді без підігріву. Розчин з ванни уловлювання застосовувати для поповнення об'ємів електроліту хроматування.

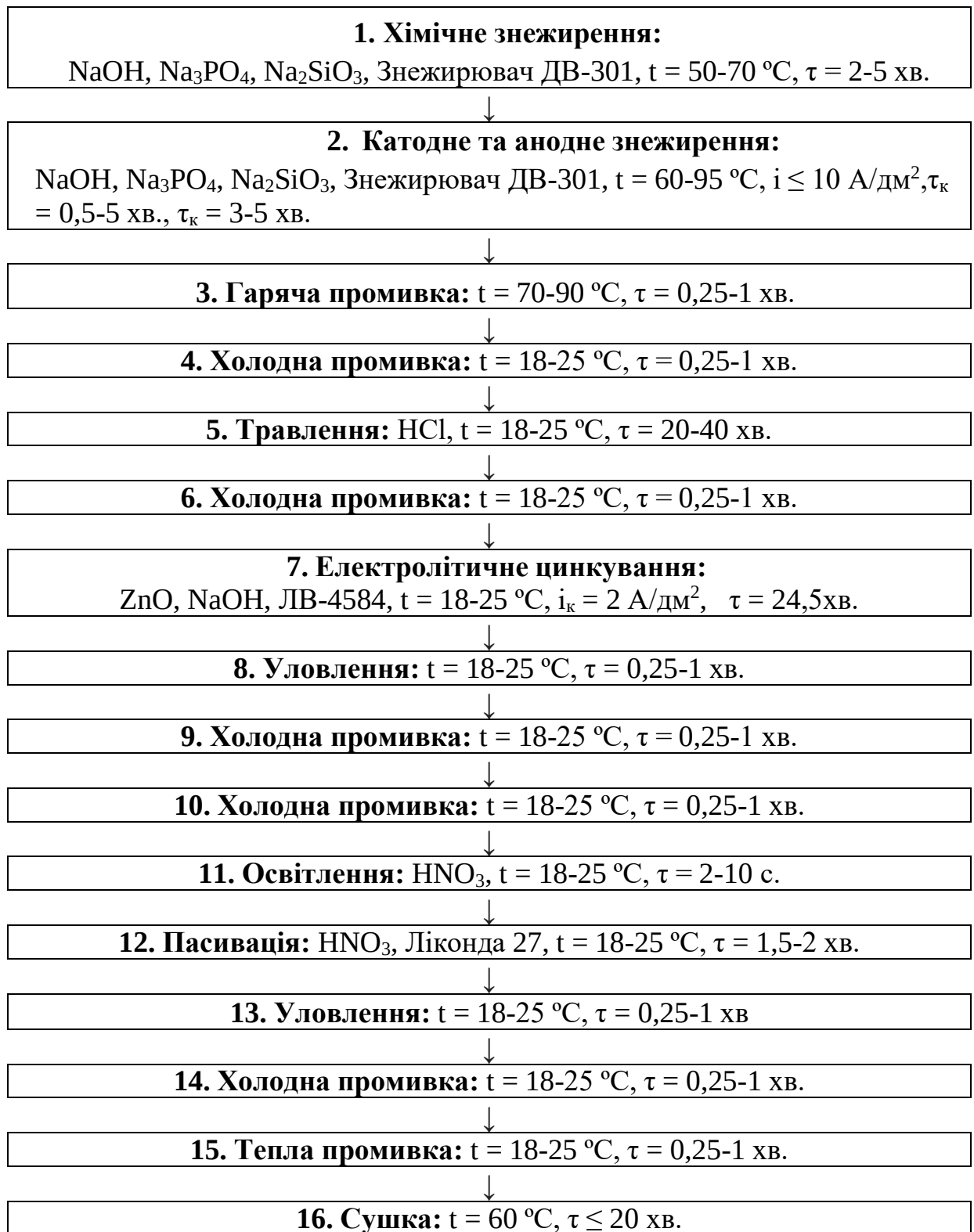
Холодне промивання. Промити деталі в холодній проточній воді при ненормованій температурі.

Тепла промивка. Провести промивання деталей у теплій не проточній воді при температурі 40-50 °С.

Сушка. Після обробки деталі ретельно промивають в холодній і теплій воді і сушать при температурі не вище 60 °С. Нагрів до більш високих температур приводить до розрухи пасивної плівки внаслідок її дегідратації. Після сушки деталі рекомендується витримати при кімнатній температурі 20-40 годин, при цьому завершується процес твердіння плівки. [6].

Демонтаж деталей. Проводити в зоні демонтажу деталей.

Схема технологічного процесу



1.9 Приготування та коригування електролітів

Приготування і коригування складу електролітів. Електроліти приготавливають наступним чином: їдкий натр розчиняють в окремій порції води, куди при безперервному перемішуванні додають невеликими порціями оксид цинку до повного розчинення. Потім розчин фільтрують через лудСТУїйкий фільтр в робочу ванну. В останню чергу додають блискоутворювач та інші добавки. Блискоутворювач ЛВ-4584 додають тільки при приготуванні розчину. Корегування електроліту по основним компонентам (оксид цинку та гідроксид натрію) здійснюється по даним хімічного аналізу. Додаткові компоненти вводять по мірі погіршення зовнішнього вигляду покриття. [6].

При приготуванні і корегуванні електроліту дотримуватися середньої концентрації компонентів. Аналіз електроліту на вміст цинку, гідроксиду натрію, карбонатів проводять двічі на тиждень. Карбонізація електроліту призводить до зменшення електропровідності, що негативно впливає на розсіювальну здатність і погіршує розчинення анодів. Збереження постійної концентрації цинку в електроліті проводити регулюванням анодного розчинення цинку. Оксид цинку визначають ваговим методом.

Необхідні реактиви: HNO_3 (густина $1,4\text{г/см}^3$); CH_3COOH - 80%-на; NH_4OH - 25%-ний розчин; $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ - 10%- ний розчин; $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ -1%- ний розчин; метиловий оранжевий. [7].

Хід аналізу: До 5 мл електроліту в конічній колбі місткістю 250 мл додають 5 мл води, 2 мл HNO_3 , розчин нагрівають і випарюють насухо. Після охолодження доливають 100 мл гарячої води і нейтралізують аміаком по метиловому оранжевому до слабкого запаху. Додають оцтову кислоту до нейтральної або слабокислої реакції і нагрівають розчин до кипіння. Після охолодження додають 20 мл 10%-го $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ і нагрівають розчин майже до кипіння. Осад відстоюють в тепломі місці 30хв, відфільтровують через подвійний фільтр «синя стрічка», промивають гарячим 1%-ним розчином $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, потім 3-4 рази холодною водою, висушують, прожарюють при

90°C (не вище), охолоджують і зважують.

Визначення вмісту NaOH. Вміст NaOH визначають за допомогою комірки для вимірювання провідності, оскільки в основному NaOH відповідає за електропровідність розчину. В комірку заливають розчин електроліту, визначають значення його провідності, виходячи з цього значення обчислюють концентрація NaOH.

Аноди застосовувати з цинку марки ЦО. Аноди підвішують на штанги за допомогою латунних, мідних або сталевих гачків. При цьому недопустимий контакт мідних або латунних гачків з електролітом. Іони Zn^{2+} поступають в розчин за рахунок розчинення цинкових анодів, і коли Zn^{2+} накопичується дуже багато, частина цинкових анодів замінюється сталевими, щоб довести концентрацію Zn^{2+} до оптимального рівня. При тривалому знаходженні ванни в неробочому стані відбувається накопичення цинку в електроліті із-за хімічного розчинення анодів. Тому при простоях ванни з неї необхідно видаляти цинкові аноди. Аналіз на зміст окислу цинку проводити не рідше 1-2 рази в тиждень. Аналіз на луг проводити не рідше за 1 раз на місяць.

1.10 Контроль якості гальванічного покриттяВидалення недоброякісних покриттів

Якість цинкового покриття оцінюють по:

- а) зовнішньому виду;
- б) товщині покриття (згідно конструкторської документації);
- в) міцності зчеплення.

Ці показники повинні відповідати вимогам до покриття, згідно ДСТУ 9.301-86. Контроль проводиться на 100 % деталей неозброєним оком в добре освітлюваному приміщенні на відстані 25 см від контрольованої поверхні. На вигляд: - покриття, одержані з електроліту цинкування від ясно сірого з блакитним відливом (при безбарвній пасивації) до темно сірого; - на поверхні покритих деталей як наслідок відхилень, що допускаються, на поверхні

основного металу можуть бути: сліди від механічної обробки прокату і інші відхилення допускаються стандартами або технічними умовами на основний метал, плями і темні смуги в труднодоступних для зачистки отворах; - на поверхні деталі, покритої необхідним покриттям не є браком наступні ознаки: нерівномірність кольору і блиску, сліди від потьоків води і розчинів хромових і фосфатних солей, «засвітлення», що утворилися при контролі вимірювальними інструментами і пристосуваннями; - на поверхні деталі, покритої декількома видами покриттів або із застосуванням ізоляції не є бракуваннями наступні ознаки: зсув межі покриття до 2мм вниз або іншу сторону; окремі точені влипання одного покриття в інше; потемніння металу в зоні переходу одного кріплення в інше. [14].

Для контролю товщини покриття відбирають від кожної партії від 0,1 до 10% деталей, але не менше 3 шт, за винятком арбітражного контролю товщини покриття металографічним методом, який може бути проведений на одній деталі з партії. Товщина покриття повинна відповідати конструкторській документації. У отворах і порах, на внутрішніх поверхнях товщина покриття може зменшуватися на 50%. Товщину покриття слід контролювати одним з методів: струменя, металографічним, гравіметричним, методом краплі. Метод *струменя* застосовувати для визначення місцевої товщини покриття при його товщині 3 - 30 мкм на поверхні 0,3 см². Метод полягає в тому, що на ділянку покриття з капіляра, що калібрується, направляють струмінь розчину, здатного руйнувати метал покриття. Товщина покриття визначається або за часом руйнування металу покриття, або за об'ємом розчину, який використовували на руйнування.

Металографічний метод слід застосовувати як арбітражний, а також при налагодженні процесу. Даний метод заснований на тому, що робиться розріз деталі з покриттям, потім на зрізі готують металографічний шліф і використовуючи оптичні прилади, вимірюють товщину контрольованого покриття.

Гравіметричний метод застосовується для визначення товщини дорогих

покриттів (золоте, срібне, паладієве). Метод застосовують для деталей будь-якої партії, масою не більше 200 г при вибіркового контролі. Деталь з покриттям заздалегідь знежирюють, висушують і зважують. Потім в спеціальному розчині знімають покриття і знову зважують деталь. По різниці маси, знаючи площу поверхні деталі, можна судити про товщину покриття, яке було нанесено на деталь до розчинення. Оскільки в проекті цинкове покриття наноситься на листи металу та на дрібні деталі, то в проекті для визначення товщини покриття використовується методи краплі та струменя. Метод краплі застосовується для вимірювання місцевої товщини покриття. За допомогою спеціальної краплинної установки на покриття наносять краплі розчину, здатного розчиняти метал, - покриття. Час знаходження краплі на поверхні виробу фіксоване, потім краплю видаляють і наносять наступну до тих пір, поки покриття не буде зруйновано вцент. Товщину визначають по калібрувальному графіку залежно від кількості крапель, що пішли на повне руйнування покриття. Краплинний метод непридатний для вимірювання товщини покриття на складних профільованих і дрібних деталях, оскільки крапля розчину не може утриматися необхідний час на випробовуваній ділянці і розтікається.

