

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
ДИЗАЙНУ
Факультет хімічних та біофармацевтичних технологій

Кафедра електрохімічної енергетики та хімії

**Пояснювальна записка
до дипломного магістерського проєкту**

на тему: «Проектування гальванічного цеху з нанесення цинкового
покриття річною програмою 13200 м.кв.»

Виконала: студентка групи МГТЕ-21
спеціальності 161 Хімічні технологія та інженерія
Марія КОРОБКОВА

Керівник доц. Олена КРЮКОВА

Рецензент доц. Ірина МАКЄЄВА

Київ 2022

**Факультет хімічних та біофармацевтичних технологій
Кафедра електрохімічної енергетики та хімії
Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕЕХ
В'ячеслав БАРСУКОВ
“ ____ ” _____ 2022 року

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ МАГІСТЕРСЬКИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ**

Коробковій Марії Вікторівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Проєктування гальванічного цеху з нанесення цинкового покриття річною програмою 13200 м.кв.»

Науковий керівник роботи Олена КРЮКОВА, к.т.н., доцент
затверджені наказом вищого навчального закладу від 28.09.2022 № 180-уч.

2. Строк подання студентом роботи _____ 2022 року

3. Вихідні дані до проєкту:

Спроекувати гальванічний цех процесу нанесення цинкового покриття на сталеві деталі продуктивністю 13200 м.кв. на рік.

4. Зміст дипломного проєкту (перелік питань, які потрібно розробити):

Зміст записки повинен відповідати вимогам «Методичні рекомендації до виконання дипломної магістерської роботи та дипломного магістерського проєкту: для студентів денної і заочної форм навчання зі спеціальності 161 – Хімічні технології та інженерія, освітня програма (Технічна електрохімія та електрохімічна енергетика) 2018 р.».

5. Перелік графічно-наочного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

- 5.1. Схематичне зображення гальванічної лінії.
- 5.2. Схематичне зображення підвіски з деталями.
- 5.3. Схематичне зображення ванни цинкування.
- 5.4. Зображення деталі.

6. Консультанти розділів дипломного магістерського проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	
Розділ 1	Крюкова О.А., к.т.н., доцент к-ри ЕЕХ	
Розділ 2	Крюкова О.А., к.т.н., доцент к-ри ЕЕХ	
Розділ 3	Крюкова О.А., к.т.н., доцент к-ри ЕЕХ	
Розділ 4	Крюкова О.А., к.т.н., доцент к-ри ЕЕХ	

7. Дата видачі завдання “ _____ ” _____ 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного магістерського проєкту	Терміни виконання етапів	Примітка про виконання
1	Вступ		
2	Розділ 1		
3	Розділ 2		
4	Розділ 3		
5	Розділ 4		
6	Висновки		
7	Оформлення дипломного магістерського проєкту (чистовий варіант)		
8	Здача дипломного магістерського проєкту на кафедру для рецензування (за 14 днів до захисту)		
9	Перевірка дипломного магістерського проєкту на наявність ознак плагіату (за 10 днів до захисту)		
10	Подання дипломного магістерського проєкту на затвердження завідувачу кафедри (з 7 днів до захисту)		

Студентка

Марія КОРОБКОВА

Науковий керівник роботи

Олена КРЮКОВА

Директор НМЦУПФ

Олена ГРИГОРЕВСЬКА

АНОТАЦІЯ

Проектування гальванічного цеху з нанесення цинкового покриття річною програмою 13200 м.кв.

Київ: КНУТД, 2022.

Дипломний магістерський проєкт, 2022 рік, кількість сторінок - 58 , таблиць - 4 , рисунків - 4 , схем - 1.

З метою отримання захисного покриття у даному магістерському проєкті розроблений процес цинкування продуктивністю 13200 м.кв. на рік. Проведено розрахунок технологічних параметрів процесу цинкування.

Осадження цинку реалізується з сульфатного електроліту при катодній густині струму 2 А/дм^2 .

У проєкті передбачені заходи з охорони праці.

Ключові слова: електролітичне цинкування, сульфатний електроліт, катодна густина струму, електрохімічне знежирення, активація, травлення, пасивація.

ANNOTATION

Project of galvanic workshop with development of technological process of galvanizing with a productivity of 13200 sq.m. for a year.

Kyiv: KNUTD, 2022.

Master's degree project, 2021, number of pages - 58, tables - 4, figures - 4, diagrams - 1.

In order to obtain a protective coating in this master's project, a galvanizing process with a capacity of 13,200 sq.m. for a year. The calculation of technological parameters of the galvanizing process is carried out.

Precipitation of zinc is realized from the sulfate electrolyte at a cathode current density of 2 A/dm^2 .

The project provides for labor protection measures.

Key words: electrolytic galvanizing, sulphate electrolyte, cathode current density, electrochemical degreasing, activation, etching, passivation.

ЗМІСТ.....	6	
ВСТУП.....	8	
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ПРОЦЕСУ		
ГАЛЬВАНІЧНОГО НАНЕСЕННЯ ЦИНКОВИХ ПОКРИТТІВ.....	11	
1.1 Гальванічні покриття.....	11	
1.2 Методи цинкування.....	12	
1.3 Порівняльна характеристика цинкових електролітів.....	17	
РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....		21
2.1 Об'єкт досліджень.....	21	
2.2 Методи досліджень якості покриття.....	22	
2.2.1 Контроль зовнішнього виду покриття.....	22	
2.2.2 Контроль товщини покриття.....	23	
2.2.3 Контроль міцності зчеплення.....	24	
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС НАНЕСЕННЯ		
ГАЛЬВАНІЧНОГО ЦИНКОВОГО ПОКРИТТЯ.....	26	
3.1 Характеристика деталей та цинкового покриття.....	26	
3.2 Процес нанесення цинкового покриття.....	27	
3.3 Технологічні розрахунки.....	34	
3.3.1 Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання.....	34	
3.3.2 Визначення виробничої програми обладнання.....	34	
3.3.3 Вибір виду обладнання та розрахунок його габаритних розмірів.....	35	
3.3.4 Баланс кількості електрики.....	39	
3.3.5 Визначення кількості теплоти, складання балансу енергії.....	42	
3.3.6 Тепловий розрахунок.....	43	
3.3.7 Розрахунок витрат матеріалів.....	44	

РОЗДІЛ 4. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ УМОВ РОБОТИ У ГАЛЬВАНІЧНОМУ ЦЕХУ	51
4.1 Профілактика електротравм.....	51
4.2 Нормалізація повітря робочої зони.....	52
4.3 Пожежна профілактика та вибір засобів пожежогасіння.....	53
ВИСНОВКИ.....	55
Список літературних джерел.....	56

ВСТУП

Одним зі шляхів підвищення економічної ефективності гальванічних виробництв та покращення екологічної ситуації є розробка та використання гальванічних процесів електроосадження металів саме з електролітів з більш низькою, в порівнянні з стандартною, концентрацією його складових компонентів. Особливо це важливо для процесу цинкування, який є найбільш поширений в сучасній гальванотехніці. По площі покриттів, що наносяться, він складає близько 58,8% [1]. В той же самий час, дослідження по осаду цинку з низькоконцентрованих електролітів наразі малочисельні. До недоліків таких гальванопокриттів можна віднести: по-перше, в розчинах електролітів зниженою є концентрація тільки йонів цинку; по-друге, поверхнево-активні речовини (ПАР), які використовуються, тільки невітчизняного виробництва і, нарешті, осади тільки постійним струмом. З електролітів електролітичного цинкування, що потребують досліджень по цій проблемі, найбільшої уваги заслуговують слабокислі розчини. Разом з цинкатними вони широко використовуються як у вітчизняній, так і закордонній практиці. Одночасно, при впровадженні нових технологій осади металів з низькоконцентрованих електролітів не повинна бути знижена швидкість осади, а також погіршенні фізико-механічні властивості покриттів. Одним із шляхів ефективного вирішення цієї задачі є застосування нестационарних електричних режимів, тобто імпульсного електролізу.

Актуальність теми. Гальванічне цинкування - це ефективний і недорогий, а саме тому поширений спосіб захисту металів від корозії. Дуже часто його використовують при виготовленні метизів та кріпильних виробів, а також сталевих сітки. На досягнення цих цілей витрачається приблизно 40 % світового видобутку цинку. Товщина отриманого покриття повинна бути тим більшою, чим агресивнішим є навколишнє середовище та чим довший очікуваний термін експлуатації. Цинкуванню

піддаються деталі машин і приладів, сталеві листи, дріт, стрічка, кріпильні деталі, трубопроводи та інші металоконструкції [2]. Декоративного призначення електрохімічне цинкове покриття зазвичай не має; деякого покращення товарного вигляду виріб набуває після пасивування оцинкованих виробів у хроматних, або фосфатних розчинах, які надають покриттям веселкового забарвлення. Найширшого застосування набула оцинкована смуга, яка виготовляється на автоматизованих лініях гарячого цинкування шляхом занурення в розплавлений цинк. Такі методи, як розпилювання та металізація дають змогу покривати вироби будь-якого розміру (наприклад, мостові металоконструкції, щогли електропередач, дорожні огорожі, резервуари). Електролітичне цинкування проводиться в основному у кислих та лужно-ціаністих електролітах, а спеціальні добавки дозволяють одержувати блискучі покриття.

Мета дослідження – розробити технологію нанесення гальванічного захисного блискучого цинкового покриття з використанням неагресивного та нетоксичного цинкатоного електроліту.

Завдання дослідження:

- провести аналіз сучасних промислових електролітів цинкування, визначити переваги та недоліки роботи кожного з них;
- розробити технологічний процес гальванічного нанесення блискучого цинкового покриття;
- зробити аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів на проєктованому виробництві і спланувати заходи з охорони праці.

Об'єктом дослідження являється процес гальванічного нанесення блискучих цинкових покриттів на сталеві вироби.

Предметом дослідження є розроблення технологічного процесу гальванічного осадження цинку з нетоксичних електролітів або з електролітів, що мають більш низьку, в порівнянні із стандартною, концентрацію його складових компонентів.

Методи дослідження:

- аналіз вітчизняних та закордонних літературних джерел щодо основних типів цинкових електролітів, які мають найбільш широке застосування у сучасній електрохімічній промисловості;
- аналіз методик розрахунків технологічних параметрів процесу цинкування;
- аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

Практична цінність. У даному магістерському проєкті запропоновано технологічну схему процесу блискучого цинкування, яка включає стадії: підготовки деталей, власне цинкування, освітлення покриття, його пасивацію та контроль якості покриття. Підібрані оптимальні параметри процесу цинкування, що дозволяє отримувати якісне покриття, а також запропоновані відповідні заходи з охорони праці.

Елементи наукової новизни. Запропоновано технологію гальванічного нанесення блискучого цинкового покриття з використанням удосконаленого складу електроліту. Показано, що удосконалений склад електроліту включає всі переваги кислого хлористого цинкування - високу катодну ефективність, декоративне покриття і можливість отримання покриття на відлитох і кованих деталях. Виконаний розрахунок технологічного обладнання з оптимізацією розміщення деталей та електродів у ванні з метою зменшення витрат електричної енергії на одиницю готової продукції.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ПРОЦЕСУ ГАЛЬВАНІЧНОГО НАНЕСЕННЯ ЦИНКОВИХ ПОКРИТТІВ

1.1 Гальванічні покриття

На будь якого підприємстві машинобудування, авіабудування та на підприємствах, які виготовляють радіоапаратуру є гальванічні цехи, тому що дуже багато випускається деталей та виробів, які мають необхідність у гальванічній обробці. Гальванопокриттям піддають: сталеві деталі, деталі з алюмінієвих та мідних сплавів, а також елементів з нержавіючої сталі.

Гальванічний цех являє собою свого роду проміжний буфер між формотворними та металообробними цехами і складальним виробництвом. Цей цех призначений для нанесення захисних, захисно-декоративних покриттів як електрохімічними, так і хімічними методами.

Гальванічний метод осадження металів був ще відкритий в 1838 році в Петербурзі російським академіком Б.С.Якобі. Спосіб одержав досить широке поширення та протягом століття розвинувся у досить великий та самостійний розділ прикладної електрохімії – гальваніку.

Утворення гальванічних покриттів засновані на осадженні металів з розчинів їх солей під дією електричного струму. Утворення осаду металу на деталях відбувається при підключення її до негативного полюсу джерела струму. Тому, деталь виступає негативним електродом і називається катодом. Другий електрод, який підключається до позитивного полюсу є анодом.