Міцність зчеплення покриття цинку з основним металом визначати шляхом нанесення (нарізанням) сітки розміром 1x1 мм. Визначення критеріїв якості покриття проводити по кожній партії виготовлення деталей. При позитивних результатах визначення якості партії деталей працівникам гальванодільниці і служби якості оформити відповідні документи згідно ІСЯ 05.001-2001. Контролюються робітником стан поверхні 100 % деталей згідно ДСТУ 9.301-86. На деталях з різьбою проводиться контроль якості згідно креслення 2-5 % деталей. Наявність непокритих місць не допускається, колір покриття сріблястий.

Концентрація вільного лугу, необхідного для стійкості комплексної солі цинку і нормального розчинення цинкових анодів, повинна бути тим більше, чим вище концентрація цинку. Відношення загальної концентрації лугу до

концентрації цинку (у г-екв/л) складає приблизно 9-10. Гідроксид натрію знаходиться в електроліті не тільки в зв'язаному, але і у вільному вигляді. Надлишок необхідний для стійкості комплексної сполуки. При його нестачі знижується електропровідність розчину і стає можливим випадання гідроксиду цинку в осад. Надмірна концентрація NaOH знижує вихід за струмом, покриття стають губчастими, а аноди починають швидше хімічно розчинятися. [14].

Шкідливий вплив на катодний процес в цинкатному електроліті надають нітрати, біхромати, H_2O_2 , у присутності яких знижується вихід за струмом металу і погіршується рівномірність його розподілу по поверхні деталі.

В таблиці 4 подано основні порушення цинкування в цинкатному електроліті та їх способи усунення

Таблиця 4

Основні порушення процесу цинкування в цинкатному електроліті і способи їх усунення

Дефекти покриття або процесу	Причини порушення процесу	Спосіб усунення
1. Низька швидкість утворення покриття, сильні газовиділення на катоді, хрупкість осадків;	а) підвищений вміст цинку по відношенню до лугу в розчині, б) пасивація анодів;	а) довести співвідношення цинку і лугу в електроліті до 9:1 – 10:1, збільшити площу анодів, б) зачистити аноди металічною щіткою, збільшити анодну площу;
2. темне покриття, особливо при низьких густинах струму;	а) невідповідність між вмістом цинку і лугу в електроліті, б) попадання сумішей солей тяжких металів;	а) довести співвідношення цинку і лугу в електроліті до 9:1 – 10:1, б) проробити електроліт струмом на «випадкових» катодах при i_k ,5-0,8 А/дм ² ;

3. зниження концентрації цинку в електроліті;	а) недостатня площа анодів, б) низька концентрація лугу в електроліті;	а) збільшити кількість анодів у ванні, б) довести концентрацію лугу в електроліті до рецептного значення;
4. збільшення концентрації цинку в електроліті;	велика анодна площа;	Зменшити число анодів, замінити частину цинкових анодів стальними;
5. насичене газовиділення на катоді, чорні плями на деталях, окремі ділянки без покриття;	Попадання хрому в електроліт;	Проробити електроліт струмом на «випадкових» катодах при $i_k=0,5-0,8 \text{ А/дм}^2$, ретельно перевірити і відновити ізоляцію на підвісках;
6. помутніння електроліту,	багато ($\geq 80 \text{ г/л}$) карбонатів у електроліті,	охолодити електроліт до 5-10°C, витримати при цій температурі 24-48 год, потім декантувати або відфільтрувати.

Анодна поляризація в цинкатних електролітах до певної густини струму порівняно невелика і мало змінюється при зміні складу електроліту. Перевищення певної густини струму викликає пасивацію анода - його потенціал різко зміщується у бік позитивних значень.

Висновки

Для електрохімічного осадження цинкового покриття на дрібних деталях, таких як болти, спершу необхідно підготувати ці деталі та виконати певні попередні кроки перед гальванічним осадженням.

Для даного процесу обрано цинкатний електроліт з добавками серії ЛВ (ЛВ-4584, ЛВ-8490). Процес гальванічного цинкування з ЛВ-4584 дає змогу наносити рівномірні, корозійностійкі, напівблискучі захисно-декоративні цинкові покриття з мінімальною витратою реагентів, тепла й електрики.

Перевагами цього блискоутворювача є невисока вартість і утворення

якісних цинкових покриттів з відсутністю пригарів та відлущування під час вигинів і на гладкій поверхні. Також особливою відмінністю добавки є її здатність утворювати високоякісні цинкові покриття під час роботи з нерозчинними анодами, в широкому діапазоні температур електроліту (від 5-10 до 60-80° С) та катодної густини струму (0,1–100 А/дм²), що дає змогу застосовувати її в будь-яких ваннах і лініях гальванічного цинкування. Добавка ЛВ-4584 є єдиним розчином, який вповні здатен замінити ціаністі електроліти цинкування. Коригування складу електроліту відбувається за контролем концентрації іонів цинку [5].

Розділ 2. ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ

2.1 Характеристика деталей, які підлягають обробці.

Розрахунок товщини покриття

Гальванічне покриття цинком забезпечує надійний і довготривалий захист сталевих компонентів в агресивних середовищах. В рамках даного проекту передбачено цинкування дрібних виробів, які будуть оброблятися в барабані.

Для даного проекту вибрано наступну деталь:

Болт М 6х12, $m = 5,118$ г.

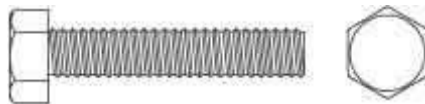


Рис. 1. Схема деталі

Основні характеристики деталі наведено в таблиці 5.

Таблиця 5.

Основні характеристики деталі

Призначення болта	Машинобудівний
Форма болта	З шестигранною голівкою і повною різьбою
Матеріал болта	Сталь
Покриття	Цинк
Клас міцності	5.8
Метрична різьба, М	6 мм
Крок різьби	1 мм
Висота головки	4 мм
Довжина болта	12 мм
Наявність гайки	Ні
Розмір під ключ	10 мм

Площа одного болта дорівнює $6,45 \text{ см}^2$

Вимоги до деталі: очищена від різних окалини, іржі, виготовлено зі сталі марки сталь 4.



Рис. 2. Загальний вигляд виробу

Для нанесення цинкового покриття передбачається використання сучасного виробничого обладнання з автоматизацією, що сприятиме підвищенню таких техніко-економічних показників, як річний обсяг виробництва, продуктивність праці і зниження витрат на виробництво, зробивши продукцію більш конкурентоспроможною. Запропоновані заходи по автоматизації процесу для нанесення цинкового покриття гарантують його максимальну ефективність.

Головною метою гальванічних покриттів є захист виробів від корозії і надання їм певних властивостей, таких як твердість, електропровідність, здатність до паяння, хімічна стійкість і інші. Наприклад, цинкове, свинцеве, кадмієве, олов'яне та нікелеве покриття захищають вироби від корозії, а хромування підвищує стійкість поверхні виробів до зношування. Перед нанесенням гальванічних покриттів в цеху проводиться підготовка поверхні виробів за допомогою механічних, хімічних і електрохімічних методів.

Гальванічний метод включає в себе осадження металів на поверхні виробів, як металевих, так і неметалевих, шляхом проведення електролізу. Цей метод ґрунтується на властивості металів осаджуватись з електроліту під дією постійного електричного струму. Товщина отриманих металевих покриттів зазвичай вимірюється в тисячних або сотих часток міліметра.

Товщина цинкового покриття на деталях залежить від умов експлуатації

виробів, а також умов спряження деталей при їх зборі.

Умови експлуатації розділяють на чотири групи: легкі (Л), середні (С), важкі (Т) та особливо важкі (ОТ) умови. В даному проекті приймаємо легкі умови, які оснащені опалюваними та вентиляційними приміщеннями, відносною вологістю повітря $(65 \pm 15)\%$ при температурі 25 °С. В таких умовах товщина покриття має діапазон 6-15 мкм. Крім того при виборі товщини покриття для малих різбових кріпильних деталей необхідно враховувати умови згвинчування, тому товщина шару цинку на таких деталях із шагом до 0,8 мм встановлюється 3-6 мкм, для деталей з шагом більш 0,8 мм – 9-12 мкм.

Відповідно до даних умов експлуатації (ДСТУ 9.303-84) для дрібних виробів приймаємо товщину покриття 7 мкм.

Так як при наступній механічній, хімічній або електрохімічній обробці деяких видів покриттів відбувається зменшення їх товщини, то необхідно прийняту товщину покриття δ збільшити на величину δ_{zn} , яка складає:

- при механічному поліруванні мідних та нікелевих покриттів – 2-3 мкм.;
- при електрохімічному поліруванні мідних та нікелевих покриттів – 1-1,5 мкм.;
- при освітленні та пасивуванні цинкових та кадмієвих покриттів – 2 мкм.

Таким чином, середню товщину покриття δ_p , яку приймають для проектних розрахунків, визначають за формулою:

$$\delta = \delta \cdot k + \delta_{zn} = 7 \cdot 1,1 + 2 = 10 \text{ мкм}$$

де, k – коефіцієнт, що враховує різницю товщини покриття по всій поверхні, за рахунок різної густини струму, що діє на поверхню.

2.2 Карта технологічного процесу

Карта технологічного процесу складається згідно з встановленою схемою технологічного процесу (таблиця 6).

Карта технологічного процесу.

№	Найменування операції	Склад розчинів і матеріалів			Режим роботи			
		Найменування компонентів	Хімічна формула	Конц. г/л	t, °C	i, А/дм ²	U, В	τ, хв.
1	Монтаж деталей							
2	Знежирення хімічне	Гідроксид натрію Натрій фосфат Натрій силікат розчинний Знежирювач ДВ-301	NaOH Na ₃ PO ₄ Na ₂ SiO ₃	20-40 5-15 10-30 3-5	50-70			2-5
3	Електро-хімічне знежирення	Гідроксид натрію Натрій фосфат Натрій силікат розчинний Знежирювач ДВ-301	NaOH Na ₃ PO ₄ Na ₂ SiO ₃	20-40 5-15 10-30 1,4-1,9	60-95	до 10	3-12	к.: 0,5-5 а.: 3-5
4	Гаряча промивка	Проточна вода	H ₂ O		70-90			0.25-1
5	Холодна промивка	Проточна вода	H ₂ O		18-25			0.25-1
6	Хімічне травлення	Хлоридна кислота Інгібітор	HCl	100-200 0,5-1	18-25			20-40
7	Холодна промивка	Проточна вода	H ₂ O		18-25			0.25-1
8	Цинкування	Оксид цинку Натрій гідроксид ЛВ-4584	ZnO NaOH	8-12 90-120 4-6мл/л	18-25	3	3-12	21,8
11	Ванна уловлювання	Не проточна Вода	H ₂ O		18-25			0.25-1
12	Холодна промивка	Проточна вода	H ₂ O		18-25			0.25-1
13	Освітлення	Нітратна кислота	HNO ₃	10-30	18-25			2-10 с.

14	Пасивація	Ліконда 27		45-55 (мл/л)	18-25			1,5-2
		Нітратка кислота	HNO ₃	4,9-5,2 (мл/л)				
16	Ванна уловлювання	Непроточна Вода	H ₂ O		18-25			0.25-1
17	Тепла промивка	Проточна вода	H ₂ O		40-50			0,25-1
18	Сушка				60			до 20
19	Демонтаж деталей							

2.3 Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання цеху

Цех, що проєктується є невеликим виробництвом і з неповним навантаженням, тому приймається робочий день в одну зміну. [11]

Вихідними даними для визначення фонду часу роботи обладнання є режим роботи підприємства і неминучі втрати часу на ремонт і наладку обладнання. Розрізняють номінальний річний фонд часу роботи обладнання (T_n) і дійсний річний фонд час роботи обладнання (T_d).

Номінальний річний фонд часу роботи обладнання T_n при періодичному виробництві, приймають: рівним кількості календарних днів у році T_k (365) за вирахуванням вихідних T_v (105) та святкових T_c (10) днів та враховують скорочені передсвяткові дні (6 год)

Для п'ятиденного 40-годинного робочого тижня та однозмінній роботі:

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

Дійсний річний фонд часу роботи обладнання T_d визначаємо, виходячи із T_n з урахуванням загальних річних витрат часу на неминучі простої обладнання, які в гальванічному виробництві можуть складати 2-10% ($K_{np} = 0,02-0,1$), тобто

$$T_d = T_n - K_{np} \cdot T_n = 2002 - 0,02 \cdot 2002 = 1962 \text{ годин.}$$

2.4 Визначення виробничої програми цеху

При роботі немеханізованого, неавтоматизованого обладнання і стаціонарних ванн загальні витрати часу на простої обладнання, яке працює в одну зміну, складає 2% від T_n ($K_{пр} = 0,02$).

Для визначення річного виробничого плану P_p річне виробниче завдання P_z (15000 м²) необхідно збільшити на величину виправного браку виробів, який складає зазвичай 0,5-3% ($K_{бр} = 0,01$) від P_z в м²:

$$P_p = P_z + K_{бр} \cdot P_z = 15000 + 0,01 \cdot 15000 = 15150 \text{ м}^2.$$

Добова виробнича програма складає:

$$P_{доб} = P_p / T_{доб} = 15150 / 259 = 58,5 \text{ (м}^2\text{/добу)},$$

де $T_{доб}$ – кількість робочих діб у календарному році (259).

Годинна виробнича програма $P_{год}$ визначається як:

$$P_{год} = P_p / T_{д} = 15150 / 1962 = 7,7 \text{ (м}^2\text{/год.)}$$

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

Вибір обладнання зазвичай залежить від розмірів оброблюваних виробів та особливостей технологічного процесу. Для покриття дрібних деталей зазвичай використовують установки з барабаними електролізерами.

Для подальшого розрахунку, необхідні наступні дані:

- Річна виробнича програма, $P_p = 15150 \text{ м}^2\text{/рік}$;
- Час обробки однієї одиниці – барабану τ , хв;
- Товщину покриття на деталях $\delta = 10 \text{ мкм}$.
- Габаритні розміри – болт М 6х12 ($m = 5,118 \text{ г}$, $S = 6,45 \text{ см}^2$)

Тривалість обробки одного болта (τ), складається із двох величин

$$\tau = \tau_m + \tau_{об}$$

Де τ_m – час обробки деталей у барабані, хв. Звідси, за формулою:

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

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

δ_n – товщина покриття, мкм;

d_m – густина металу покриття, г/см³;

B_c – катодний вихід за струмом (доля одиниці);

K_e – електрохімічний еквівалент, г/А·год;

i_k – середня катодна густина струму, А/дм².

$$\tau_m = 10 \cdot 7,133 \cdot 60 \cdot 10^{-2} / 0,9 \cdot 1,21 \cdot 3 = 19,6 \text{ хв}$$

Розрахований технологічний час τ_m необхідно збільшити на 15-20% для барабанного електролізера у зв'язку з механічним стиранням покриття, а також нерівномірністю пересипу деталей при електролізі.

$$\tau_m = 19,6 + 19,6 \cdot 15/100 = 22,54$$

Величину $\tau_{об}$ - час обслуговування, який витрачають на завантаження деталей та їх вивантаження з барабану, для розрахунків використовують 1-3 хвилини. Прийнемо цю величину за 2 хв. Тоді

$$\tau = 22,54 + 2 = 24,54 \text{ хв.}$$

Витрати часу на початковий запуск обладнання, кінцевого вивантаження ванни і на допоміжні операції враховуються за допомогою коефіцієнта $K_{обл}$: для роботи в одну зміну $K_{обл} = 1,06 - 1,1$; у дві зміни - 1,03 – 1,05 [12].

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

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

$$\tau_c = 15150 \cdot 24,5 \cdot 1,1 / 60 = 6055 \text{ год}$$

На основі дійсного річного фонду часу роботи устаткування T_d та тривалості обробки одного завантаження барабану розраховуємо кількість оброблюваних завантажень n :

$$n = \frac{T_d \cdot 60}{\tau_{об} \cdot K_{об}}$$

$$n=1962 \cdot 60/19 \cdot 1,05=11600$$

Тоді разове завантаження барабанного електролізеру, m^2 :

$$Y_c = \frac{P_p}{n} m^2$$

$$Y_c = 15150/11600 = 0,7 m^2$$

Разове завантаження усіх ванн замасою деталей Y_c^m кг:

$$Y_c^m = \frac{Y_c}{S_{\text{пит.}}}$$

де $S_{\text{пит.}}$ – питома площа.

Площа однієї деталі:

$$S_{\text{дет.}} = 1,88 \cdot 10^{-3} m^2,$$

$$S_{\text{пит.}} = \frac{S_{\text{дет.}}}{m_{\text{дет.}}} m^2 / \text{кг}$$

де $m_{\text{дет.}}$ – маса одного болта, складає 0,005 кг.

$$S_{\text{пит.}} = 1,88 \cdot 10^{-3}/0,005 = 49,47 \cdot 10^{-3} \approx 0,05 m^2 / \text{кг}$$

$$Y_c^m = 0,7/0,05 = 14 \text{ кг}$$

2.6 Розрахунок габаритних розмірів та кількості барабанних електролізерів

Для нанесення цинкового покриття на дрібні деталі використовують дзвони та барабани.

Барабан складається з шестикутної призми, основною частиною якої є велике зубчасте колесо, зроблене з вініпласту. Одну з граней цієї призми можна знімати для завантаження та вивантаження деталей. У верхній частині барабана розташований трифазний двигун потужністю 0,15-0,35 кВт. Через редукторну систему та систему зубчастих коліс він приводить в обертання корпус барабана. Електричний струм до виробів всередині барабана, які підлягають гальванізації, підводиться з боків по осі обертання барабана. Контактні точки виготовлені з нержавіючої сталі та з'єднані з гнучкими тросами.

Щоб уникнути надмірного нанесення покриття на контактних поверхнях під час роботи барабана для цинкового покриття, можна застосовувати занурення барабану в розчин з розведеною хлоридною кислотою.

Для розрахунку габаритних розмірів барабанів та їх загальної кількості використовуємо масу одноразового завантаження деталей G , кг та внутрішня довжина барабана l_b . Розрахунки внутрішнього $D_{вн}$ і зовнішнього $D_{зов}$ діаметрів барабана передбачають визначення насипного об'єму деталей $V_{нас}$:

$$V_{нас} = (3...10) \cdot V_{дет} = (3...10) \cdot G \cdot d_{дет}$$

де $d_{дет}$ – густина металу деталі становить 7800 кг/м³ (сталь марки 30ХГСА, густина згідно з ДСТУ 4543–71);

$V_{дет}$ – об'єм усіх деталей, м³.

$$V_{нас} = 5 \cdot 22 / 7800 = 0,014 \text{ м}^3$$

Коефіцієнт заповнення барабану розраховуємо за формулою:

$$K_{зап} = \frac{V_{нас}}{V_{бар}}$$

де $V_{нас}$ – насипний об'єм деталей в барабані.

$V_{бар}$ – об'єм барабану.

$$V_{бар} = \frac{3\sqrt{3} \cdot a^2}{2} \cdot l_b$$

де a – розмір сторони шестигранника, яку розраховуємо за формулою:

$$a = \sqrt{\frac{2,97 \cdot V_{нас}}{l_b}}$$

де $V_{нас}$ – насипний об'єм деталей для одного барабана, м³;

l_b – внутрішня довжина барабана, м.

Якщо внутрішню довжину барабана l_b приймаємо рівною 0,8 м, тоді розмір сторони шестигранника складає:

$$a = (2,97 \cdot 0,014 / 0,8)^{0,5} \approx 0,23 \text{ м}$$

$$V_{бар} = \frac{3\sqrt{3} \cdot a^2}{2} \cdot l_b$$

$$V_{бар} = 1,5 \cdot 1,73 \cdot (0,23)^2 = 0,11 \text{ м}^3$$

$$K_{зан} = 0,014/0,11 \cdot 100\% = 12,8 \%$$

Розміри барабана пов'язані з величиною сторони шестикутника a співвідношеннями:

$$\begin{aligned} D_{вн} &= a \sqrt{3}, \\ D_{зов} &= 2a + 2t, \end{aligned}$$

де $D_{вн}$ – внутрішній діаметр барабана, м;

$D_{зов}$ – зовнішній діаметр барабана, м.

Тоді:

$$D_{вн} = 0,23 \cdot \sqrt{3} = 0,4 \text{ м}$$

$$D_{зов} = 2 \cdot 0,23 + 2 \cdot 0,005 = 0,47 \text{ м}$$

де t – товщина стінок барабана, її величину приймаємо рівною 5 мм.

Висоту шару деталей у барабані розраховуємо за формулою:

$$h = 1/6 D_{вн}$$

$$h = 1/6 \cdot 0,4 = 0,067 \text{ м}$$

Розрахунок габаритних розмірів ванни для барабана здійснюємо наступним чином:

- внутрішня довжина ванни для барабана l , м:

$$l = l_6 \cdot 2l_1,$$

де l_6 – довжина барабана, м;

l_1 – відстань між стінками барабана і стінками ванни, якщо її приймаємо рівною 0,157 м, тоді внутрішня

- довжина ванни для барабана складає:

$$l = 0,8 + 2 \cdot 0,157 \approx 1,11 \text{ м}$$

Внутрішня ширина ванни B , м:

$$B = D_{зов} + 2B_1 + 2B_2 + 2B_A,$$

де B_1 – відстань між анодом і ближнім краєм барабана становить 0,04 м;

B_2 – відстань між анодом і повздовжньою стінкою ванни становить 0,15м;

B_A – товщина анодів 0,01 м. Отже, внутрішня ширина ванни:

$$B = 0,47 + 2 \cdot 0,04 + 2 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,01 = 0,87 \text{ м}$$

Внутрішня висота ванни h , м:

$$h = h_1 + h_2 + h_6 + D_{зов},$$

де h_1 – відстань від дна ванни до нижнього краю барабана (по описаному колу) дорівнює 0,15 м;

h_2 – відстань від дзеркала електроліту до верхньої частини барабана рівна 0,2 м;

h_6 – відстань від дзеркала електроліту до верхнього краю бортів ванни становить 0,15 м;

$D_{зов}$ – зовнішній діаметр барабана, м.

Отже, внутрішня висота ванни:

$$h = 0,47 + 0,15 + 0,2 + 0,15 = 0,97 \text{ м}$$

Кількість ванн з барабанами n_6 розраховуємо за формулою:

$$n_6 = \frac{Y_c^m}{G}$$

Тому: $n_6 = 14/22 \approx 0,64$

Отже, необхідна одна ванна з барабаном.

Також враховуємо у коефіцієнті завантаження одного барабану залишок 0,067:

$$K_{зан} = 0,067 \cdot 100 + 12,8 = 19,5\%$$

Обираємо барабанний електролізер згідно з наведеним у каталогах обладнанням, враховуючи з наведених вище розрахунків габаритних розмірів обладнання [12].