Саме такий гальванічний спосіб дозволяє забезпечити покриття деталей чистими металами або їх сплавами з мінімальними втратами металів, а також простоту утворення різної товщини покриття, його

пористості, гарного зчеплення з поверхнею деталі, на яку відбулося нанесення.

Деталі, які підлягають гальванічному покриттю покриттю, монтується на підвіски на спеціальних монтажних столах, що знаходяться у зоні завантаження ліній або завантажуються у барабан.

1.2 Методи цинкування

Для покриття цинком використовують способи занурення виробів у розплавлений цинк (так званий «гарячий спосіб цинкування»), цементації (дифузійний), металізації - шляхом розпилення розплавленого металу з пульверизатора, електролітичний та контактний. Найбільшого поширення в промисловості набули гарячий та електролітичний способи цинкування.

Гарячий спосіб ґрунтується на зануренні попередньо очищених від жирових та окисних забруднень деталей з чорних металів у ванну із вуглецевої сталі з розплавленим металом (450°C) на період від декількох секунд до 1 хвилини. Перед таким зануренням в розплав цинку вироби спочатку проходять через шар розплавленого флюсу, що знаходиться на поверхні дзеркала ванни та складається із суміші хлористого цинку та хлористого амонію. Флюсування можна проводити і в окремій ванні, яка містить 40-50%-ний розчин хлористого цинку, яким змочують поверхню виробів з наступним просушуванням у печі при $150\text{-}200^{\circ}\text{C}$ протягом 1-1,5 хвилин. Флюсування в обох випадках позитивно впливає на видалення з поверхні деталей вологи, залишків травильного шламу та перешкоджає окисненню поверхні у момент занурення деталей у розплавлений цинк. При гарячому цинкуванні сталеві смуги у автоматі після знежирення, травлення та промивки замінюють флюсування на відпал у відновній атмосфері, що складається з суміші водню (~75%) та азоту (~25%). Відпалена смуга охолоджується до $520\text{-}500^{\circ}\text{C}$, а потім поступає з випускного жолобу (без контакту з повітрям) у ванну цинкування [3]. Адгезія покриття при такому способі ґрунтоване на змочуванні

розплавленим цинком, що дозволяє створити з поверхнею заліза крихку інтерметалічну сполуку залізо - цинк (FeZn_7 і FeZn_3). Відносна товщина цього шару та товщина всього покриття (верхній шар складається переважно з чистого цинку) перебувають в дуже великих межах, що залежить як від тривалості виробів у ванні, так і температури, форми і характеру обробки виробів. При гарячому способі точне регулювання товщини покриття неможливо. Ця обставина, та також досить велика некористана втрача цинку у ванні, втрати при очищенні виробів від надлишку цинку після їх вивантаження із ванни є недоліками гарячого методу цинкування. Через нерівномірності покриття, потовщень та напливів на деяких частинах поверхні, гарячий метод не використовується для цинкування деталей з вузькими отворами (сітка) та різьбленням. Не рекомендується також цинкувати гарячим способом деталі, у яких під дією високої температури змінюються деякі механічні властивості (вироби з спеціальних видів сталі). З іншого боку, для виробів таких як відра, тази, різні зшивні ємності, що мають внутрішні заковчені шви, саме гарячий спосіб є найбільш доцільним. В цьому випадку розплавлений цинк, заповнюючи отвори та канали швів, надає герметичності посуду. Промислове використання гарячий спосіб отримав для цинкування посуду, дроту, листів, труб та залізних виробів [3].

Дифузійний метод цинкування заснований на тому, що сталеві вироби, попередньо очищені від жирових та окисних забруднень, контактують з дрібними частинками металевого цинку (цинковий порошок) або взаємодіють з парами цинку без контакту з металом при температурі $400-500^{\circ}\text{C}$. Цинк дифундує у поверхневі шари сталі та утворює з залізом хімічні сполуки (тверді розчини). Цей процес відбувається у відновлювальній водневій або аміачній атмосфері. Також розроблений вакуумний дифузійний метод цинкування, що дозволяє одержувати товсте цинкове покриття за досить короткий час при температурі близько 300°C . Особливістю дифузійного методу є

можливість одержання суцільного та рівномірного по всій товщині покриття на виробах та деталях будь-якої складної форми [2,3]. Дифузійний спосіб цинкування застосовують для покриття регенераторів при виробництві бензину, теплообмінників, печей, а також апаратури для синтезу аміаку, метилового спирту та інших органічних продуктів. Апаратура, яка оцинкована дифузійним способом, є стійкою у відновлювальному газовому середовищі у присутності сірковмісних компонентів (наприклад H_2S) при температурі до $550^{\circ}C$.

Недоліками дифузійного способу цинкування є громіздкість та складність апаратури, що використовується для цієї мети та довготривалість процесу.

Нанесення цинкового покриття методом пульверизації, або розпилення цинку ґрунтується на розбризуванні тонкого струменя розплавленого металу по всій поверхні деталі під дією стисненого повітря. Цим методом можна покривати вироби із будь-якого матеріалу, тому що частки металу розпорошуються і осідають на поверхні виробів досить охолодженими. На відміну від розглянутих вище способів при пульверизації металу не може утворитися сплав, що покриває всю поверхню основного металу. Адгезія покриття забезпечується тим, що частинки після удару об поверхню на великій швидкості (100-150 м/с) деформуються, злипаються та проникають у пори поверхні та в проміжки між іншими частками. Структура таких утворених покриттів має вигляд окремих нашарувань, які механічно зв'язані з поверхнею [1-3].

Однією з найважливих умов гарного зчеплення покриття з основою є досить велика шорсткість поверхні, що покривається. Це досягається піскоструминним та дробеструйним очищенням або травленням. Міцність зчеплення також суттєво зростає при попередньому нагріванні поверхні металу, що покривається. Цим методом цинкують великі вироби різної форми (сталеві конструкції, шлюзові ворота, мости, баки, цистерни, радіощогли та т.і.), також неметалеві вироби. Цим методом можна

проводити ремонтне або часткове покриття без демонтажу споруди, також дрібні вироби з цинку в обертових барабанах, сполучених з апаратом для розпилення. До переваг цього методу слід віднести можливість регулювання товщини шару утвореного цинку та велику швидкість нанесення покриття.

До недоліків методу розпилення можна віднести малу густину, пористість та підвищену крихкість покриття. Крім того, витрата самого цинку значно перевищує кількість металу, який наноситься на поверхню виробів, внаслідок його втрати під час розпилювання, що досягають 35% та більше. Для підвищення щільності покриття та покращення антикорозійних властивостей, одержуваного покриття методом розпилення, використовують іноді наступну механічну (шліфування) або хімічну обробку. Хімічна обробка заснована на заповненні пор інертними речовинами та просоченні ними шару металу або продуктами корозії цинку, які утворюються всередині пор у покритті. Ущільнення шару металу досягається також утворенням карбонатів та гідроокису цинку під час занурення оцинкованих виробів у гарячу воду.

Спосіб цинкування без зовнішнього джерела струму, так званий «контактний спосіб», заснований на тому, що очищені від забруднень деталі занурюють у розчин цинкової солі та приводять їх в контакт з металом, який має потенціал більш негативний, аніж потенціал металу, що покривається [3]. При цьому метал переходить у розчин, витісняючи цинк на поверхню деталі, що покривається. Для цинкування сталі, у якості контактного металу використовують зазвичай алюміній і проводять процес у лужному розчині гарячому цинкової солі декілька годин. Цим методом можна одержувати покриття не дуже великої товщини, тому контактний метод застосовується лише для покриття дрібних виробів (цвяхи тощо), що завантажують у розчин в алюмінієвих (контактний метал) сітчастих кошиках.

Розчин має наступний склад: 10 г/л $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$; 3 г/л KCN та 15 г/л NaOH; температура розчину 80-90⁰C.

Електролітичний спосіб – це найбільш раціональний та досконалий метод цинкування, що набув широкого розповсюдження в промисловості для захисту сталевих виробів від корозії. Осадження цинку таким способом з водних розчинів його солей, навіть незважаючи на високий потенціал цього металу (-0,70 В), досягається тому, що водень має на цинку велику перенапругу і за певних умов проведення електролізу майже не виділяється на катоді. При такому цинкуванні сталі сплав між залізом основи та цинком не утворюється. Саме тому цинкове покриття майже не містить домішок основного металу. Забруднення покриття іншими металами (залізом, свинцем) доволі незначні, їх кількість зазвичай не перевищує сотих частин відсотка. Чистота отриманого електролітичного цинкового покриття тим вище, чим чистіше будуть вихідні матеріали, які застосовують для електролізу, та перш за все матеріал анодів.

Одержане за нормальних умов електролітичне покриття відрізняється суттєво меншою крихкістю, ніж покриття цинком, яке наноситься іншими способами; воно має більшу пластичність і гарне зчеплення з основним металом. Електролітичний метод дозволяє точно регулювати кількість цинку, яка наноситься на поверхню та отримувати на деталях нескладної конфігурації доволі рівномірні покриття. Саме тому, витрата цинку на покриття суттєво менше, ніж при інших способах. Втрати цинку, що неминучі при гарячому методі, в даному випадку незначні. Частка металу, що економиться при електролітичному способі в порівнянні з гарячим складає 50% і більше. Товщина утвореного цинкового покриття, яка необхідна для захисту виробів від корозії, суттєво залежить від матеріалу та характеру обробки виробів, що покриваються, призначення, умов служби та зберігання виробів і може коливатися в досить широких межах від 0,005 до 0,05 мм.

1.3 Порівняльна характеристика цинкових електролітів

Електроліти для процесу цинкування можна умовно розділити на дві основні групи: прості кислоти (хлористі, сірчаноокислі, борфтористоводневі), у яких цинк присутній у вигляді гідратованих іонів, та складні комплексні, у яких цинк знаходиться у вигляді комплексних іонів, які заряджені негативно (аніони) або заряджені позитивно (катіони). Із групи комплексних електролітів досить відомі цинкатні, лужно-ціаністі, пірофосфатні, амікатні, амінокомплексні з різноманітними органічними добавками та ін.

Від складу та природи електролітів залежать якість утворених осадів на катоді й швидкість процесу осадження. Якість осадів та швидкість процесу у значній мірі визначаються характером та ступенем зміни катодних потенціалів. Чим вищою є катодна поляризація, тим більше дрібнозернисті та рівномірніші по товщині утворені осади [1-3].

При використанні кислих електролітів без спеціальних добавок катодна поляризація є порівняно невеликою у всьому інтервалі густин струму, а вихід металу за струмом зростає. Утворені осади на катоді з таких електролітів задовільні за структурою, але не досить рівномірні по товщині шару, ніж з ціаністих та інших комплексних електролітів. Однак допустима густина струму a , отже і швидкість процесу, в кислих електролітах може бути суттєво вищою, ніж у комплексних. Найбільш ефективними є борфтористоводневі електроліти, тому що вони мають високі буферні властивості, внаслідок утворення сильнішої кислоти - гідрату трьохфтористого бору HBF_3OH при гідролізі HBF_4 .

Кислі електроліти використовують головним чином для цинкування виробів та деталей простої форми (листи, дрід, стрічка, стрижні, пластини і т.п.). Електроліти, що містять у своєму складі поверхнево-активні речовини, підвищують катодну поляризацію, і можуть бути використані для цинкування також і різних рельєфних деталей. В лужно-ціаністих електролітах цинк міститься у вигляді комплексних аніонів. Осадження

цинку на катоді з цих розчинів відбувається при досить високій катодній поляризації, особливо при великій кількості вільного ціаніду. Тому осади з ціаністих електролітів отримуються дуже дрібнозернистими та більш рівномірними по всій товщині, ніж з розчинів простих цинкових солей за відсутності спеціальних добавок [2]. В ціаністих електролітах вихід металу за струмом нижчий, ніж у кислих розчинах, та знижується при підвищенні густини струму (особливо при значному вмісті вільного ціаніду). Останнє значною мірою сприяє покращенню рівномірності розподілу металу на катоді. Допустимою є густина струму у лужно-ціаністих електролітах, як правило, нижчою, ніж у кислих електролітах. Перемішування стисненим повітрям, яке дозволяє у кислих електролітах значно підвищити густину струму, у ціаністих розчинах є неприпустимим внаслідок карбонізації вільного ціаніду й виділення в атмосферу досить токсичного ціаністого водню. Цей процес, хоча й менш інтенсивно, але протікає також під при відсутності перемішування, як внаслідок взаємодії електроліту з навколишнім середовищем, тому ванни із ціаністими електролітами повинні бути обладнані бортовими вентиляційними відсмоктувачами. За рахунок карбонізації ціаністі електроліти є менш стійкими у порівнянні з кислими та вимагають доволі частого коригування шляхом додавання ціаніду.