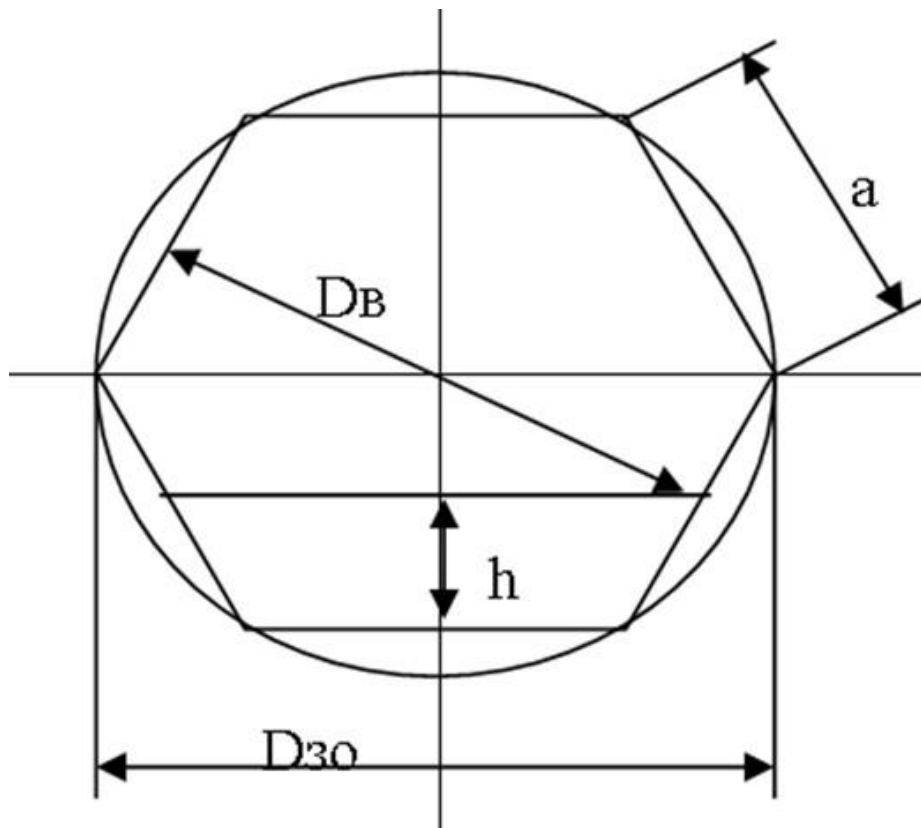


Рис. 3. Креслення барабанного електролізера, який має наступні розміри:

$a=0,23$ м; $D_B=0,4$ м; $D_3=0,47$ м; $h=0,067$ м.

Обраний для процесу барабанний електролізер має наступні характеристики:

- максимальне завантаження по масі – 23 кг;
- частота обертання – 5 об/хв;
- діаметр описаного кола – 400 мм;
- довжина – 1000 мм.

Згідно з ДСТУ 23738-85, обираємо ванну, яка має наступні габаритні розміри, мм:

- довжина – 1500;
- ширина – 1060;
- висота – 1000.

2.7 Баланс струму на гальванічній ванні

Для здійснення подальшого вибору джерела живлення постійним струмом розраховуємо силу струму I , A на ванні як добуток величини технологічної густини струму на катоді I_k , A/m^2 на площу деталей одноразового завантаження S_{03} , m^2 :

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

де K – коефіцієнт, який враховує втрати електрики на осадження металу на контактах підвісного пристрою. Для проекту $K = 1,1$.

Верхнє допустиме значення катодної густини струму становить $2,5 A/dm^2$ ($250 A/m^2$) [12].

Для барабанних електролізерів величину S_{03} , m^2 визначають за формулою:

$$S_{03} = G \cdot S_{\text{пит}},$$

де G – величина одноразового завантаження барабана, кг;

$S_{\text{пит}}$ – питома площа одного кілограма деталей, m^2/kg .

$$S_{03} = 22 \cdot 0,05 = 1,1 m^2,$$

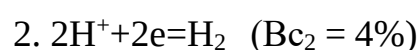
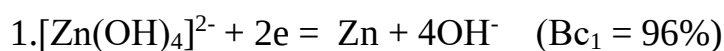
Тому сила струму на однопозиційній ванні цинкування дорівнює:

$$I = 1,1 \cdot 250 \cdot 0,66 = 302,5 A$$

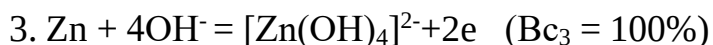
Для складання балансу кількості електрики враховуємо основні та побічні реакції, які відбуваються на електродах. Беремо до уваги значення виходу за струмом для електродних реакцій та визначаємо долю електрики, яка використовується на основні та побічні процеси. Баланс електрики розраховуємо на одну годину роботи ванни, кількість електрики визначаємо в ампер-годинах. Результати розрахунків подаємо в таблиці балансу електрики [12].

У лужному цинкатному електроліті на електродах перебігають такі електрохімічні процеси:

на катоді:



на аноді:



Сила струму, яка витрачається на кожну реакцію:

$$\text{на катоді: } I_1 = I \cdot B_{c1}/100 = 302,5 \cdot 96/100 = 290,4 \text{ A};$$

$$I_2 = I \cdot B_{c2}/100 = 302,5 \cdot 4/100 = 12,1 \text{ A};$$

$$\text{на аноді: } I_3 = I \cdot B_{c3}/100 = 302,5 \cdot 100/100 = 302,5 \text{ A}$$

Таблиця 7

Баланс електрики ванни цинкування на одну годину роботи

Надходження	Кількість електрики, А·год	%	Витрати	Кількість електрики, А·год	%
Катод Від зовнішнього джерела струму	302,5	100	$[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-} + 2e^- = \text{Zn} + 4\text{OH}^-$ $\text{Zn} + 4\text{OH}^- = [\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-} + 2e^-$	290,4 12,1	96 4
Разом	302,5	100	Разом	302,5	100
Анод Від зовнішнього джерела струму	302,5	100	$\text{Zn} + 4\text{OH}^- = [\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-} + 2e^-$	302,5	100
Разом	302,5	100	Разом	302,5	100

2.8 Визначення напруги на ванні з барабанним електролізером

Вихідні дані для розрахунку балансу напруги:

Катодна густина струму $i_k = 250 \text{ A/м}^2$;

Анодна густина струму $i_a = 250 \text{ A/м}^2$;

Потенціал цинкового катода $E_k = -0,86 \text{ В}$

Потенціал цинкового анода $E_a = -0,66 \text{ В}$

Питомий електричний опір електроліту $\rho_e = 5,7 \cdot 10^{-2} \text{ Ом} \cdot \text{м}$;

Відстань між анодом і ближнім краєм барабана $l_{a-k} = 0,04 \text{ м}$ [12].

Знаходимо різницю потенціалів катода і анода:

$$E_a - E_k = -0,66 - (-0,86) = 0,2 \text{ В},$$

Середню густину струму в міжелектродному просторі визначаємо за формулою:

$$i_{cp} = \sqrt{i_k \cdot i_a},$$

При середній густині струму, яка проходить через електроліт:

$$i_{cp} = \sqrt{i_k i_a} = \sqrt{250 \cdot 250} = 250 \text{ А/м}^2$$

При електролізі на катоді виділяється водень, тому при визначенні падіння напруги ΔU_{om} визначаємо за формулою:

$$\Delta U_{om} = K_{\Gamma} \cdot i_{cp} \cdot l_{a-k} \cdot \rho_e$$

де K – коефіцієнт, який враховує збільшення опору за рахунок газонаповнення, величину K приймаємо рівною 1,15.

Отже, омичне падіння напруги в електроліті ΔU_{om} , В:

$$\Delta U_{om} = K_{\Gamma} \cdot i_{cp} \cdot l_{a-k} \cdot \rho_e$$

де i_{cp} – середня густина струму в міжелектродному просторі, А/м² ;

l_{a-k} – відстань між анодом і ближнім краєм барабана, м.

Тому падіння напруги в електроліті становитиме:

$$\Delta U_{om} = 1,15 \cdot 250 \cdot 0,04 \cdot 5,7 \cdot 10^{-2} = 0,6555 \text{ В}$$

Падіння напруги в отворах барабана визначаємо як:

$$\Delta U_{\text{перф}} = \frac{i_k \cdot S_{oz} \cdot m \cdot \rho_e}{3,14 \cdot D_{зov} \cdot l_b \cdot K_n}, \text{ В}$$

де $S_{oz} = 1,1 \text{ м}^2$ – поверхня деталей, завантажених у барабан;

$\delta_c = 0,005 \text{ м}$ – товщина стінки барабана;

$\rho_e = 5,7 \cdot 10^{-2}$ – питомий електричний опір електроліту, Ом·м;

$a = 0,23 \text{ м}$ – розмір сторони шестигранника;

$l_b = 0,8 \text{ м}$ – довжина барабана;

K_n – ступінь перфорації поверхні барабана (приймаємо 0,25).

Падіння напруги в отворах барабана становитиме:

$$\Delta U_{\text{перф}} = \frac{250 \cdot 1,1 \cdot 0,005 \cdot 5,7 \cdot 10^2}{6 \cdot 0,23 \cdot 0,8 \cdot 0,25} = 0,28 \text{ В}$$

Додаткове падіння напруги між деталями в барабані ΔU_6 враховується з коефіцієнтом 0,4 і складає:

$$\Delta U_{\delta} = 0,4 \cdot (E_a - E_k + \Delta U_{om} + \Delta U_{перф}), \text{ В}$$

Падіння напруги між деталями у барабані в результаті їх перемішування в барабані становитиме:

$$\Delta U_{\delta} = 0,4 \cdot (-0,66 + 0,86 + 0,28) = 0,192 \text{ В}$$

Додаткове падіння напруги між деталями в барабані при їх переміщенні при обертанні розраховуємо за формулою:

$$\Delta U_{\delta I} = \frac{E_a - E_k + U_{om} + U_{перф} + U_{\delta}}{0,9}$$

$$\text{Тому } \Delta U_{\delta I} = \frac{0,66 + 0,86 + 0,655 + 0,28 + 0,192}{0,9} = 1,475 \text{ В}$$

Напругу на ванні з барабанним електролізером U_{δ} визначаємо за формулою:

$$U_{\delta} = E_a - E_k + \Delta U_{om} + \Delta U_I + \Delta U_k + \Delta U_{перф} + \Delta U_{\delta},$$

Де $(E_k - E_a)$ – різниця електродних потенціалів анода і катода під струмом;

ΔU_{om} , ΔU_I , ΔU_k – омичне падіння напруги в електроліті, упровідниках першого роду та в контактах;

$\Delta U_{перф}$ – падіння напруги в отворах барабана;

ΔU_{δ} – додаткове падіння напруги між деталями в барабані в результаті їх переміщення при обертанні.

Тоді, напруга на ванні з барабанним електролізером складає:

$$U_{\delta} = 0,2 + 0,6555 + 0,28 + 0,192 + 0,094 + 1,475 = 2,8965$$

Падіння напруги в контактах і провідниках першого роду складає:

$$\Delta U_I = \Delta U_k + 0,1 \Delta U_{\delta},$$

$$\Delta U_I + \Delta U_k = 0,1 \cdot 2,8965 = 0,2897 \text{ В}$$

Мінімальна напруга на джерелі струму U_{dc} складається із суми напруги на вані U та падіння напруги в шинопроводах від джерела струму до ванни, яке приймаємо не більшим 10 % від U_{dc} . [12].

Отже, мінімальну напругу на джерелі струму розраховуємо за формулою:

$$U_{dc} = 1,1 \cdot U_{\delta}$$

Мінімальна напруга на джерелі струму U_{dc} складає:

$$U_{\phi}^{min} = 1,1 \cdot 2,8965 = 3,1862 \text{ В}$$

Результати розрахунків зводимо у таблицю 8.

Таблиця 8

Баланс напруги на ванні цинкування

Надходження	U, В	%	Витрати	U, В	%
Напруга на ванні	2,897	100	Різниця потенціалів $E_a - E_k$	0,2	6,9
			Падіння напруги в електроліті ΔU_{om}	0,656	22,6
			Падіння напруги на електродах, контактах і провідниках $\Delta U_1 + \Delta U_k$	0,289	10,0
				0,28	9,7
			Падіння напруги на отворах барабану $\Delta U_{перф}$	1,472	50,8
			Падіння напруги між деталями у барабані $\Delta U_{б}$		
Разом	2,897	100	Разом	2,897	100

2.9 Вибір джерела струму для гальванічної ванни

В якості джерела постійного струму було обрано «TE1-400/12Т» з врахуванням сили струму і напруги на ванні, що має наступні характеристики:

- Вихідна напруга – 3 – 12 В;
- Діапазон струму – 8 – 400 А.

Для обраного випрямного агрегату розраховуємо коефіцієнт

завантаження:

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

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

$N_{\text{насп}}$ – потужність вибраного агрегату згідно паспорту, що дорівнює 4,8 кВт.,

де I – сила струму на однопозиційній ванні, А.

U – робоча напруга при заданій густині струму, В;

Тоді, для виконання заданої програми потужність становить:

$$N_{\text{дс}} = 2,897 \cdot 302,5 \cdot 10^{-3} = 0,876 \text{ кВт}$$

Значення коефіцієнту завантаження випрямного апарату дорівнює:

$$K = \frac{0,876}{4,8} = 0,183$$

2.10 Складання балансу енергії наванніта розрахунок джоулевої теплоти

Електрична енергія $W_{\text{заг}}$, яка підводиться до електролізера, перетворюється на хімічну енергію $W_{\text{хім}}$ та теплову енергію $W_{\text{дж}}$:

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

Якщо електрична енергія витрачається на перебіг процесу водній ванні, її розраховуємо за формулою:

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

Де I – струм наванні, А;

U – напруга на ванні, В;

τ – час роботи ванни під струмом, год.

Баланс енергії розраховуємо на одну годину роботи ванни.

На перебіг процесу в одній ванні витрачається електрична енергія:

$$W_{\text{заг}} = 2,897 \cdot 302,5 \cdot 0,245 \cdot 3,6 = 801,3 \text{ кДж/год}$$

Якщо гальванічний процес відбувається з застосуванням розчинних анодів та вихід за струмом на катоді наближається до 100 %, то $W_{\text{заг}} \approx W_{\text{дж}}$.
[12].

Таблиця 9

Баланс енергії на ванні цинкування

Надходження	W, кДж	%	Витрати	W, кДж	%
Електрична енергія від джерела струму	801,3	100	Джоулева теплота	801,3	100
Разом	801,3	100	Разом	801,3	100

2.11 Розрахунок витрат реагентів та матеріалів для виконання річної виробничої програми

Необхідна кількість анодів та хімічних реагентів розраховується згідно з наступними їх витратами:

- а) на початковий запуск обладнання;
- б) на виконання загального обсягу виробничої програми.

Витрати анодів на початковий запуск обладнання

Витрати розчинних та нерозчинних анодів на запуск обладнання G_{A3} , кг, визначаються за формулою

$$G_{A3} = K_1 \cdot K_2 \cdot n_{aui} \cdot l_v \cdot h_v \cdot \delta_a \cdot d_a \cdot$$

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

K_2 – коефіцієнт, що характеризує співвідношення довжини анодів та висоти ванни (приймають $K_2 = 0,8$);

n_{aui} – кількість анодних штанг у ванні;

l_v – внутрішня довжина ванни, м;

h_v – внутрішня висота ванни, м;

δ_a – товщина анодів, м;

d_a – густина матеріалу анода, кг/м³;

n_v – кількість ванн даного типу.

$$G_{A3} = 0,48 \cdot 2 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 0,01 \cdot 7133 \cdot 1 = 103 \text{ кг}$$

Витрати розчинних анодів на виконання виробничої програми

Витрати розчинних анодів за рік G_{AP} , кг, розраховують за формулою:

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

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

δ_n – товщина покриття, mkm ;

A_p – норма витрат розчинних анодів для нанесення покриття товщиною один мікрометр, kg/m^2 .

Величину A_p визначають, виходячи із чистої маси покриття, технологічних втрат анодного матеріалу та відходів, kg/m^2 :

$$A_p = d_m(1+0,06) \cdot 10^{-6} = 7133 \cdot (1+0,06) \cdot 10^{-6} = 7,56 \cdot 10^{-3}$$

де d_m – густина металу покриття, kg/m^3 .

$$G_{AP} = S \cdot A_p \cdot \delta_n = 15150 \cdot 7,56 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 1145,34 \text{ кг},$$

Розрахунок витрат хімічних реагентів

Загальні витрати хімічних реактивів на проведення технологічного процесу для ванн хімічної обробки розраховуються з кількості реактивів, необхідних для приготування розчину на початковий запуск обладнання, а також враховують їх загальні витрати на виконання річної програми, зокрема: винесення електроліту з деталями та у вентиляційні канали, корегування електроліту, заміна електроліту [12].

Витрати хімічних реактивів на початковий запуск обладнання

Витрати компонентів електроліту G_i визначають за формулою, кг:

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

де C_i – концентрація кожного компонента електроліту, kg/m^3 ;

V_v – об'єм ванни, m^3 ;

$K_{\text{зап}}$ – коефіцієнт заповнення ванни, (0,7-0,9);

n_v – кількість ванн даного типу.

Для кожного з компонентів суміші електроліту:

$$G_{ZnO} = C_{ZnO} \cdot V_{\text{в}} \cdot K_{\text{зан}} \cdot n_{\text{в}} = 7 \cdot 1,59 \cdot 0,75 \cdot 1 = 8,3 \text{ кг}$$

$$G_{NaOH} = C_{NaOH} \cdot V_{\text{в}} \cdot K_{\text{зан}} \cdot n_{\text{в}} = 60 \cdot 1,59 \cdot 0,75 \cdot 1 = 71,6 \text{ кг}$$

$$G_{\text{полігуанідину}} = C_{\text{полігуанідину}} \cdot V_{\text{в}} \cdot K_{\text{зан}} \cdot n_{\text{в}} = 7,5 \cdot 1,59 \cdot 0,75 \cdot 1 = 8,9 \text{ л}$$

Витрати хімічних реактивів на виконання річної виробничої програми

Витрати розраховують для всіх операцій технологічного процесу.

Розрахунок витрат здійснюють за формулою, кг:

$$G_{ZnO} = C_{ZnO} \cdot V_{\text{вт}}$$

де $V_{\text{вт}}$ – сумарний об'єм розчину, який витрачається при виконанні річної виробничої програми або стає непридатним.

Величину $V_{\text{вт}}$, м³, визначають за формулою:

$$V_{\text{вт}} = 1,15 \cdot S \cdot A_{\text{е}} = 15150 \cdot 1,15 \cdot 0,0002 = 3,48,$$

де S – сумарна площа поверхня деталей, які обробляються за рік, м²;

коефіцієнт 1,15 враховує площу занурюваної частини деталей;

$A_{\text{е}}$ – норма витрати розчину, величина якої не залежить від товщини покриття. Тоді

$$G_{ZnO} = C_{ZnO} \cdot V_{\text{вт}} = 7 \cdot 3,48 = 24,39 \text{ кг}$$

$$G_{NaOH} = C_{NaOH} \cdot V_{\text{вт}} = 60 \cdot 3,48 = 208,8 \text{ кг}$$

$$G_{\text{полігуанідину}} = C_{\text{полігуанідину}} \cdot V_{\text{вт}} = 7,5 \cdot 3,48 = 26,1 \text{ л}$$

2.12 Розрахунок витрат води на промивні операції

Промивні операції є невід'ємною частиною технологічного процесу, які потребують значної кількості води. Недостатнє промивання деталей під час електрохімічного процесу нанесення покриття може бути причиною утворення браку. Щоб стічні води не забруднювали навколишнє середовище

та для зменшення витрат води на промивні операції, використовують ванни уловлювання, каскадні ванни з протитечію, ванни струминно-проточної промивки [12].

Для розрахунку витрати води на двохступеневу каскадну промивку використовуємо наступну формулу:

$$V_{\text{год}} = A_e \cdot P_2 \cdot \sqrt{K}$$

де A_e – норми виносу розчину із ванни поверхнею деталей, $\text{дм}^3/\text{м}^2$;

P_2 – виробнича програма ванни за годину, $\text{м}^2/\text{год}$;

K – критерій остаточної промивки деталей.

Його визначають за співвідношенням:

$$K = C_0 / C_k = 60 / 0.02 = 3000$$

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

C_k – гранично допустима концентрація основного компонента у воді після промивки, $\text{г}/\text{дм}^3$.

$$V_{\text{год}} = A_e \cdot P_2 \cdot \sqrt{K} = 0,2 \cdot 7,7 \cdot \sqrt{3000} = 32,6$$

Основним компонентом електроліту або розчину є той реагент, який характеризується найвищим критерієм промивки.

Якщо додатково використовують операцію уловлювання електроліту, то величину K зменшують зврахуванням коефіцієнтів:

- 0,4 – для однієї ванни уловлювання;
- 0,15 – для двох ванн уловлювання;
- 0,06 – для трьох ванн уловлювання.

При виконанні виробничої програми сумарні витрати води на промивку розраховуємо за формулою:

$$V_{\text{сум}} = V_{\text{год}} \cdot T_{\text{д}} \cdot 1,5 = 32,6 \cdot 3868 \cdot 1,5 = 189541 \text{ дм}^3 ,$$

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

2.13 Технологічна підготовка виробництва

2.13.1 Визначення оптимального виду руху предметів праці

Річна програма становить 15150 м². Тоді добова виробнича програма складає:

$$P_{\text{доб}} = 15150/250 = 60,6 \text{ м}^2/\text{день},$$

де $T_{\text{доб}} = 250$ доби – кількість робочих діб у календарному році.

Виробничий режим підрозділу становить дві зміни по 8 годин на день.

Тоді виробнича програма зміни становить:

$$P_{\text{змін}} = 60,6/2 = 30,3 \text{ м}^2/\text{зміну}.$$

Кількість циклів цинкування за одну зміну, які необхідні для забезпечення виробничої програми:

$$m = \frac{P_{\text{змін}}}{U_c} = 30,3/0,698 = 43,4 \approx 43 \text{ завантажень/зміну},$$

де U_c – площа разового завантаження ванни цинкування,

Для повного виконання програми з ритмом 19 хв, потрібна наступна кількість ванн: хімічного знежирення - 1 шт., теплої промивки - 2 шт., холодної промивки - 4 шт., хімічного травлення -1 шт., електрохімічного цинкування - 1 шт., уловлювання каскадного типу - 2 шт., електрохімічного хромування - 1 шт., барабан - 1 шт., сушильна камера -1 шт. Отже, сумарна кількість одиниць обладнання становить 14 одиниць.

2.13.2 Визначення виробничої площі цеху загальна характеристика приміщень

Гальванічний цех включає основні виробничі відділення та допоміжні дільниці та служби. Допоміжна площа розраховується у відсотках від виробничої площі. Для виробництв, оснащених автоматичними лініями, вона становить 100-120% [13].

Розмір основної виробничої площі визначають з норм площі на одиницю обладнання за такою формою:

$$S_{\text{ПВ}} = K \cdot \Sigma S_{\text{ав}} = 3,3 \cdot 68 = 224,4 \text{ м}^2,$$

де $S_{\text{ав}}$ – сумарна площа всіх автоматичних ліній, передбачених проектом, м^2 ;

K – коефіцієнт, який приймають рівним 3,2-3,5.