Анодна поляризація в ціаністих цинкових електролітах є трохи вищою, ніж у кислих. В процесі електролізу з високою анодною густиною струму настає пасивування анодів і потенціал анодів різко та суттєво зміщується в сторону позитивних значень [1-3]. Це спричиняє виділення на аноді кисню та зниження анодного виходу металу за струмом. Це особливо сильно спостерігається при пасивуванні анодів при нестачі вільного ліганда (ціаніду і луку): чим нижчою є концентрація ліганду, тим при нижчій густині струму настає пасивування анодів.

Лужно-ціаністі електроліти мають досить широке застосування у промисловості для покриття виробів та деталей різної форми - простих та

складних по конфігурації. Досить серйозним недоліком звичайних ціаністих електролітів (без спеціальних домішок) є суттєве наводнення в них сталевих деталей, що в подальшому призводить до значного погіршення механічних властивостей деталей після покриття, саме: зменшується пластичність, підвищується схильність сталі до руйнування через крихкість.

Лужні неціаністі електроліти на відміну від ціаністих нетоксичні та більш стійкі за своїм складом, ніж лужно-ціаністі. Вони містять у своєму складі цинк в основному у вигляді комплексів $Zn(OH)_2$ та луг. Катодна поляризація в цинкатних електролітах без спеціальних добавок ПАР має порівняно невелику величину, вона в основному дифузійного характеру, хімічна поляризація ж становить невелику частину та виражається величиною порядку у декілька мілівольт (7-10 мВ).

Анодний процес суттєво залежить від концентрації основних компонентів електроліту та температури. Характерною особливістю цинкового аноду у пірофосфатних електролітах є значна схильність до пасивування [2, 3]. Анодна густина струму, при якій настає повне пасивування, тим менше, чим нижчою є концентрація P_2O_7 та температура. Гранична густина струму, за якої настає пасивування, значно знижується при зменшенні $pH < 8$. В амікатних електролітах цинк існує у вигляді аміачного комплексного катіону $Zn(NH_3)^+$. Відновлення цих іонів відбувається при більш негативному значенні потенціалу, ніж відновлення простих гідратованих іонів, але зі збільшенням густини струму катодний потенціал змінюється не так сильно, як у ціаністих та пірофосфатних електролітах – кут нахилу поляризаційних кривих не такий значний. Верхня межа густини струму так само, як і у цинкатних електролітах, суттєво залежить від концентрації металу. Вихід металу за струмом близький до теоретичного значення і мало змінюється при збільшенні густини струму. Доволі непогані за якістю осади отримують з цих електролітів тільки за наявності деяких органічних

добавок. Розсіювальна здатність амікатних електролітів є вищою, ніж у простих кислих (без спеціальних добавок), але все ж таки поступається розсіювальній здатності ціаністих електролітів. Аноди в амікатних електролітах цинкування розчиняються в інтервалі робочих густин струму з високим виходом за струмом. Серед комплексних електролітів з органічними адендами в останній час були розроблені гліколеві, трілонатні, етилендіамінові, моноетаноламінові та інші.

РОЗДІЛ 2

ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є процес електрохімічного нанесення блискучих цинкових покриттів на сталеві вироби з нетоксичних електролітів або з електролітів, що мають більш низьку, в порівнянні із стандартною, концентрацію його складових компонентів.

У відповідності до об'єкту досліджень маємо наступні вихідні дані для проектування технологічного процесу [3-5]:

1. характеристика деталі

- сталь Ст3 , $S_{\text{дет}} = 0,0078 \text{ м}^2$;
- густина сталі 7860 кг/м^3 ;

2. покриття - цинк

- товщина 9 мкм ;
- густина $d_{\text{Zn}} = 7130 \text{ кг/м}^3$;
- електрохімічний еквівалент $K_e = 1,22 \text{ г/А год}$;

3. Електроліт –сульфатний [3-5]

Склад електроліту г/л:

ZnSO ₄	215;
Na ₂ SO ₄	50-100;
Al ₂ (SO ₄) ₃	30;
Декстрин	10;

- питома електропровідність електроліту $30 \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$;
- густина електроліту 1130 кг/дм^3 ;
- питома масова теплоємність $3920 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$;
- норма витрат електроліту, що виноситься з деталями $0,12 \text{ дм}^3/\text{м}^2$;
- парціальний тиск парів води при температурі електролізу $23,368 \text{ гПа}$;
- загальний тиск парогазової суміші $1013,25 \text{ гПа}$;
- значення ентальпії учасників електродних реакцій
 $\Delta H(\text{ZnSO}_4) = -72 \text{ ккал/моль}$; $\Delta H(\text{H}_2\text{O}) = -68,315 \text{ ккал/моль}$;

$\Delta H(\text{OH}^-) = -54,96$ ккал/моль

4. Електроди [5]

- густина катодного струму 200 A/m^2 ;
- густина анодного струму 100 A/m^2 ;
- електродний потенціал катоду E_k при $i = 2 \text{ A/m}^2$ $-1,35\text{В}$;
- електродний потенціал аноду E_a при $i = 1 \text{ A/m}^2$ $-0,88\text{В}$;
- теплоємність матеріалу аноду $385,2 \text{ Дж / (кг} \cdot \text{K)}$

5. Ванна [5]

- теплоємність матеріалу корпусу ванни (сталь) $500 \text{ Дж / (кг} \cdot \text{K)}$;
- теплоємність матеріалу футеровки (вініпласт) $1630 \text{ Дж / (кг} \cdot \text{K)}$.

2.2 Методи дослідження якості покриття

Якість утвореного покриття суттєво залежить від якості металу основи, саме тому контролю слід піддавати як покриття так й основний метал. Під час контролю основного металу перед покриттям потрібно визначити шорсткість поверхні та наявність дефектів. Металеві покриття мають відповідати вимогам, які пред'являються до зовнішнього вигляду, товщини, пористості й міцності зчеплення з металом основи.

2.2.1 Контроль зовнішнього вигляду покриття

Контроль зовнішнього вигляду проводиться на 100 % деталей неозброєним оком у добре освітленому приміщенні на відстані 25 см від контрольованої поверхні [6]. На вигляд покриття повинно задовольняти:

- покриття, отримані з електроліту цинкування від яскраво-сірого з блакитним відливом (при безбарвній пасивації) і до темно сірого;
- на поверхнях покритих деталей допускаються: сліди від механічної обробки прокату та інші відхилення, що допускаються стандартами або технічними умовами на метал основи, плями та темні смуги у важкодоступних для зачистки отворах;
- на поверхнях деталей, покритої покриттям не є браком наступні ознаки: нерівномірність блиску та кольору, сліди від потьоків води та

розчинів хромових й фосфатних солей, «зони засвітлення», що утворилися при контролях вимірювальними інструментами та пристосуваннями;

- на поверхнях деталей, покритих декількома видами покриттів або при застосуванні ізоляції до дефектів не належить: зсув межі покриття до 2 мм вниз або сторону; окремі точкові налипання одного покриття на інше; потемніння металу у зоні переходів одного кріплення в інше [6, 7].

2.2.2 Контроль товщини покриття

Для контролю цього параметра відбирають від кожної партії від 0,1 до 10 % деталей, але не менше 3 штук, винятком є арбітражний контроль товщини покриття металографічним методом, що може бути проведений на одній деталі з партії [7].

Товщина цинкового окриття повинна відповідати конструкторській документації. В отворах та порах, на всіх внутрішніх поверхнях товщина покриття може зменшуватися до 50 %.

Товщину покриття рекомендовано контролювати одним з методів: методом струменя, гравіметричним, металографічним, методом краплі.

Метод струменя слід застосовувати для контролю місцевої товщини покриття при товщині 3-30 мкм на поверхні 0,3 см². Цей метод полягає в тому, що на ділянку покриття з капіляра направляють струмінь розчину, що здатний руйнувати метал покриття. Товщину покриття визначають або за часом руйнування покриття, або за об'ємом розчину, що використовували на руйнування [6, 7].

Металографічний метод потрібно застосовувати як арбітражний, а також під час налагодження процесу. Цей метод базується на тому, що робиться розріз деталі із покриттям, а потім на зрізі готують металографічний шліф та використовуючи різні оптичні прилади, вимірюють товщину утвореного контрольованого покриття.

Гравіметричний метод використовується для визначення товщин дорогих покриттів (паладієве, золоте, срібне). Метод застосовують для всіх деталей будь-якої партії, з масою не більше 200 г при їх вибірковому

контролі. Кожну деталь з покриттям попередньо знежирюють, висушують та зважують. Потім у спеціальному розчині знімають покриття та знову зважують деталь. За різницею маси та знаючи площу поверхні деталі, можна визначити товщину покриття, що було нанесено на деталь до її розчинення [8, 9].

Оскільки у дипломному проєкті цинкове покриття наноситься на листи металу, то для визначення товщини покриття доцільно застосувати метод краплі.

Метод краплі використовується для вимірювання місцевої товщини покриття. За допомогою краплинної установки на поверхню покриття наносять краплі розчину, що здатні розчинити металічне покриття. Час існування краплі на поверхні виробу фіксований. Після цього краплю видаляють та наносять наступну до тих пір, поки все покриття не буде зруйновано вщент. Товщину покриття визначають по калібрувальному графіку в залежності від кількості крапель, які пішли на повне руйнування покриття [9].

Краплинний метод не застосовують для вимірювання товщини покриття на складних профільованих та дрібних деталях, тому що крапля розчину не зможе утримуватися необхідний час на досліджувальній ділянці та розтікається.

2.2.3 Контроль міцності зчеплення

Для визначення пористості покриття відбирають з кожної партії від 0,1 до 10 % деталей, але не менше 3 штук.

Контроль виконують методом нанесення сітки подряпин для визначення міцності зчеплення покриттів, які завтовшки не більше 20 мкм. Наносять на поверхню 4-6 паралельних ліній сталевим вістрям аж до основного металу та на відстані 2-3 мм один від одного і ще 4-6 перпендикулярних їм паралельних ліній. Відшаровування не повинно спостерігатися [7].

При застосуванні цього методу зразок з покриттям затискають в лещата та обпилюють по зрізу напилком із набором дрібних зубців. Торці проводять в напрямі основного металу до покриття під кутом 45° . В ідшарування покриття не повинно спостерігатися. Метод використовують для деталей з покриттям більше 5 мкм.

РОЗДІЛ 3

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС НАНЕСЕННЯ ГАЛЬВАНІЧНОГО ЦИНКОВОГО ПОКРИТТЯ

3.1 Характеристика деталей та цинкового покриття

Гальванічному покриттю піддають сталеві деталі, а також деталі з алюмінієвих та мідних сплавів. Цинкування використовується як метод захисту сталевих виробів від корозії. Цинкове гальванічне покриття наносять на деталі, які виготовленні з матеріалу сталь Ст3.

Очищення деталей, які містять на поверхні окалину, виконується в кислотах для сталі та кольорових металів; у лугах для алюмінію та його сплавів безпосередньо на ділянці травлення. Очищення поверхні деталей від різних жирових забруднень, масел реалізується у розчинах лугів; активація поверхні виробу відбувається вже безпосередньо перед нанесенням покриттів у межах гальванічної лінії. Деталі, які піддають покриттю, монтують на підвіски на спеціальних монтажних столах, які розташовані у зоні завантаження гальванічних ліній. Випрямлячі змінного струму гальванічних ванн розміщується поза зоною дії агресивних середовищ [10].

Покриття деталей та виробів повинні відповідати таким вимогам: висока корозійна стійкість, гарна адгезія, зносостійкість, тривалий термін служби, якщо задовольняє цинкове покриття.

Для запобігання корозії (утворення на поверхні білих сольових плям), а також підвищення захисних властивостей оцинкованих виробів в результаті дії агресивних реагентів, які знаходяться в атмосфері промислового міста, їх додатково піддають хроматуванню.

Відмінною особливістю цинкового покриття є те, що при нанесенні металічного цинку на сталь останній являє собою анод, а отже захищає матеріал не тільки механічно, а ще й електрохімічно. Відтінки

цинкового покриття можуть отримуватися від сірого до світло-сірого. При досить тривалому зберіганні цинкованих виробів відбувається потемніння поверхні, що з часом призводить до утворення білого нальоту на покритті, яке погіршує його зовнішній вигляд, але не призводить до погіршення захисних властивостей.

Для цинкових покриттів, що піддаються хроматуванню, колір допустимий від золотисто-жовтого до жовтувато-зеленого з райдужним відтінком. Також допускається відсутність хроматної плівки у порах та раковинах лиття, у швах зварки та біля них, поблизу щілин й малих отворів, а також дефекти хроматної плівки у вигляді окремих рисок та крапок [10, 11].

Цинкове покриття повинне бути рівномірним по всій товщині, суцільним, та непористим. Ці параметри перевіряються під час контролю якості утвореного покриття після його нанесення.

3.2 Процес нанесення цинкового покриття

Процес нанесення електрохімічного цинкового покриття на сталеві листи реалізується згідно технологічного процесу, який наведений в технологічній карті.

Технологічний процес також включає монтаж деталі на підвіску, допоміжні та основні операції й стадії промивки [12].

До допоміжних операцій відносять: електрохімічне знежирення, активацію, освітлення та хроматування.

Механічна підготовка

Деталі, які поступають у гальванічний цех перед нанесенням цинкового покриття, піддаються механічній обробці. Поверхня деталі не повинна містити видимого шару мастила, різних емульсій, механічної стружки та пилу. Спосіб механічної обробки деталі вибирається в залежності від ступеня забруднення деталі та необхідної шорсткості поверхні.

На якість оцинкованої поверхні впливають фізико-механічні властивості початкового матеріалу, а також спосіб та режим обробки, вплив навколишнього середовища.

Кожний спосіб обробки має певну точність, діапазон одержуваної шорсткості оброблюваних поверхонь, форму та напрям розташування мікронерівностей.

Основними процедурами механічної підготовки поверхні деталей під майбутні гальванічні покриття є: декоративне шліфування, галтування, полірування, вібраційна та магніто-абразивна обробка, відцентрово-абразивна та струменева гідроабразивна обробка тощо.

Перед нанесенням цинкового покриття деталі піддають шліфуванню та поліруванню для видалення дефектів поверхні, а також для отримання певного класу шорсткості. В процесі шліфування відбувається процес зняття тонкої стружки металу за допомогою гострих ріжучих граней зерен абразивних матеріалів. Мінімальне значення величини шорсткості отримують близько 1,25 мкм. Шліфування реалізується за допомогою шліфувальних кругів, що виготовляють з повсті, брезенту, бязі, на які за допомогою клеїв наносять абразив. В залежності від стану поверхні деталі шліфування реалізують в декілька переходів із поступовим зменшенням зерен абразиву від першої операції до останньої. У якості абразиву застосовують шліфувальні порошки із різними групами зернистості [12].

Потім, після протирання, деталі віддають на полірування, після чого поверхня деталей стає блискучою, дзеркального вигляду. Полірування проводять еластичними кругами різноманітної конструкції, які виготовлені з бязі, шкіри, фланелі, волока тощо. Вони подібні до шліфувальних кругів, але без абразивного шару. У якості поліруючого матеріалу використовують полірувальні пасти, які у результаті взаємодії з навколишнім середовищем розчиняють оксидні плівки на поверхні металу. Склад таких паст обирається в залежності від матеріалу деталі та стану поверхні. Для деталей із сталі пропонується паста складу [5, 12]:

Порошки шліфувальні 3; 4; 6 - 75 кг/м³;

Парафін - 10 кг/м³;

Гліцерин - 10 кг/м³.

Для більш тоншого полірування можна брати наступні склади полірувальних паст:

склад № 1: паста Гої

склад № 2: оксид хрому 50 кг/м³;

стеарін 40 кг/м³;

парафін 10 кг/м³.

Після операції полірування поверхня деталі повинна відповідати вимогам – мінімальна величина шорсткості 0,32 мкм.

В дипломному проєкті цинкове покриття наноситься на деталі із сталі марки Ст3 після обробки в токарному станку та без подальшої механічної обробки поверхні. Вони мають клас поверхні, який дорівнює 6. Поверхня таких деталей проходить лише хімічну і електрохімічну обробку.

Монтаж деталей на підвіски

Підвіски повинні бути виготовлені із сталі. Поверхні, що контактують повинні бути очищені від забруднень. При монтажі деталей на підвіски слід уникати утворення повітряно-газових мішків, які можуть виникати при завантаженні у ванну. Неконтактуючі ділянки пристроїв слід ізолювати спеціальною поліхлорвініловою ізоляційною стрічкою. Контактний гачкотримач підвіски повинен бути виготовлений з латуні, міді. Неприпустимим є використання пристосувань, виготовлених із неіржавіючих та хромистих сталей [13].

Електрохімічне знежирення

Ефективний метод очищення поверхні металу, оскільки бульбашки кисню або водню, що виділяються на поверхні, сприяють відриву жирових часточок та інших забруднень. Аноди повинні бути виготовлені з нікелю або полірованого смугового заліза, краще нікельоване, із товщиною шару нікелю 0,04-0,05 мкм.

Деталі потрібно завісити у ванну як катод, а на прикінці процесу на 30 секунд переключити на анод. Допустимим є проводити знежирення тільки на аноді без включення на катод. Слід не допускати підключення корпусу ванни як анод!

Промивка в теплій воді

З метою видалення з поверхні деталей продуктів хімічних реакції та розчинів, які залишилися на них після знежирення, вони піддаються промивці у теплій проточній воді при температурі 40-60°C. Промивку слід проводити 3-5-ти кратним зануренням деталей у ванну.

Промивка у холодній воді

Вода водопровідна, проточна без підігріву. Промивку потрібно проводити 3-5-ти кратним зануренням деталей у ванну. Поверхня деталей після промивки повинна бути повністю змочена водою.

Таблиця 3.2.1 Технологічна карта нанесення цинкового покриття

№	Найменування операції	Склад розчинів та матеріалів			Режим роботи			
		Склад компонентів	Хім. формул	Конц г/л	t, °C	i, A/дм ²	U, В	τ, хв.
1	Електрохімічне знежирення	Їдкий натрій	NaOH	5-15	50-70	3-10	3-12	до10
		Тринатрій фосфа	Na ₃ PO ₄	30-70				
		Сода кальцінована	Na ₂ CO ₃	20-25				
		Скло натрієве	Na ₂ SiO ₃	10-20				
2	Тепла промивка	Проточна вода	H ₂ O		40-60			1
3	Холодна промив	Проточна вода	H ₂ O					1
4	Активація	Сульфатна кислота	H ₂ SO ₄	50-100	20-25			1-2
5	Промивка холодна	Проточна вода	H ₂ O					1
6	Цинкування	Цинку сульфат	ZnSO ₄	215	18-25	2	8	11
		Алюмінію сульф	Al ₂ (SO ₄) ₃	30				
		Натрію сульфат	Na ₂ SO ₄	50-100				
7	Ванна	Вода проточна	H ₂ O					1

	вловлювання							
8	Промивка холодна	Проточна вода	H ₂ O					1
9	Хроматування	Двохромово- кислий калій Натрій сірчаноокислий Кислота нітратна	K ₂ Cr ₂ O ₇ Na ₂ SO ₄ HNO ₃	10-25 10-20 5-10	15-30			10-60
10	Ванна вловлювання	Непроточна вода	H ₂ O					1
11	Промивка тепла	Проточна вода	H ₂ O		40-60			1
12	Сушка				60			до 20

Процес активації здійснюється вже безпосередньо перед зануренням деталей у гальванічну ванну з метою видалення найтонших окисидних плівок, що утворюються на поверхні металу у результаті навіть короткострокового зберігання.

У таблиці 3.2.1 наведена карта технологічного процесу.

При активації сталевих полірованих деталей необхідно контролювати щоб на їх поверхні не було залишків шламу (нерозчинні частинки) та міді, яка контактно осіла [14]. Це може призвести до поганого зчеплення покриття з поверхнею деталі. З метою запобігання контактному осадженню міді допускається у робочий розчин активації додавати тіосечовину в кількості (0,5-3) г/л.

Промивка в холодній воді

Вода водопровідна, проточна без підігріву, проводити 3-5-им кратним зануренням деталей у ванну. Мокрі деталі завантажуються в електроліт цинкування.

Цинкування

Параметри процесу цинкування та складу електроліту вказані у таблиці.

Вловлювання

Деталі спочатку промиваються у ванні уловлювання. Вода повинна бути водопровідна, непроточна без підігріву. Розчин з ванни

уловлювання можна застосовувати для поповнення об'єму електроліту цинкування.

Промивка в холодній воді

Вода водопровідна, проточна без підігріву, промивку проводити 3-5-им кратним зануренням деталей у ванну.

Хроматування

Проводиться з метою підвищення корозійної стійкості утвореного цинкового покриття, за присутності свіжо-оцинкованих деталей у розчинах хромової кислоти та її солей. Суть цього процесу пасивування полягає у відновленні Cr^{+6} на поверхні цинку з подальшим утворенням плівки відповідного складу, що включає основні хромати цинку та хрому. Наявність в плівці сполук тривалентного хрому додає їй зеленуватого кольору, а сполук шестивалентного хрому - жовтого. Колір пасивної плівки може змінюватися від яскраво-жовтого, зеленого аж до рожевого та фіолетового [15].

Хроматна плівка має невелику товщину (0,5мк) і доволі пористу будову. Механічна міцність та хімічна стійкість хроматної плівки буде залежити від режимів пасивування та від режимів подальшої обробки пасивуючих деталей. Після утворення хроматних плівок необхідно дотримуватися обережності з ними, тому що плівки механічно не міцні. Тільки після промивок та сушки вони стають твердими та еластичними.

Ванна уловлювання

Використовують воду водопровідну, не проточну без підігріву. Розчин з ванни уловлювання може використовуватися для поповнення кількості хромовмісних електролітів. Гранично допустимою є концентрація іонів Cr^{6+} до 0,01г/л [16, 17].

Промивка у теплій воді

Промивку виконують у проточній водопровідній воді при температурі 40-60°C з 3-5 кратним зануренням деталей у ванну.

Сушка

Сушку проводять у сушильній камері при температурі 60°C до повного висихання, але не менше 20 хвилин.

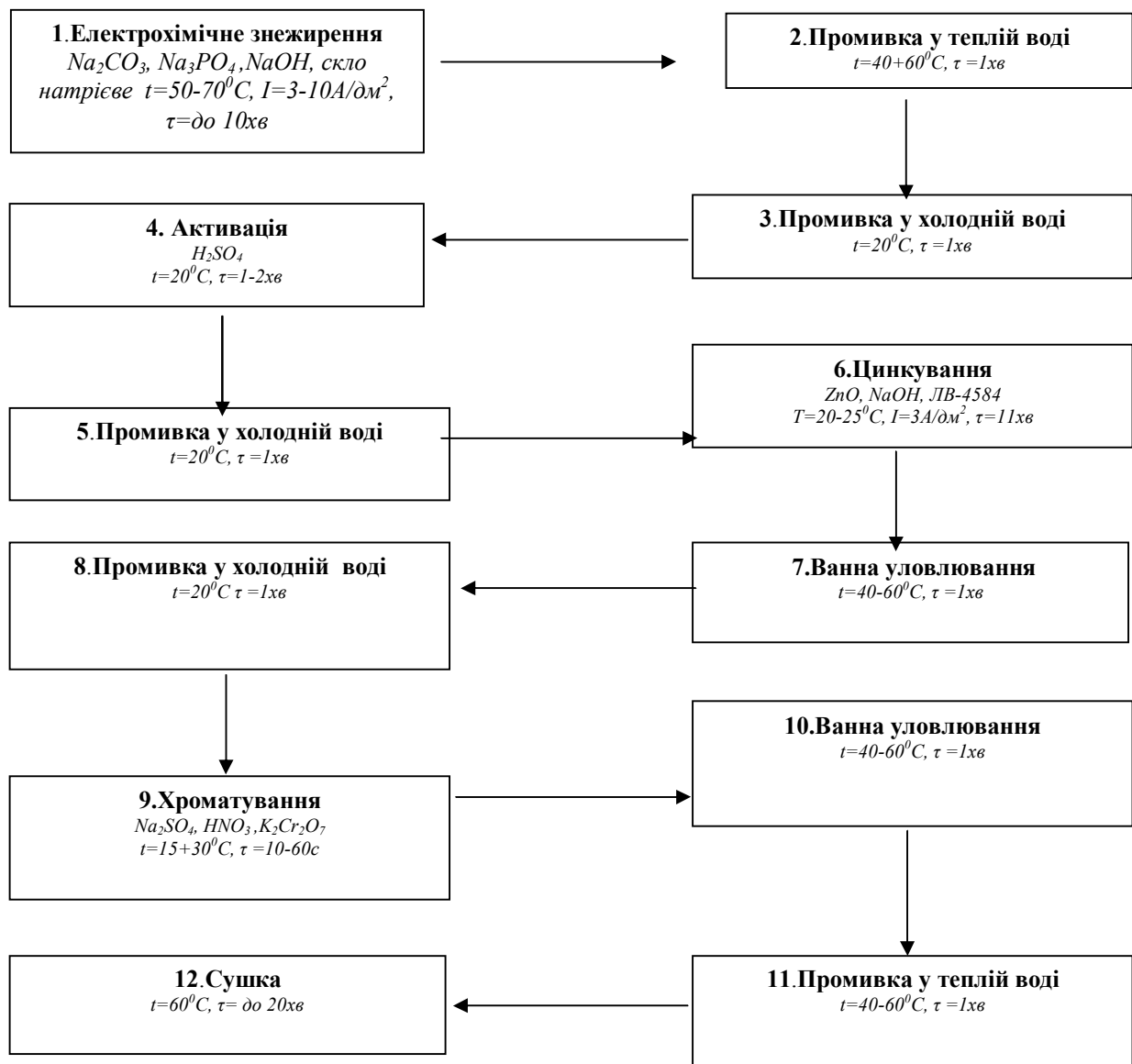
Демонтаж деталей з підвіски

Провести на робочому столі.