Тоді розмір допоміжної площі

$$S_{\text{ДП}} = S_{\text{ПВ}} \cdot K_1 = 224,4 \cdot 1,1 = 246,8 \text{ м}^2,$$

де K_1 – 1,0-1,2.

Планування та облаштування гальванічних цехів повинно відповідати вимогам діючих санітарних та протипожежних норм.

Гальванічні цехи відносять до категорії шкідливих виробництв. Тому їх розташовують біля зовнішніх стін будівель.

Розміри цеху приймають за типовими будівельними кресленнями промислових будівель. Розташовують обладнання таким чином, щоб це не порушувало потоковість технологічного процесу. Ширина прольоту цеху зазвичай складає 18; 24 м, сітка колон 6; 12 м. Висота цеху повинна бути не менше 5 м для забезпечення достатнього об'єму приміщення та розташування верхніх транспортних пристроїв.

Якщо застосовують двоповерхове розташування обладнання, висота може складати 6; 7,2; 8,4 м. Перший поверх або підвал використовують для розташування усіх комунікацій, вентиляційних камер, встановлення допоміжного обладнання.

Основні умови для планування цеху:

- Забезпечення потоковості виробництва і зручності робочих місць, достатніх проходів між обладнанням для його обслуговування і ремонту.
- Передбачають основний прохід шириною 3-4 м, а проходи між обладнанням шириною 2-2,5 м.
- Обладнання зазвичай розташовують паралельними рядами. Вони розташовані перпендикулярно до основного проходу. Завантаження гальванічних автоматів здійснюють з боку основного проходу.
- Відділення механічної підготовки поверхні деталей; приготування

та корегування складу електролітів та інших технологічних розчинів; комора для хімічних реагентів; експрес-лабораторія для контролю; склад деталей для обробки та склад готових деталей, ВТК, майстерня механіків та електриків, контора цеху, побутові приміщення та приміщення для припливно-витяжної вентиляції розміщують, як правило, в окремих приміщеннях.

- У гальванічному цеху необхідно передбачити достатню припливно- витяжну вентиляцію (0,8-1 м/с) та систему опалення;

- Система опалення має забезпечувати підтримання температури в цеху не нижче 18 °С та відносну вологість повітря не вище 70 %.

Контроль якості покриття

Отримання електролітичних покриттів включає ряд етапів оцінки, зокрема, зовнішній вигляд перевіряється візуальним оглядом при нормальному освітленні, не менше 300 лк. Результати оцінки за зовнішнім виглядом фіксуються у відповідному документі.

Деталі поділяються на три групи: придатні, дефектні та браковані. Дефектні деталі потребують видалення недоліків покриття та повторного нанесення, або додаткової обробки без зняття покриття. Браковані деталі мають центри корозії, руйнування або інші пошкодження, які не піддаються відновленню без зняття низької якості покриття.

Товщина покриття часто є критичним показником якості, вимірювання якої залежить від типу покриття, його форми, основного матеріалу та потрібної точності. Вибір методу вимірювання враховує можливість руйнування покриття чи деталі під час контролю. Для виробничих потреб необхідно визначити як середню, так і мінімальну товщину покриття на різних ділянках деталі, оскільки вона може відрізнятися навіть на плоских поверхнях [14].

Методи вимірювання товщини шару можуть бути руйнівними (хімічні, що пошкоджують лише покриття) або неруйнівними (фізичні, що можуть пошкодити як покриття, так і деталь). Хімічні методи використовуються, коли дозволяється пошкодження покриття в процесі виробництва. Однак

умови масового виробництва не завжди дозволяють автоматизувати цей процес.

Метод зняття полягає в розчиненні покриття в розчині, який не пошкоджує основний метал. Товщина покриття визначається за масою розчиненого шару, що можна виміряти аналітично або взваживши деталь до та після нанесення покриття [14].

2.13.3 Автоматичне регулювання основних параметрів нанесення цинкового покриття

Високоякісне цинкове покриття, нанесене методом гальванізації, є головним завданням цього проекту. Згідно з проведеними розрахунками, процес нанесення цинкового покриття відбувається у барабані за наступними технологічними параметрами (табл.10):

Таблиця 10

Технологічні параметри цинкування

Катодна густина струму	1-3 А/дм ²
Час нанесення покриття	24,5 хв
Сила струму на ванні цинкування	302,5 А
Напруга на ванні цинкування	2,897 В
Температура	15-22 °С

Розчинні аноди є джерелом іонів цинку. Після трьохступеневої промивки деталей у ванні промивки відбувається наступний етап технологічного процесу.

Унаслідок електролізу розчину електроліту змінюється його рН, що може мати вплив на якість утвореного покриття, тому передбачено автоматичне вимірювання та контроль рівня рН.

Також передбачено автоматичний моніторинг обсягу електроліту, який може змінюватися через його розпилення, випаровування під час вивантаження деталей та утворення газів під час технологічного процесу.

Ці вказані процедури необхідні для автоматизації процесу нанесення захисного цинкового покриття.

Для контролю температури під час проведення електроосадження у цій автоматизованій схемі використано термоперетворювач опору, автоматичний реєструючий вторинний пристрій, регулятор з електронною пропорційно-інтегральною функцією та нормувальний перетворювач [16].

Для неперервного перетворення рівня рідини на відповідний сигнал для дистанційної передачі використовується пневматичний передавальний перетворювач рівня.

Також застосовано додатковий пристрій з дистанційним керуванням і регулюючим блоком. Для регулювання рівня рН передбачено чутливий елемент рН-метра, а контроль сили струму в ванні для цинкування забезпечується через контур з випрямним агрегатом [16].

Висновки

У данній частині були виконані наступні розрахунки основних технологічних параметрів:

- товщина покриття, мкм - 10;
- час процесу цинкування, хв. – 24,54 ;
- температура процесу цинкування, °C - 15-22;
- густина катодного струму, А/дм² - 3 ;
- рН розчину елетроліту -8.

Розраховано баланс енергії та розрахунок джоулевої теплоти.

Проведенні розрахунки з визначення витрат реагентів, матеріалів та води, що використовуються у технологічному режимі циклування.

В цьому розділі висвітлені питання щодо контролю якості покриття та автоматичного регулювання основних параметрів нанесення цинкового покриття.

Розділ 3. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

3.1 Охорона праці на підприємстві

Закон «Про охорону праці в Україні» та вимоги системи міжнародних стандартів OHSAS 18000 та ISO 26000 визначають основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює між власником та працівниками підприємства питання безпеки гігієни праці, виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

Гальванічне виробництво містить ряд небезпечних умов праці порушення яких тягнуть за собою непередбачені небезпеки та аварійні ситуації.

Завданням «Охорони праці» на гальванічному виробництві є забезпечення здорових і безпечних умов праці. Тому необхідно щорічно планувати номенклатурні заходи з «Охорони праці», які є невід'ємною частиною колективного договору. Заходи складаються на основі ДСТУ системи стандартів безпеки праці. У відповідності зі статтею 49 «Основ» і результату з норм технологічного регламенту на проектованому підприємстві керуватися загальновиробничими, цеховими інструкціями та інструкціями на робоче місце. [17]

При здійсненні виробничих процесів, пов'язаних із нанесенням металопокриттів, на працівників можливий вплив шкідливих та небезпечних виробничих факторів, у тому числі:

- підвищеної загазованості повітря робочої зони парами шкідливих хімічних речовин (пари та аерозолі кислот, лугів, легкозаймистих рідин, плівкоутворювальних матеріалів, аерозолі солей нікелю, хрому, міді);
- хімічних факторів загальнотоксичного, дратівливого, канцерогенного впливу на організм працівника;
- бризок кислот, лугів, токсичних електролітів і розчинів;
- підвищеного вмісту пилу в повітрі робочої зони;

- підвищеної вологості повітря;
- підвищеного рівня шуму та вібрації;
- небезпечного рівня напруги в електричному колі, замикання якого може статися через тіло людини;
- підвищеного рівня статичної електрики;
- підвищеної температури поверхні виробу та обладнання;
- підвищеного рівня ультразвуку;
- недостатньої освітленості робочої зони;
- частинок абразивних матеріалів, що відлітають;
- рухомих частин технологічного обладнання;
- фізичних навантажень із підвищеними витратами енергії.

3.1.1 Електропожежна безпека гальванічного виробництва

Належну увагу необхідно приділити електробезпеці. Для запобігання працюючого персоналу від дії електричного струму необхідно користуватися електрозахисними засобами, що забезпечують високий ступінь захисту (діелектричні килимки і рукавички, ізолюючі кліщі, індикатор напруги, діелектричні калоші, боти ізолюючі підставки запобіжний пояс, захисні окуляри).

Усе обладнання гальванічного виробництва живиться за допомогою трьохфазної чотирьохпровідної електричної мережі змінного струму та має бути оснащено вибухозахисними засобами. Частини ванн до яких підводять напругу повинні бути ізольованими та захищеними спеціальними кожухами. Ізоляція провідників ($R_{із} = 0.5 \text{ МОм}$) є основним захистом від ураження електричним струмом. Усі ванни оснащені попереджувальними сигнальними лампочками відповідних кольорів: червоного кольору - подачу напруги, зеленого кольору —, відсутність напруги

Електрообладнання гальванічних цехів згідно з ДСТУ 12.1.038-84 може працювати як у нормальному режимі з відповідними показниками: $I_{л} = 0.3 \text{ мА}$, $U_{д} = 2\text{В}$, так і при аварійному режимі – $I_{л} = 6 \text{ мА}$, $U_{д} = 36\text{В}$.

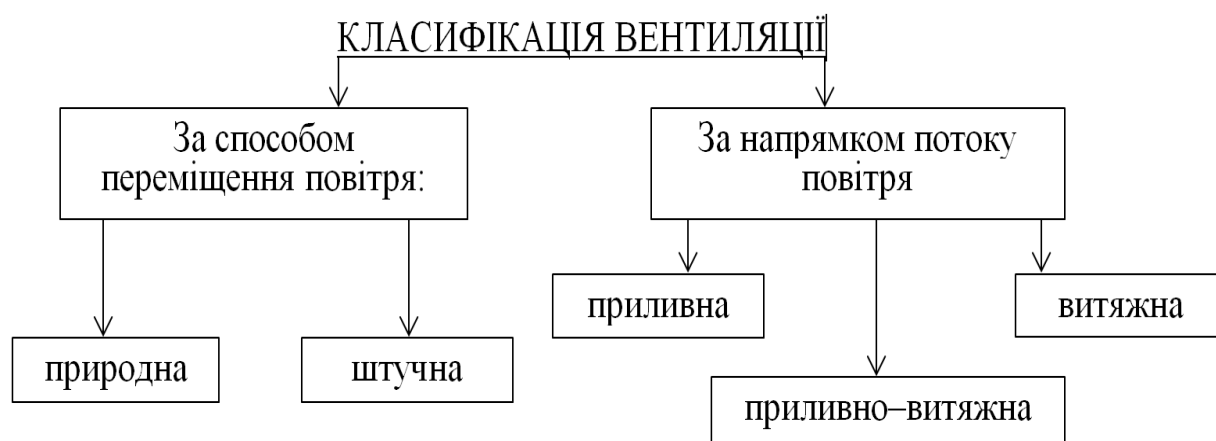
Гальванічне виробництво є одним із виробництв, яке відносять до числа приміщень з підвищеною пожежною небезпекою. Загоряння, пожежі і вибухи на гальванічному виробництві найчастіше відбуваються при порушенні технологічного режиму, при несправності електрообладнання, статичної електрики, іскри, необережного поводження з вогнем, самозаймання речовин. Відповідно до вимог будівельних і технічних норм і правил СНІП П-М2-72 і ОНТП-86 відділення цинкування гальванічного цеху відноситься до категорії В - пожежонебезпечна та класу приміщень за ПУЕ – не вибухове. [18].