Контроль якості та товщини цинкового покриття

Після операції нанесення покриття деталі підлягають контролю з метою визначення товщини утвореного покриття, міцності зчеплення, огляд зовнішнього вигляду та якості покриття. Якщо покриття неякісне його видаляють та наносять наново [18].

КАРТА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЦИНКУВАННЯ



3.3 Технологічні розрахунки

3.3.1 Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання

Номінальний річний фонд робочого часу обладнання T_n при переривному виробництві розраховують виходячи з кількості календарних днів в році T_k 365 за вирахуванням вихідних днів T_v 104 і святкових T_c 8 [19, 20]:

$$T_n = T_k - (T_v + T_c)$$

$$T_n = 365 - (104 + 8) = 253.$$

При 8-ми годинній робочій зміні в годинах:

$$T_n = 253 \cdot 8 = 2024 \text{ год.}$$

Дійсний річний фонд робочого часу обладнання T_d (год.) розраховують, виходячи з T_n з врахуванням загальних річних витрат часу на неминучі простої обладнання (K_{np}), що працює в одну зміну, складає 2 %, тоді T_d в днях та годинах буде відповідно:

$$T_d = T_n - K_{np} \cdot T_n;$$

$$T_d = 253 - 0,02 \cdot 253 = 248;$$

$$T_d = 2024 - 0,02 \cdot 2024 = 1984.$$

3.3.2 Визначення виробничої програми обладнання

Для розрахунку річної виробничої програми P_p річне завдання

$P_3 = 13200 \text{ м}^2$ необхідно збільшити на величину виправного браку, яка складає 0,5 % ($K_{бр} = 0,005$), м^2 :

$$P_p = P_3 + K_{бр} \cdot P_3;$$

$$P_p = 13200 + 0,005 \cdot 13200 = 13266 \text{ м}^2$$

Добова виробнича програма $P_{доб}$, $\left(\frac{\text{м}^2}{\text{добу}}\right)$ складає:

$$P_{доб} = \frac{P_p}{T_{доб}},$$

$$P = 13266 / 248 = 53,49 \text{ м}^2/\text{добу}$$

Годинна виробнича програма P_{Γ} , $\left(\frac{m^2}{год}\right)$ визначається як

$$P_{\tau} = \frac{P_p}{T_d};$$

$$P = 13266/1984 = 6.69 \text{ м}^2/\text{ГОД}$$

3.3.3 Вибір виду обладнання та розрахунок його габаритних розмірів

Час обробки однієї завантажувальної одиниці (підвіски) τ складається з двох величин:

$$\tau = \tau_m + \tau_{об},$$

де τ_m - технологічний час (час обробки деталей в ванні) за формулою, хв:

$$\tau_m = \frac{\delta_n \cdot d_m \cdot 60}{B_c \cdot K_e \cdot i_k},$$

де $\delta_n = 9$ – товщина покриття, мкм; $d_m = 7130$ – густина металу покриття, кг/м³;

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

$K_e = 1,22$ – електрохімічний еквівалент, г/А·год; $i_k = 200$ – середня катодна густина струму, А/м².

$$\frac{9 \cdot 10^{-6} \cdot 7130 \cdot 60}{0,98 \cdot 1,22 \cdot 10^{-3} \cdot 200} = 16,1 \text{ хв}$$

Величину $\tau_{об}$ - час обслуговування, який необхідний для завантаження деталей в ванну та їх вивантаження приймаємо за 1 хвилину.

Розраховуємо час, необхідний для обробки деталей, хв.:

$$\tau = 16,1 + 1 = 17,1$$

На основі дійсного річного фонду робочого часу обладнання T_d й тривалості обробки одного завантаження ванни τ визначаємо кількість завантажень τ_{τ} , год:

$$\tau_{\tau} = \frac{P_p \cdot \tau \cdot K_{об}}{60};$$

$$\frac{13266 \cdot 17,1 \cdot 1,06}{60} = 4007,66 \text{ год,}$$

де коефіцієнт $K_{об}$ урахує витрати часу на початковий запуск обладнання, фінального вивантаження ванни та на допоміжні операції, при роботі в одну зміну 1,06.

Одночасна поверхня деталей в усіх ваннах $\sum S_s, \text{ м}^2$:

$$\sum S_s = \frac{\tau_s}{T_d}$$

$$\sum S_s \frac{4007,66}{1984} = 2,02$$

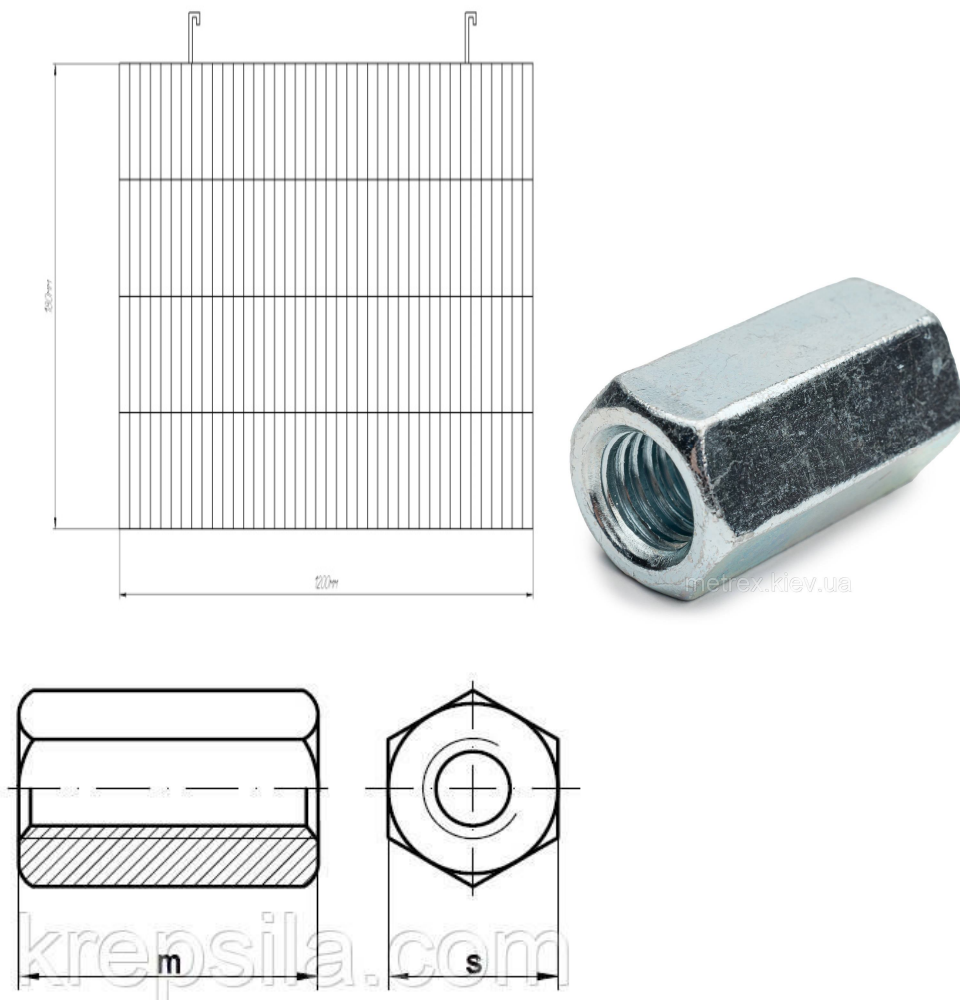


Рис.3.3.3.1 Ескіз підвіски та деталі

Пропонується наступна підвіска.

Габарити підвіски: $W_{п} = 1,2 \text{ м}$; $h_{п} = 0,59 \text{ м}$

Довжина підвіски складе відповідно до розрахунків нижче.

Кількість деталей на катодній штанзі - 156 шт.

Довжина однієї деталі - 0,011 м.

Відстань між деталями - 0,01 м.

Відстань між деталлю і боковим краєм підвіски - 0,04 м.

$$W_{\text{п}} = 0,011 \cdot 44 + 0,05 \cdot 2 + 0,01 \cdot 42 = 1 \text{ м.}$$

Висота підвіски.

Ширина деталі - 0,044 м.

Відстань від нижнього краю підвіски до деталі - 0,1 м.

Відстань від деталі до верхнього краю електроліту - 0,05 м.

Відстань від дзеркала електроліту до бортів ванни - 0,15 м.

$$h_{\text{п}} = 0,044 \cdot 4 + 0,15 + 0,1 + 0,15 = 0,58 \text{ м.}$$

Площа 156 деталей:

$$S_{\text{дет.}} = 0,0078 \cdot 156 = 1,22 \text{ м}^2.$$

Розраховуємо кількість ванн:

$$N_{\text{в}} = .$$

Приймаємо 1 ванну.

Виходячи з визначеної кількості ванн, розраховуємо дійсну річну

продуктивність, P_p' , $\left(\frac{\text{м}^2}{\text{рік}}\right)$:

$$P_p' = \frac{P \cdot n_s \cdot T_d \cdot 60}{\tau},$$

$$P_p' = \frac{1,75 \cdot 1 \cdot 1984 \cdot 60}{17,1} = 12182,46$$

та коефіцієнт завантаження обладнання:

$$K_{\text{зав}} = \frac{P_p}{P_p'};$$

$$K_{\text{зав}} = \frac{8040}{12182,46} = 0,66$$

Розрахунок габаритних розмірів ванни

Внутрішня ширина ванни W , м:

$$W = W_n + 2W_1,$$

$$W = 0.98 + 2 \cdot 0.1 \approx 1.2.$$

де W_n – довжина підвіски 0.98 м; W_1 – відстань від краю підвіски до борта ванни 0,1 м.

Внутрішня довжина ванни t , м:

$$t = t_n + 2t_{a-k} + 2t_a + 2t_1,$$

$$t = 0.09 + 2 \cdot 0.25 + 2 \cdot 0.005 + 2 \cdot 0.1 = 0.8.$$

де t_n – товщина деталі на підвісці 0,09 м; t_{a-k} – відстань між анодом і ближнім краєм підвіски з деталями, 0,25 м; t_a – товщина анодів 0,005 м; t_1 – відстань між анодом та боковою стінкою ванни 0,10 м.

Внутрішня висота ванни h , м:

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

$$h = 0.65 + 0.15 + 0.05 + 0.15 = 1.$$

де h_n – висота підвіски 0,65 м; h_1 – відстань від дна ванни до нижнього краю підвіски 0,15 м; h_2 – відстань від верхнього краю підвіски до дзеркала електроліту 0,05 м;

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

Базуючись на розрахунках вибираємо ванну:

$$W = 1200 \text{ мм} \quad t = 800 \text{ мм} \quad H = 1000 \text{ мм}.$$

$$\text{маса : } m_B = 142,6 \text{ кг} \quad \text{маса футерівки: } m_{\phi} = 27,6 \text{ кг}$$

$$\text{об'єм ванни: } v_B = 0,96 \text{ м}^3$$

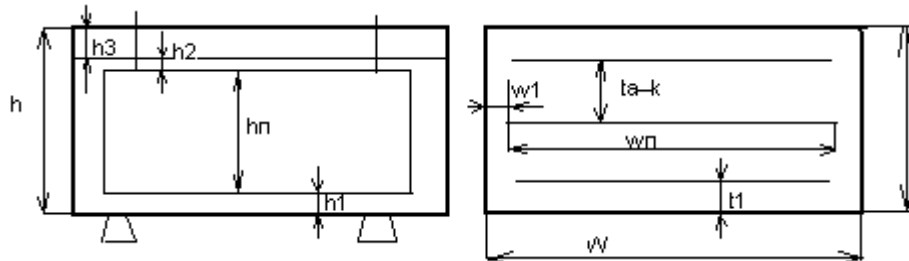


Рис. 3.3.3.2 Ескіз ванни

3.3.4 Баланс кількості електрики

Визначення сили струму на ванні необхідний для вибору джерела живлення постійним струмом [19, 20]. Сила струму I (А) на однопозиційній ванні розраховується як добуток величини густини струму на катоді $I_k=200$ А/м² на площу деталей для одноразового завантаження:

$$S_{\text{дет.}}=1.22$$

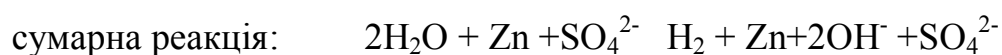
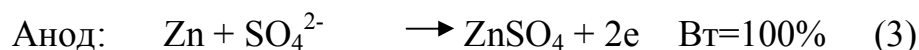
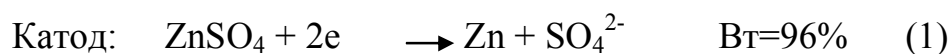
$$I = K \cdot i_k \cdot S_{\text{дет.}}$$

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

Сила струму на ванні становитиме:

$$I = 1.1 \cdot 200 \cdot 1.2 = 264$$

На електродах відбуваються наступні електрохімічні процеси:



Сила струму, яка витрачається на реакцію на катоді:

$$I = \frac{I \cdot B_c}{100}, \text{ А.}$$

Витрати струму на основну реакцію складуть:

$$I_1 = \frac{264 \cdot 96}{100} = 253.44$$

На побічну реакцію:

$$I_2 = \frac{264 \cdot 4}{100} = 10.56$$

На анодний процес:

$$I_3 = \frac{264 \cdot 100}{100} = 264$$

Результати розрахунків заносимо у таблицю.

Таблиця 3.3.4.1 Баланс кількості електрики на одну годину роботи

Надходження	Q, А	%	Витрати	Q, А	%
катод (від зовнішнього джерела струму)	264	100	виділення цинку	253.44	96
			виділення водню	10.56	4
разом	264	100	разом	264	100
анод (від зовнішнього джерела струму)	264	100	розчинення цинку	264	100
разом	264	100	разом	264	100

Баланс напруги

Напруга на ванні U складається з різниці електродних потенціалів аноду та катоду під струмом $E_a - E_k$, омичної падіння напруги в електроліті $\Delta U_{ом}$, у провідниках першого роду. Це електрод, струмопідводи у ванні, штанги ΔU_I та в контактах ΔU_k :

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

$$E_a - E_k = -0,88 - \langle -1,35 \rangle = 0,47 \text{ В}$$

Омичне падіння напруги в електроліті $\Delta U_{ом}$. розраховуємо за формулою:

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

де i_{cp} – середня густина струму у між електродному просторі, А/м^2 , розраховується за формулою:

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

Приймаємо, що відношення $S_k:S_a = 1:2$. Звідки

$$i_a = 200/2 = 100 \text{ А/м}^2;$$

$$i_{cp} = \sqrt{200 \cdot 100} = 141.42$$

t_{a-k} – відстань між анодом та краєм підвіски з деталями 0,25 м, χ - питома електропровідність електроліту, $30 \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$,

$$\Delta U_{ом} = 141,42 \cdot 0,25 / 30 = 1,18 \text{ В}$$

Сумарне падіння напруги у електродах, провідниках першого роду й у контактах ванни $\Delta U_I + \Delta U_k$ приймають у межах величини, що не перевищує 10 % загальної напруги на ванні U , V розраховується як:

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

$$U = \frac{0,47 + 1,18}{0,9} = 1,83$$

а сума:

$$\Delta U_I + \Delta U_k = 0.1 \cdot U = 0.1 \cdot (0.47 + 1.18) = 0.16$$

Мінімальна напруга на джерелі струму $U_{дс}$ складається з суми напруги на вані U та падіння напруги у шинопроводах від джерела струму до самої ванни, що приймають не більшим 10 % від $U_{дс}$ [19, 20].

$$\text{Отже } U_{дс} = 1,1 \cdot U;$$

$$U_{дс} = 1,1 \cdot 1,83 = 2,01$$

Таблиця 3.3.4.2 Баланс напруги

Надходження	U, В	%	Витрати	U, В	%
Напруга на ванні	1,83	100	Різниця потенціалів під струмом $E_a - E_k$	0,47	19
			Падіння напруги в електроліті $\Delta U_{ом}$	1,18	72
			Падіння напруги в електродах, контактах та провідниках $\Delta U_I + \Delta U_k$	0,16	9
Разом	1,83	100	Разом	1,83	100

Вибір джерела струму

Джерело постійного струму обирають, виходячи з сили струму 264 А та напруги на ванні 2,01 В з урахуванням падіння напруги в шинопроводах. Ванни для електрохімічних покриттів живляться від випрямлячів трансформаторного типу. Випрямні трансформатори серії «Т» мають високу точність стабілізації параметрів та можливість дистанційного

керування. Літера «Т» на вказує тип випрямляча (тиристорний), літера «Е» – вид охолодження (примусове повітряне) [19, 20]. Обираємо ТЕ1-300/12Т исп.3, що дозволить проводити процес при напрузі 12 В та струмі 300 А.

Для обраного випрямного агрегату визначаємо коефіцієнт завантаження

$$K = \frac{N_{dc}}{N_{пасп}}$$

де N_{dc} – потужність, яка необхідна для виконання заданої програми,

$N_{dc} = U \cdot I$, кВт; $N_{пасп}$ – паспортна потужність обраного агрегату.

$$K = \frac{264 \cdot 2,01}{300 \cdot 12} = 0,15$$

3.3.5 Визначення кількості теплоти та складання балансу енергії

Електрична енергія $W_{заг}$, яка підводиться до електролізера, перетворюється в хімічну енергію $W_{хім}$. і в теплову енергію (джоулеву теплоту) $W_{дж}$.

$$W_{заг} = W_{хім} + W_{дж}$$

Енергія $W_{хім}$ показує зміни матеріального стану, що відбуваються в результаті перетворення електрохімічних реакцій в електролізері, а енергія $W_{дж}$ витрачається на розігрів електроліту й повинна бути врахована при складанні теплового балансу.

Електрична енергія, що витрачається на проходження процесу в одній ванні, розраховується за формулою:

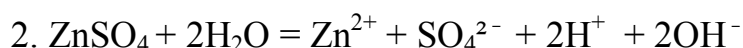
$$W_{заг} = U \cdot I \cdot \tau \cdot 3600 \cdot 10^{-3} = 2,01 \cdot 264 \cdot 0,92 \cdot 3600 \cdot 10^{-3} = 1757,48 \text{ кДж}$$

де I – сила струму на ванні - 264 А; U – напруга на ванні - 2,01В; τ – час роботи ванни під струмом- $55/60 = 0,92$ год.

Сумарна реакція, з якої розраховуємо ΔH і $W_{хім}$:



$\Delta H_1 = 0$. Реакція оборотна та протікає самочинно.



Оскільки реакція протікає несамочинно, а під дією зовнішньої поляризації то:

$$\Delta H_2 = (\Delta H_{ZnSO_4} + 2\Delta H_{H_2O}) - (2\Delta H_{OH} + \Delta H_{SO_4}) = (-911) + 2 \cdot 4.18 \cdot (-68.315) - (-981.4 + 2 \cdot 4.18 \cdot (-285.83)) = -537.14 \text{ кДж/моль}$$

$$E = \frac{-537140}{2 \cdot 96500} = 2,7 \text{ В}$$

$$W_{\text{хім.}} = 264 \cdot 0,92 \cdot 3600 \cdot (2,7 \cdot 0,04) = 94,43 \text{ кДж}$$

$$W_{\text{дж.}} = 1757,48 - 94,43 = 1663,05 \text{ кДж}$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю.

Таблиця 3.3.5.1 Баланс енергії

Надходження	кДж	%	Витрати	кДж	%
Електрична енергія від джерела струму	1757.4	100	Теплота джоулева	1663,05	94,6
			Хімічна енергія	94,43	5,4
			Разом	1757.4	100

3.3.6 Тепловий розрахунок

При нанесенні гальванічних покриттів виділяється досить значна кількість теплоти (джоулевої), що може призвести до значного розігріву електроліту за межі допустимої температури. Тому, метою розрахунку є визначення максимальної температури, до якої може розігрітися робоча ванна за одну годину роботи. При цьому допустимим є те, що вся джоулева теплота витрачається тільки на розігрів ванни та не потрапляє у навколишнє середовище [12, 19].

Максимальну температуру розігріву ванни t_k °С визначається за формулою:

$$t_k^{\circ} = 20 + \frac{W_{\text{дж}}}{V_1 \cdot C_1 \cdot d_1 + C_2 \cdot m_2 + C_3 \cdot m_3 + C_4 \cdot m_4},$$

де 20 – температура навколишнього середовища, °С;

V_1 - об'єм електроліту 0.96 м^3 , C_1 - питома масова теплоємність електроліту $3920 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, d_1 - густина електроліту $1130 \text{ кг}/\text{дм}^3$; C_2 - теплоємність матеріалу корпусу ванни (сталь) – $500 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; m_2 - маса ванни 142.6 кг ; C_3 - теплоємність матеріалу футерівки (вініпласт) $1630 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; m_3 - маса футерівки 27.6 кг ; C_4 - теплоємність матеріалу аноду $385,2 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; m_4 - маса анодів у ванні:

$$m_4 = K_1 \cdot K_2 \cdot n_{\text{анш}} \cdot W_{\text{в}} \cdot h_{\text{в}} \cdot \delta_{\text{а}} \cdot d_{\text{а}} \cdot n_{\text{в}},$$

де K_1 – коефіцієнт, що ураховує співвідношення сумарної ширини анодів до довжини ванни (приймаємо $K_1 = 0,6$); K_2 – коефіцієнт, що ураховує співвідношення анодів та висоти ванни (приймаємо $K_2 = 0,8$); $n_{\text{анш}}$ – кількість анодних штанг у ванні - 2; $W_{\text{в}}$ – внутрішня ширина ванни, 1.2 м ; $h_{\text{в}}$ – внутрішня висота ванни, 1 м ; $d_{\text{а}}$ – густина матеріалу анодів, $7130 \text{ кг}/\text{м}^3$; $t_{\text{а}}$ – товщина анодів, $0,005 \text{ м}$; $n_{\text{в}}$ – кількість ванн даного типу 1.

$$m_4 = 0.6 \cdot 0.8 \cdot 2 \cdot 1.2 \cdot 1 \cdot 7130 \cdot 0.005 \cdot 1 = 41.07 \text{ кг}$$

$$t_{\text{к}}^{\circ} = 20 + \frac{1663050}{0,96 \cdot 3920 \cdot 1130 + 500 \cdot 142,6 + 1630 \cdot 27,6 + 385,2 \cdot 41,07} = 20,37$$

Додаткове охолодження ванни не потрібно.

3.3.7 Розрахунок витрат матеріалів

Розрахунки витрат матеріалів проводять з метою визначення річних потреб виробництва у вихідній сировині й матеріалах для нанесення даного виду покриття.