Під час електрохімічного цинкового покриття та процесу знежирення виробу з робочих ванн виділяється велика кількість водню та кисню, що при взаємодії займаються, а також при електричній поляризації або несправності обладнання можуть загорятися провідники та інші матеріали.

Для гасіння займистого газу (H_2) використовується інертний газ - азот. Він же використовується для гасіння електрообладнання. У відділенні (всередині) передбачений пожеже господарський водопровід із пожежними кранами та пожежними рукавами по 10 і 20 метрів. Укомплектований щит первинними засобами пожежогасіння (відро, лом, багор, штанга, лопатка, азбестове полотно, вогнегасники марок: ВП-6 і ВВ (наприклад ВВ8 для гасіння електроустаткування і приладів), пісок) [18].

3.1.2 Повітряна зона (ВЕНТИЛЯЦІЯ)

Ефективним методом, що забезпечує сприятливі умови праці гальванічного виробництва, є вентиляція.



У відповідності з СНиП 2.04.05-91, в цеху цинкування передбачена вентиляція природна і механічна. [18].

Взимку з метою не потрапляння холодного повітря в зону робочого місця на висоті 4,5 м від рівня підлоги передбачені отвори для надходження повітря. Влітку починаючи з висоти 1,2 м від рівня підлоги передбачено відкриття нижнього ряду вікон,.

Для відведення шкідливих виділень від місць їх утворення застосовуються системи механічної вентиляції і місцевої витяжки.

При ширині гальванічної ванни 1 м і більше встановлюють місцеву витяжку - бортовий відсмоктувач з передувом (рис. 4), у якого з одного боку ванни повітря відсмоктується, а з іншого — нагнітається. При цьому рухоме повітря ніби екранує поверхню випаровування токсичних рідких продуктів [18].

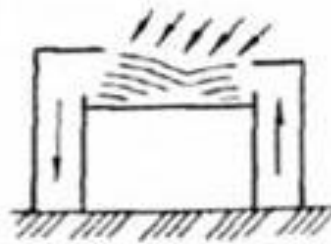


Рис. 4 – Бортовий відсмоктувач з передувом

Окрім бортових відсмоктувачів передбачена витяжна загальнообмінна механічна вентиляція з верхніх зон приміщення, при цьому розраховують загальний притік повітря так, щоб не допустити концентрації парів, газів і отруйних виділень вище граничної норми.

В умовах гальванічного виробництва найбільш розповсюджена припливно-витяжна система вентиляції із загальним припливом в робочу зону та місцевою витяжкою шкідливих речовин безпосередньо з місць їх утворення, Схема якої вказана на рисунку 5.

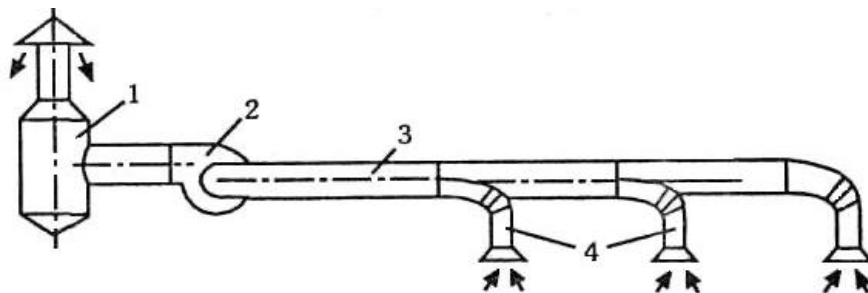


Рис. 5 Схеми витяжної вентиляції:

1- очисний пристрій, 2 -вентилятор, 3 –центральный повітряпровід 4 -
відсмоктуючих повітряпровід

Також передбачено аварійну вентиляцію, яка застосовується тільки у разі аварії.

3.2 Охорона навколишнього середовища

3.2.1 Класифікація стічних вод

Кожен гальванічний технологічний процес нанесення покриттів складається з ряду окремих операцій. Після кожної операції виріб промивають у холодній проточній воді, а після обробки в лужних розчинах – послідовно в гарячій і холодній воді. На заключній стадії обробки виріб послідовно промивається в холодній і гарячій воді та сушиться.

Стічні води гальванічного виробництва підрозділяються на наступні основні категорії:

1. чисті, від охолодження технологічного устаткування (50 – 80% від загальної кількості);
2. забруднені механічними домішками і мастилом (10 – 15%);
3. забруднені кислотами, лугами, солями, сполуками хрому, цинку, міді, нікелю, ціану і іншими хімічними речовинами (50 – 80%);
4. відпрацьовані мастильно-охолоджувальні рідини (МОР) або емульсії (1 – 2%);
5. забруднені пилом вентиляційних систем і горілою землею ливарних цехів (10 – 20%)
6. поверхневі (дощові, талі, поливально-мийні) [19].

Найбільша кількість сполуки важких металів знаходиться в стічних водах 3 і 4 категорій. Важкі метали потрапляють у стічні води з технологічних розчинів, як продукти деструкції оброблюваних деталей і інструменту, при промиванні устаткування і виробів.

Стічні води третьої категорії утворюються в процесі хімічної і електрохімічної обробки виробів. Вони містять важкі метали переважно у вигляді хімічних сполук, як правило, розчинних.

Стічні води четвертої категорії утворюються при механічній обробці виробів. Основна маса важких металів знаходиться в них у вигляді дрібнодисперсних суспензій, але частина може знаходитися у вигляді розчинних сполук.

За об'ємом, складу забруднень третя категорія стічних вод є переважаючою. По існуючій класифікації, стічні води цієї категорії ділять на наступні групи: кислотно-лужні, хромомісткі, ціаномісткі, фтормісткі.

Склад забруднень в стічних водах гальванопокриття за цією класифікацією наведено в таблицю 11 [20].

Таблиця 11

Склад забруднень в стічних водах гальванопокриття

Група стічних вод	Основні технологічні процеси утворення стічних вод	Склад забруднень	pH
Кислотні	Попереднє травлення, кисле міднення, нікелювання, цинкування	H ₂ SO ₄ , HCl, HNO ₃ , H ₃ PO ₄ та інші	<6,5
Лужні	Знежирювання	NaOH, KOH, Ca(OH) ₂ та інші	>8,5
Стічні води, що містять солі важких металів	Поверхнева металообробка та нанесення гальванопокриття	Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , Zn ²⁺ , Al ³⁺ , Cu ²⁺ та інші	<6,5
Ціановмісні	Ціаністе міднення, цинкування, кадміювання, сріблення	KCN, NaCN, CuCN, Fe(CN) ₂ , [Cu(CN) ₂] ⁻ , [Cu(CN) ₄] ₃ , [Zn(CN) ₄] ₂ ⁻ та інші	2,8-11,5

Виходячи з даних табл. 1, можна зазначити, що кількісний і якісний склад стоків залежить від застосовуваної схеми й витрат води на промивання. Отже раціоналізація водоспоживання через вибір застосовуваного обладнання та схем промивання визначає об'єм, кількісний і якісний склад промивних і стічних вод, а, відповідно, і склад очисного обладнання, ефективність його роботи.

3.2.2. Очищення стічних вод процесу цинкування

Хімічні і електрохімічні процеси обробки виробів є основними джерелами забруднень стічних вод гальванічних виробництв. Вода забруднюється в процесі охолодження і миття устаткування і тари, на основних і допоміжних технологічних операціях. Витрата стічних вод досягає 500 м³/добу з 1000м² виробничих майданчиків.

Загальні вимоги до якості технічної води для приготування технологічних розчинів, електrolітів і промивних операцій в гальванічному виробництві, способам її раціонального використання і застосування маловодних і маловідходних схем промивань встановлені відповідно до ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001 [21]. Виконання вимог даного стандарту забезпечує скорочення витрат води, реагентів при знешкодженні гальванічних стоків і зниження навантаження на очисні споруди.

Технічна вода в гальванічному виробництві в залежності від галузі застосування поділяється на три категорії (табл. 12) [21].

Таблиця 12

Напрями застосування технічної води в гальванічному виробництві

Категорія води	Галузь застосування	Додаткові вказівки
I	Промивання деталей в операціях підготовки поверхні до покриття, крім II-ої та III-ої категорій	-
II	Приготування електrolітів і промивання у всіх випадках, крім зазначених для вод III ої категорії	Вода, що використовується на промивання, може бути застосована повторно, як вода I-ої категорії
III	Приготування електrolітів і промивання перед обробкою в електrolітах (розчинах), складених на воді III-ої категорії, а також при спеціальних вимогах до якості і зовнішньому вигляді, для особливо відповідальних деталей	Вода, що використовується на промивання, може бути застосована повторно, як вода I-ої та II-ої категорій

У гальванічному виробництві слід застосовувати системи багаторазового використання води, які в потрібних випадках забезпечують очищення води до необхідної якості і (або) рекуперацію цінних компонентів.

Виходячи з вимог, що пред'являються до якості технічної води для гальванічного виробництва, розроблена вдосконалена технологічна схема очистки стічних вод, що заснована на доповненні діючої технологічної схеми стадією доочищення методом іонного обміну.

Іонообмінне очищення застосовується для вилучення зі стічних вод гальванічних виробництв солей важких, лужних і лужноземельних металів (цинку, міді, хрому, нікелю, свинцю, Науково-технічний журнал № 2 (22) 2020 101 кадмію тощо), вільних мінеральних кислот і лугів, а також деяких органічних речовин. Цей метод очищення дозволяє вилучати цінні речовини при високому ступені очищення води [22].

Запропонована багатостадійна схема комплексного очищення стічних вод гальванічних виробництв включає традиційні, легко реалізовані, маловитратні методи, такі як:

- Реагентна обробка, як найпоширеніший спосіб очищення стоків, де двоступеневою реагентною обробкою здійснюється коригування рН гальванічних стоків для переведення важких металів в нерозчинну гідроокисну форму. При обробці стічних вод реагентами відбувається їхня нейтралізація та знебарвлення.

- Механічне очищення – флотація, відстоювання, фільтрування. Метод дозволяє відокремити нерозчинні домішки, що утворюються. За вартістю механічні методи очищення відносяться до одних з найдешевших.

- Фільтрація води, що очищується, через напірні осадові, сорбційні та іонообмінні фільтри. На даній стадії з води видаляються завислі частинки, які залишилися, органічні сполуки, іони важких металів, нітрати, сульфати, хлориди тощо. Відбувається знесолення води та її знебарвлення.

- Збір і зневоднення шламів. Шлам збирається в поліпропіленові мішки та утилізується спеціальними підприємствами з утилізації.

Основна мета запропонованих методів – зниження вмісту важких металів до значень гранично допустимих концентрацій, що дозволяє здійснювати скид очищеної води в міську каналізацію або повернення очищеної води у гальванічне виробництво.

Удосконалену технологічну схему очистки стічних вод гальванічного виробництва на основі їхнього доочищення методом іонного обміну наведено на рис. 6.