Розрахунок витрат анодів

Витрати нерозчинних та розчинних анодів на запуск обладнання (кг) розраховують за формулою:

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

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

кількість анодних штанг у ванні - 2; W_B – внутрішня ширина ванни, 1,2м; h_B – внутрішня висота ванни - 1м; d_a – густина матеріалу анодів - 7130кг/м³; t_a – товщина анодів - 0,005м; n_B – кількість ванн даного типу 1.

$$m=0.6 \cdot 0.8 \cdot 2 \cdot 1.2 \cdot 1 \cdot 7130 \cdot 0.005 \cdot 1 = 41,07 \text{кг}$$

Витрати розчинних анодів на виконання річної виробничої програми

Витрати G_{ap} , кг визначають за формулою:

$$G_{ap} = P_p \cdot A_p \cdot \delta_{\Pi},$$

де P_p – сумарна площа нанесеного покриття за виконання річної програми - 15075м²; δ_{Π} – товщина покриття в мікрометрах - 9; A_p – норма витрат розчинних анодів на нанесення покриття товщиною один мікрометр, кг/м². Значення A_p визначають, виходячи з чистої маси покриття, технологічних витрат та відходів:

$$A_p = d_{\Pi} \cdot (1 + 0,06),$$

де d_{Π} – густина металу покриття, 7130кг/м³.

$$A_p = 7130 \cdot (1 + 0,06) = 7558$$

$$G_{ap} = 8040 \cdot 7558 \cdot 9 \cdot 10^{-6} = 546,9 \text{ кг.}$$

Розрахунок витрат хімічних реактивів

Сумарні витрати хімічних матеріалів на проведення технологічного процесу цинкування визначаються кількістю реактивів, що необхідні для приготування електроліту на перший запуск обладнання та витрати матеріалів на виконання річної програми. Також слід врахувати винос електроліту з деталями, винос частини електроліту у вентиляційні канали, коригування електроліту та заміну електроліту.

Хімічний склад сульфатного електроліту у кг/м³:

ZnSO ₄	215;
Na ₂ SO ₄	50-100;
Al ₂ (SO ₄) ₃	30;
Декстрин	10.

Витрати хімічних матеріалів на початковий запуск обладнання

Витрати кожного компонента електроліту G_i визначається за наступною формулою:

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

де C_i – концентрація відповідного компонента електроліту у $\text{кг}/\text{м}^3$; V_B – об'єм ванни - $2,04 \text{ м}^3$; $K_{\text{зап}}$ – коефіцієнт заповнення ванни - $0,9$; n_B – кількість ванн даного типу складає 1.

$$G_{\text{ZnSO}_4}^n = 215 \cdot 1,2 \cdot 0,9 \cdot 1 = 185,76 \text{ кг};$$

$$G_{\text{Na}_2\text{SO}_4}^n = 50 \cdot 1,2 \cdot 0,9 \cdot 1 = 54 \text{ кг};$$

$$G_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3}^n = 30 \cdot 1,2 \cdot 0,9 \cdot 1 = 32,4 \text{ кг};$$

$$G_{\text{доб.}}^n = 10 \cdot 1,2 \cdot 0,9 \cdot 1 = 10,8 \text{ кг}.$$

Витрати хімічних матеріалів на виконання річної виробничої програми

Витрати кожного компонента розраховуємо за формулою:

$$G_i = C_i \cdot V_{\text{вт}},$$

де $V_{\text{вт}}$ – сумарний об'єм електроліту, що виноситься з ванни при виконанні річної програми, м^3 .

Величину $V_{\text{вт}}$ можна розрахувати як:

$$V_{\text{вт}} = 1,15 \cdot P_p \cdot A_e \cdot 10^{-3},$$

де P_p – сумарна поверхня деталей, яка обробляється за рік, 13266 м^2 ; коефіцієнт $1,15$ – враховує площу занурюваної частини підвісок; A_e – норма витрат електроліту, що виноситься з деталями для деталей простої форми $A_e = 0,12 \text{ дм}^3/\text{м}^2$.

$$V_{\text{вт}} = 1,15 \cdot 13266 \cdot 0,12 \cdot 10^{-3} = 1,83 \text{ м}^3,$$

$$G_{\text{ZnSO}_4} = 215 \cdot 1,83 = 393,64 \text{ кг};$$

$$G_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = 50 \cdot 1,83 = 91,5 \text{ кг};$$

$$G_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} = 30 \cdot 1,83 = 54,9 \text{ кг};$$

$$G_{\text{доб.}} = 10 \cdot 1,83 = 18,3 \text{ кг}.$$

Сумарні витрати хімічних реактивів:

$$G = G_i^n + G_i;$$

$$G_{\text{ZnSO}_4} = 185,76 + 393,64 = 579,4 \text{ кг};$$

$$G_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = 54 + 91,5 = 145,5 \text{ кг};$$

$$G_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} = 32,4 + 54,9 = 87,3 \text{ кг};$$

$$G_{\text{доб}} = 10,8 + 18,3 = 29,1 \text{ кг}.$$

Розрахунок витрати води

При проведенні річної виробничої програми вода використовується на приготування електролітів і розчинів, на втрати від розкладання внаслідок електролізу, випарування із поверхні електроліту та на всі промивні операції [19, 20].

Витрати води на приготування електроліту

Ці витрати $G'_{\text{H}_2\text{O}}$ (кг) визначаємо за формулою:

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

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

Величину $C_{\text{H}_2\text{O}}$ можна визначати за формулою:

$$C_{\text{H}_2\text{O}} = d_{\text{ел}} - (C_1 + C_2 + C_3),$$

де $d_{\text{ел}}$ – густина електроліту, $1130 \text{ кг}/\text{м}^3$; C_1, C_2, C_3 – вміст компонентів в електроліті, $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$C_{\text{H}_2\text{O}} = 1130 - (215 + 50 + 30 + 10) = 825 \text{ кг}/\text{м}^3$$

Сумарні витрати електроліту знаходять за формулою:

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

де $V_{\text{в}}$ – об'єм ванни, $0,96 \text{ м}^3$; $K_{\text{зап}}$ – коефіцієнт заповнення ванни $0,9$; $n_{\text{в}}$ – кількість ванн рівний 1 ; $V_{\text{вт}}$ – об'єм електроліту, винесеного з деталями $1,11 \text{ м}^3$

$$V_{\text{заг}} = 0,96 \cdot 0,9 \cdot 1 + 1,11 = 1,97 \text{ м}^3;$$

$$G'_{\text{H}_2\text{O}} = 825 \cdot 1,97 = 1625,25 \text{ кг}.$$

Витрати води на розкладання при електролізі

Ці витрати води на розкладання $C''_{\text{H}_2\text{O}}$ (кг) розраховуємо за формулою:

$$C''_{\text{H}_2\text{O}} = I \cdot \frac{18 \cdot T_d \cdot V'_c}{2 \cdot 26,8} \cdot 10^{-5},$$

$$C''_{\text{H}_2\text{O}} = 264 \frac{18 \cdot 1984 \cdot 4}{2 \cdot 26,8} \cdot 10^{-5} = 7,0$$

де V'_c – вихід за струмом для процесу розкладання води, 4%.

Витрати води на винесення з газами

Витрати води на винесення з газами $C'''_{\text{H}_2\text{O}}$ (кг), розраховуємо за формулою:

$$C'''_{\text{H}_2\text{O}} = C'_{\text{H}_2\text{O}} \cdot V_{\Gamma}^t,$$

де $C'_{\text{H}_2\text{O}}$ – кількість води, що виноситься з ванни одним м^3 газів, $\text{кг}/\text{м}^3$; V_{Γ}^t – загальний об'єм вологого газу, що виділяється при температурі електролізу, м^3 .

Величину $C'_{\text{H}_2\text{O}}$ визначають як:

$$C'_{\text{H}_2\text{O}} = 0,000805 \frac{P_{\text{H}_2\text{O}}}{P_{\text{б}} - P_{\text{H}_2\text{O}}},$$

де $P_{\text{б}}$ – загальний тиск парогазової суміші, 1013,25 гПа; $P_{\text{H}_2\text{O}}$ – парціальний тиск парів води при температурі електролізу, 23,368 гПа.

$$C'_{\text{H}_2\text{O}} = 0,000805 \frac{23,368}{1013,25 - 23,368} = 0,019.$$

Для визначення величини V_{Γ}^t об'єм водню потрібно привести до нормальних умов:

$$V_{\text{H}_2}^0 = 0,418 \cdot I \cdot T_d \cdot V'_c \cdot 10^{-5};$$

$$V_{\text{H}_2}^0 = 0,418 \cdot 264 \cdot 1984 \cdot 4 \cdot 10^{-5} = 8,75.$$

Об'єм вологого газу $e \text{ м}^3$ при температурі електролізу:

$$V_{\Gamma}^t = \frac{V_{\Gamma}^0 \cdot 1013 \cdot (273 + t_{\text{ел}})}{273(P_{\text{б}} - P_{\text{H}_2\text{O}})},$$

де $t_{\text{ел}}$ – температура електролізу, 20°C .

$$V_{\Gamma}^t = \frac{8,75 \cdot 1013,25 \cdot (273 + 20)}{273(1013,25 - 23,368)} = 9,61$$

$$C_{\text{H}_2\text{O}}''' = 0,019 \cdot 9,61 = 0,18.$$

Витрати води на випаровування з поверхні електроліту

Ці витрати води $C_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{IV}}$ (кг) розраховуємо за формулою:

$$C_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{IV}} = \frac{45,6 \cdot K_{\text{B}} \cdot S_{\text{e}} (P_{\text{H}_2\text{O}} - P_{\text{п}}) \cdot T_{\text{д}} \cdot n_{\text{B}}}{P_{\text{б}}},$$

де 45,6 – коефіцієнт пропорційності, кг/м²·год; K_{B} – коефіцієнт, що враховує швидкість руху повітря над дзеркалом електроліту (для повільного руху повітря коефіцієнт становить $K_{\text{B}} = 0,71$); S_{e} – поверхня дзеркала електроліту - 0,96 м²; n_{B} – кількість ванн даного типу становить 1; $P_{\text{б}}$ – загальний барометричний тиск парогазової суміші -101325 Па; $P_{\text{п}}$ – парціальний тиск водяної пари при температурі та вологості навколишнього середовища у Паскалях.

Величину $P_{\text{п}}$ (Па) розраховують за формулою:

$$P_{\text{п}} = P_{\text{s}} \cdot \varphi / 100,$$

$$P_{\text{п}} = 2336,8 \cdot 65 / 100 = 1518,9$$

де P_{s} – тиск насиченої водяної пари при температурі навколишнього середовища повітря - 2336,8 Па; φ – вологість повітря в умовах цеху складає 65%.

$$C_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{IV}} = \frac{45,6 \cdot 0,71 \cdot 0,96 (2336,8 - 1518,9) \cdot 1984 \cdot 1}{101325} = 497,75.$$

Сумарні витрати води становитимуть:

$$C_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{заг}} = 1625,25 + 7,04 + 0,18 + 497,75 = 2130,22 \text{ кг}$$

Витрати води на промивні операції

Кількість води на промивання деталей у значній мірі буде залежити від кількості ступенів промивки. Розраховуємо за формулою:

$${}_1V_{\text{год}} = A_{\text{e}} \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[3]{K} \cdot P_{\text{r}}, \quad \text{м}^3/\text{год.}$$

де A_{e} – норма виносу розчину з ванни поверхнею деталей - 0,12 дм³/м²; P_{r} – годинна виробнича програма ванни - 6,69 м²/год; K – критерій фінальної

промивки деталей; n – кількість ступенів промивки. Критерій остаточної промивки визначають за співвідношенням:

$$K = C_0 / C_k,$$

де C_0 – концентрація головного компонента у ванні, після якої проводиться промивка - 215 г/дм^3 ; C_k – ГДК основного компонента у воді після промивки, $0,8 \text{ г/дм}^3$.

$$K = 215 / 0,8 = 268,75$$

$$V_{\text{год}} = 0,12 \cdot 10^{-3} \cdot 268,75 \cdot 4,06 = 0,130935$$

Загальні витрати води на виконання промивок при виконанні виробничої програми визначаємо як:

$$V_{\text{сум}} = V_{\text{год}} \cdot T_{\text{д}} \cdot 1,5, \text{ м}^3,$$

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

$$V_{\text{сум}} = 0,130935 \cdot 1984 \cdot 1,5 = 389,66.$$

РОЗДІЛ 4

ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ УМОВ РОБОТИ У ГАЛЬВАНІЧНОМУ ЦЕХУ

4.1 Профілактика електротравм

Головними причинами ураження електричним струмом є: випадковий контакт зі струмоведучими частинами обладнання, що опинились під напругою у результаті пошкодження ізоляції, ураження кроковою напругою або електродугою.