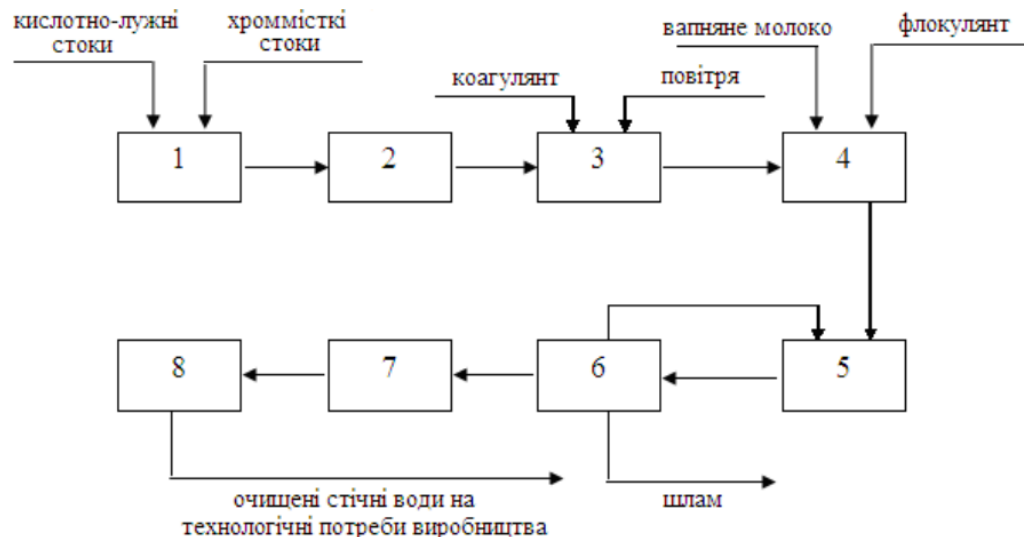


Рис. 6. Удосконалена технологічна схема очистки стічних вод гальванічного виробництва на основі їхнього доочищення методом іонного обміну (1 – усереднювач; 2 – електрокоагулятор; 3 – баки-реактори; 4 – проміжна ємність; 5 – відстійник; 6 – вакуум-фільтр; 7 – катіонові фільтри; 8 – аніонові фільтри)

Стічна вода після очисних споруд гальванічного підприємства подається на іонообмінні фільтри – катіонові 7 і аніонові 8, після яких знов повертається на очисні споруди. Для забезпечення необхідної якості води з метою її повернення в технологічний процес з найменшими капітальними та експлуатаційними витратами передбачається схема водопідготовки – доочищення на Н-катіонових і ОН-аніонових протиточних фільтрах за технологією *UP.CO.RE*.

У фільтрі, який працює за цією технологією, вода, що обробляється, рухається зверху вниз, регенераційні розчин – знизу вгору. Технологія має всі переваги протиточних технологій і в той же час позбавлена недоліків.

В якості катіоніту, що використовується в протиточних іонообмінних фільтрах ФІПр, застосовується катіоніт марки КУ-2-8 [22]. Катіоніт даного типу відрізняється механічною міцністю, осмотичною стабільністю і високою хімічною стійкістю до дії лугів, кислот, окислювачів. Не розчиняється у воді та органічних розчинниках. Неплавкий, негорючий, вибухобезпечний, неотруйний, радіоактивних і озоновмісних речовин позбавлений. Стійкий до дії високих (110-120°C) температур. Його обмінна ємність мало залежить від рН середовища. В якості аніоніту, що використовується в протиточних іонообмінних фільтрах ФІПр, застосовується аніоніт марки АВ-17-8 [22].

Для підвищення механічної очистки стічних вод доцільно використовувати сучасні високоефективні відстійники механічної очистки з ефективністю понад 90-97% за вмістом завислих речовин [22].

Висновки

Кожен технологічний процес гальванічного нанесення металевих покриттів складається з ряду окремих операцій. Після кожної операції виріб промивають у холодній проточній воді, а після обробки в лужних розчинах – послідовно в гарячій і холодній воді. На заключній стадії обробки виріб послідовно промивається в холодній і гарячій воді та сушиться.

Таким чином, гальванічне виробництво нерозривно пов'язане зі скидом відпрацьованих промивних вод.

В даному розділі поданий іонно-обмінний метод сучасного очищення стічних вод. Цей метод дозволить ефективно очистити стічні води гальванічно-цинкового виробництва на іонообмінних фільтрах від катіонів і аніонів на 99,99% від вихідної концентрації іонів-забруднювачів. При цьому концентрація забруднюючих речовин після доочищення за запропонованою вдосконаленою технологічною схемою не перевищує нормативів, які пред'являються до технічної води 3-ої категорії згідно зі стандартом ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001.

Це дозволить створити на підприємстві систему замкнутого водообороту, внаслідок чого на власній виробничій потребі буде повертатися

до 95% очищеної води для приготування електролітів і промивання перед обробкою в електролітах (розчинах).

ВИСНОВКИ

1. Для даного процесу обрано цинкатний електроліт з добавками серії ЛВ (ЛВ-4584, ЛВ-8490). Процес гальванічного цинкування з ЛВ-4584 дає змогу наносити рівномірні, корозійностійкі, напівблискучі захисно-декоративні цинкові покриття з мінімальною витратою реагентів, тепла й електрики. Перевагами цього блискоутворювача є невисока вартість і утворення якісних цинкових покриттів з відсутністю пригарів та відлущування під час вигинів і на гладкій поверхні. Також особливою відмінністю добавки є її здатність утворювати високоякісні цинкові покриття під час роботи з нерозчинними анодами, в широкому діапазоні температур електроліту (від 5-10 до 60-80° С) та катодної густини струму (0,1–100 А/дм²), що дає змогу застосовувати її в будь-яких ваннах і лініях гальванічного цинкування. Добавка ЛВ-4584 є єдиним розчином, який вповні здатен замінити ціаністі електроліти цинкування. Коригування складу електроліту відбувається за контролем концентрації іонів цинку

2. Здійснено розрахунок основні технологічні параметрів для проведення процесу цинкування. Товщина покриття становить 10 мкм, час процесу нанесення покриття (цинкування) 24,54 хв., в температурному інтервалі 15-22°С при густині катодного струму 3 А/дм², при рН розчину цинкатного електроліту – 8.

3. Розраховано баланс енергії та розрахунок джоулевої теплоти.

4. Проведенні розрахунки з визначення витрат реагентів, матеріалів та води, що використовуються у технологічному режимі цинкування.

5. Систематизовані дані параметрів процесу, що підлягають автоматичному контролю і регулюванню та контролю якості процесу нанесення цинкового покриття: температури технологічних стадій; рівня і значення рН електроліту; струму та напруги.

6. Заходи щодо охорони праці електробезпеки забезпечують нормальну роботу персоналу, приведені характеристики стічних вод та рідинних відходів.

7. Запропоновано іонно-обмінний метод сучасного очищення стічних вод, що дозволить ефективно очистити стічні води гальванічно-цинкового виробництва на 99,99% від вихідної концентрації іонів-забруднювачів та створити на підприємстві систему замкнутого водообороту, внаслідок чого на власні виробничі потреби буде повертатися до 95% очищеної води для приготування електролітів і промивання перед обробкою в електролітах (розчинах).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алімов В.І., Дурягіна З.А. Корозія та захист металів від корозії / В.І.Алімов, З.А. Дурягіна. – Донецьк-Львів:ТОВ «Східний видавн.дім». – 2012. – 328 с.
2. Кислова О. В. Основи електрохімії : навч. посіб. / О. В. Кислова, І. С. Макєєва. – К. : КНУТД, 2017. – 128 с
3. Гальванотехніка. Проектування гальванічних виробництв: навч. посіб. / О.В. Лінючева, Л.А. Яцюк, Т.І. Мотронюк, О.І. Букет, С.В. Фроленкова – Київ: КПП ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 147 с
4. Kania H., Sipa J. Microstructure characterization and corrosion resistance of zinc coating obtained on highstrength grade bolts using a new thermal diffusion process / H.Kania, J.Sipa – Materials. – 2019. – Vol. 12. – P. 1400.
5. Гальванічне цинкування металу: технологія, обладнання. URL.: <https://government.com.ua/nashi-hroshi/galvanichne-tsinkuvannya-metalu-tekhnologiya-obladnannya.html>. Дата звернення: 24.07.2023 р.
6. Zinc Electroplating: Clifford Biddulph Pavco Inc. URL.: <https://pavco.com/marketingFiles/ZincElectroplatingArticle.pdf>. Дата звернення: 22.07.2023 р.
7. Миронюк І.Ф., Микитин І.М. Електрохімія та її практичні аспекти: Навч. посіб. / Ів.-Франк.:ПНУ ім.В.Стефаника, 2016.-174 с.
8. Блискоутворювач для лужного цинкування ЛВ 4584. URL.: <https://novohim.prom.ua/ua/p24157089-bleskoobrazovatel-dlya-schelochnogo.html>. Дата звернення: 22.07.2023 р.
9. Блискостворюючі добавки для гальванічних покриттів. URL.: https://novohim.com.ua/category/blesko_dobavki/. Дата звернення: 22.07.2023 р.
10. Radu T., Vlad M. Zinc coatings on steel substrate attained by different elements added / T. Radu, M. Vlad – Teh. J. – 2011. – Vol. 18. – P. 133–139.
11. Технічна електрохімія: підручник в 5 ч.- ч.5: Сучасні хімічні джерела струму, електроліз розплавів, електросинтез хімічних речовин / Б.І.Байрачний, Г.Г.Тульский, І.А.Токарев; за ред. Б.І.Байрачного .- Х.: НТУ (ХП), 2016. – 272 с.
12. Ткаченко О.В. Методичні вказівки до курсового проектування з курсу

“Проектування та устаткування хімічних та електрохімічних виробництв”.
Розділ “Проектування гальванічного обладнання” /Уклад. О.В.Тткаченко,
Л.А.Яцюк–К.:КНУТД, 2018. –50 С

13. Лабораторний практикум з автоматизації процесів виробництв легкої промисловості та хімічних технологій/ Упор.: Скирута М.А., Кущинський О.А. – К.: КНУТД, 2004. – 76 с.

14. Лукінюк М. В. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами [у 2 кн.]. Кн. 2. Керування хіміко-технологічними процесами [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки «Хімічна технологія та інженерія» / М. В. Лукінюк. – М-во освіти і науки, молоді та спорту України, НТУУ «КПІ». – Київ : Політехніка, 2012. – 336 с

15 Автоматика і автоматизація технологічних процесів: Підручник/ Д.Б.Головко, К.Г.Региу, Ю.О.Скрипник. – К.: Либідь, 1997. – 232 с.

16. М.В.Свіщов, А.П.Гречан, Л.М.Попович, Т.В.Гавриленко, Т.В.Божкова. Внутрішньовиробниче планування на промислових підприємствах: Навч. Посібник /за ред.. М.В. Свіщова. – К.: Арістей, 2005. – 528 с.

17.Охорона праці: навчальний посібник/ І.В. Панасюк та ін. – КНУТД, 2012. – 88 с.

18.Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М. та ін. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник /За ред. канд. техн. Наук, доцента В.Ц.Жидецького. – Львів, Афіша, 2000 – 352 с.

19. Макєєва І.С., Кислова О.В., Андрейцева.М.В. Електрохімічна екологія та її застосування [Текст] : навч. посіб. - Київ :КНУТД, 2018. - 216 с.

20. 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.

21. Державні санітарні норми та правила «Допустимі дози, концентрації, кількості та рівні вмісту пестицидів у сільськогосподарській сировині, харчових продуктах, повітрі робочої зони, атмосферному повітрі, воді водоймищ, ґрунті» (ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001). Постанова Головного державного санітарного лікаря України

від 20.09.2001. №137. 376 с

22 Науково-технічний журнал № 2 (22) 2020 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ОЧИСТКИ СТИЧНИХ ВОД ГАЛЬВАНІЧНИХ ЦЕХІВ ПІДПРИЄМСТВ ВУГІЛЬНОГО URL.:

<https://ebzr.nung.edu.ua/index.php/ebzr/article/download/431/434> Дата звернення:

22.10.2023 р.