Електричне живлення обладнання здійснюється від трьохфазної чотирьохпровідної електричної мережі змінного струму, напругою 380/220В та частотою 50 Гц із глухо заземленою нейтраллю [21].

Сила струму, яка проходить через людину при однофазному доторканні в електричному ланцюзі складає:

$$I_{л} = \frac{U_{\phi}}{R_{л} + R_0} \cdot 10^3, \text{ мА}; \quad I_{л} = \frac{220}{4000 + 4} \cdot 10^3 = 54,9 \text{ мА};$$

де $U_{\phi} = 220$ - фазова напруга у вольтах; $R_{л} = 4000$ - опір тіла людини у омах; $R_0 = 4$ - опір заземлення у омах.

Відповідно до ГОСТ 12.1.038-84 у нормальному режимі роботи електрообладнання $I_{л} = 0,3$ мА, $U_{д} = 2$ В, а при аварійному режимі – $I_{л} = 6$ мА, $U_{д} = 36$ В.

Напруга дотику складе: $U_{л} = I_{л} \cdot R_{л} = 54,9 \cdot 4000 \cdot 10^{-3} = 220 \text{ В}$.

Звідси випливає, що при порушенні вимог ПУЕ на гальванічному виробництві можливі електричні травми з тяжкими наслідками.

Електрообладнання гальванічного цеху має вибухозахисне або закрите [21]. Струмоведучі частини ванн ізолювані та захищені спеціальними кожухами. Основним захистом від ураження електричним струмом має бути ізоляція провідників ($R_{із} = 0,5$ МОм).

Для захисту працівників від ураження електричним струмом у дипломному проєкті пропонується:

- захисне аварійне відключення електроустановок;
- подвійна ізоляція всіх струмоведучих частин;
- застосування малих напруг для живлення електричних інструментів;
- захисні засоби для персоналу (діелектричні рукавички, гумові килимки, інструменти із ізолюючими ручками);
- проводити періодичний огляд ізоляції з метою виявлення пошкоджень;
- регулярне проведення інструктажу та розміщення наглядного матеріалу на спеціальних стендах.

Для захисту персоналу від ураження електрострумом металічні конструктивні частини обладнання електромереж установки обов'язково заземляються [22].

Ванни повинні бути обладнані сигнальними лампочками: з метою попередження про подачу напруги на ванну – червоного кольору, про зняття напруги з ванни – зеленого кольору.

4.2 Нормалізація повітря робочої зони

У гальванічному цеху запропонована механічна припливна та місцева витяжна вентиляція. Кратність повітрообміну не менше п'яти. Повітряний баланс для гальванічного цеху цинкування менший на 10-15%. Згідно з ДСТУ 12.1.005-88 оптимальна вологість повітря у цеху повинна бути 40-60 %.

У відповідності до ДСТУ 12.1.005-88 вміст у повітрі шкідливих речовин підтримується за допомогою місцевої, загальнообмінної та аварійної вентиляції. Гальванічні ванни зі шкідливими виділеннями обладнані бортовими відсмоктувачами. Для підтримання нормальних умов роботи в цеху пропонується центральна система опалення відповідно СНиП 2.04.05-84 однотрубна з нижньою підводкою з температурою води до 70°C [21].

Приміщення цехів додатково обладнані повітряним опаленням за допомогою калориферів, що сумісне з припливною вентиляцією, для підтримання нормальної температури повітря у зимовий період. Для запобігання переохолодження та застудних захворювань працівників, при вході у цех пропонуються теплові повітряні завіси.

Для зменшення виділення шкідливих речовин в повітря робочої зони пропонуються наступні заходи:

- риготування та коректування розчинів ванн проводити при дії місцевої вентиляції; п
- о можливості замінити шкідливі і горючі речовини на менш токсичні, негорючі матеріали (наприклад ціаністий електроліт цинкування замінюємо на сульфатний); п
- процесі готування травильних розчинів кислоти додавати тонким струменем у холодну воду при інтенсивному перемішуванні; у

Для зниження виносу електролітів з ванн у склад електроліту вводять інгібітори, присадки та поверхнево-активні речовини.

4.3 Пожежна профілактика та вибір засобів пожежогасіння

Згідно з характеристиками категорій приміщень та будівель за вибухопожежною та пожежною небезпекою всі приміщення гальванічного цеху належить до категорії В [21, 22].

У цеху пропонується сухий порошковий вогнегасник (ВП-6), який використовується для гасіння пожеж класу В (горіння рідких речовин, за виключенням тих, що можуть горіти без доступу кисню повітря) та електричних установок, що знаходяться під напругою до 1000 В.

Персонал гальванічного цеху, відповідно до правил з техніки безпеки, періодично проходить навчання із правил користування засобами

пожежогасіння та правилам запобіганню пожежно-небезпечних ситуацій у гальванічному цеху.

Принцип роботи вогнегасників полягає у створенні надлишкового тиску у корпусі (виняток є нагнітальний) та викиданні під його дією вогнегасної речовини у вогнище пожежі [22]. Цей принцип має місце в різних моделях вогнегасників, але кожна з них має свої особливості.

У спроектованому гальванічному цеху планується використовувати вогнегасник порошковий ВП6.

Для приведення вогнегасника у дію необхідно:

- видалити запобіжну чеку;
- рукав потрібно спрямувати у вогнище пожежі;
- натиснути на важіль управління для подачі вогнегасної речовини, яка під дією надлишкового тиску по сифонній трубці, а потім рукаву через насадку подається у вогнище пожежі;
- для зупинення подачі вогнегасної речовини потрібно відпустити важіль.

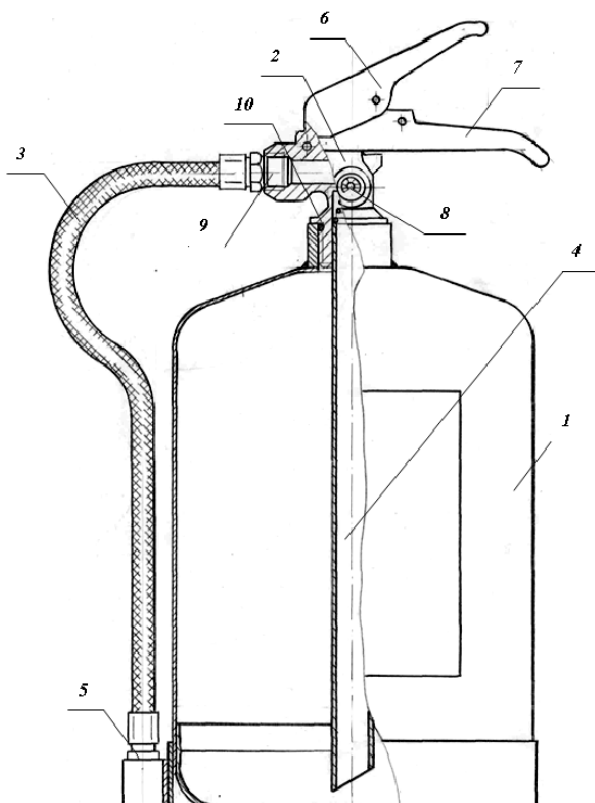


Рис. 4.3.1 Схематичне зображення порошкового вогнегасника ВП-6(з).

1 – корпус; 2 - головка; 3 - рукав; 4 – трубка сифонна; 5 – насадка розпилювач; 6 – важіль керування клапаном; 7 – ручка; 8 – індикатор тиску; 9 – клапан; 10 – кільце ущільнення.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз вітчизняних та закордонних літературних джерел щодо основних типів цинкових електролітів, які мають найбільш широке застосування у сучасній електрохімічній промисловості, встановлені переваги та недоліки кожного з них.
2. Проаналізовані методики досліджень щодо якості отриманого покриття.
3. Розроблена технологія нанесення гальванічного захисного блискучого цинкового покриття з використанням неагресивного та нетоксичного цинкатоного електроліту продуктивністю 13200 кв.м. на рік.
4. Проведений аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів на проєктованому виробництві та запропоновані заходи з охорони праці.

Список літературних джерел

1. Анга, Р. Корозія і захист від корозії: пер з англ. / Р. Ангал.- Долгопрудний: Интеллект, 2013. – 344 с.
2. Константинов В. М. Анतिकорозійні цинкові покриття на сталевих виробках: перспективи термодиффузійного покриттів / В. М. Константинов, Н. І. Іваницький, Л. А. Астрейко // Лиття і металургія. - 2013. - № 4 (73). - С. 107-110.
3. Проскуркин Є. В. Захисні цинкові покриття: порівняльний аналіз властивостей, раціональні області застосування. Ч.1 / Є. В. Проскуркин // Устаткування. - 2005. - №3. - С. 66-71.
4. Проскуркин, Є. В. Захисні цинкові покриття для жорстких корозійно ерозійних умов експлуатації / Є. В. Проскуркин // Територія Нафтогаз. - 2007. - № 9. - С. 42-51.
5. Якименко Г. Я., Харченко Е. П. Алгоритми і програми розрахунків в технічній електрохімії. Ч.1. Гальванічні виробництва. – Харків: НТУ «ХП», 2002. – 234 с.
6. Вайнер Я. В., Дасоян М. А. // Устаткування гальванічних цехів. - М. - Л.: Машинобудування. 1971. - 296 с.
7. Вансовская К. М., Воляннюк Г. А. // Промислова гальванопластика / під ред. Вячеславова П. М. - Л.: Машинобудування - 1986. - 105 с., іл.
8. Окулов, В.В. Цинкування. Техніка і технологія / В.В. Окулов; під ред. В.Н. Кудрявцева. - М.: Глобус, 2008. - 252 с.
9. Покриття термодиффузійно цинкові. Загальні вимоги та методи контролю. ГОСТ Р 9.316-2006 // Зміцнюючі технології та покриття. - 2008. - № 2. - С. 54-56.

10. Гальванічні покриття в машинобудуванні. Довідник в 2 -х томах // Під ред. М. А. Шлугера, Я. Д. Струму. - М.: Машинобудування, 1985 - Т.2. 1985, 248 з іл.
11. Обладнання цехів електрохімічних покриттів: Довідник // Під ред. П. М. Вячеславова. - Л.: Машинобудування. Ленингр. отделение, 1987.- 309 с.: іл.
12. Довідник по електрохімії // Під ред. А. М. Сухотина. - Л.: Хімія, 1981.- 488 с.
13. Антропов Л. И. // Теоретична електрохімія. Учеб. для хім. - технолог. спец. вузів. - 4 -е изд., перераб і доп. - М.: Высш. шк., 1984. - 519 с., іл.
14. Прикладна електрохімія // Під ред. Ротиняна А. Л., изд. 3 -е, пер. Л. «Хімія», 1974.
15. Прикладна електрохімія // Під ред. А. П. Томилова. - М.: Хімія, 1984.- 520 с.
16. Кудрявцев Н. П. // Електрохімічні покриття металами. М.: Хімія. 1979.- 351 с.
17. Ямпольский А. И., Ильин В.А. // Короткий довідник гальванотехніка. Л.: Машинобудування, 1981 - 269 с.
18. Дасоян М. А., Пальмская И. Я. Устаткування цехів електрохімічних покриттів. - М.: Машинобудування. 1989 -391 с.
19. Методичні вказівки до дипломного проекту за курсом «Технологія електрохімічних виробництв». Розділ «Захист металів і встаткування від корозії» для студентів спеціальності 0805 «Технологія електрохімічних виробництв»/Сост.: Вржосек Н. И., Вржосек Г. Г., Игнатенко Е. Х. і ін. - Київ: КПИ, 1985. - 43 с.
20. Гальванотехніка: Методичні вказівки до дипломного проектування для студентів спеціальності «Технологія електрохімічних виробництв» всіх форм навчання / Сост.

Вржосек Г. Г., Игнатенко Е. Х., Кондрашова Н.В. і дру. - К.: КПИ,
1988 - 64 с.

21. Макарова Г. В., Стрельчук Н. А., Кушелев В. П., Орлів Г. Г./
Охорона праці в хімічній промисловості. - М.: Хімія, 1977.
22. Довідник по охороні праці на промисловому підприємстві /
Ткачук К. Н., Іванчук Д. Ф., Сабарно Р. В., Степанов А. Г.- К.:
Техніка, 1991.-285с.