

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
ДИЗАЙНУ

Факультет хімічних та біофармацевтичних технологій

Кафедра хімічних технологій та ресурсозбереження

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА (ПРОЄКТ)

на тему

«Проектування гальванічного цеху з технологічним процесом
анодування алюмінію продуктивністю 18000 м²/рік»

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 161 Хімічні технологія та інженерія

Освітня програма Технічна електрохімія та електрохімічна енергетика

Виконала: студентка групи МгТЕ-22

Бутенко А.В.

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

Рецензент Павлій О.В.

Київ 2023

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Факультет хімічних та біофармацевтичних технологій

Кафедра хімічних технологій та ресурсозбереження

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

Освітня програма Технічна електрохімія та електрохімічна енергетика

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедри ХТР

Вікторія ПЛАВАН

“ ____ ” _____ 2023 р.

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

Бутенко Ангеліні Віталіївни

1. Тема кваліфікаційної роботи (проєкту): «Проектування гальванічного цеху з технологічним процесом анодування алюмінію продуктивністю 18000 м²/рік»

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

2. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи (проєкту): матеріали з практики. Зарубіжні та вітчизняні монографії та періодичні видання. Електроліт сульфатний. Завдання з продуктивністю 18000 м²/рік.

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

4. Дата видачі завдання 06.09.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

З завданням ознайомена:

Студентка

(підпис)

Ангеліна БУТЕНКО

(прізвище та ініціали)

Науковий керівник роботи

(підпис)

Олена КРІУКОВА

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

«Проектування гальванічного цеху з технологічним процесом анодування алюмінію продуктивністю 18000 м²/рік»

Бутенко А. В. – Київ. КНУТД

Кваліфікаційна робота (проект), 2023 рік, кількість сторінок – 69, таблиць – 9, рисунків – 7, схем – 2.

У кваліфікаційній роботі (проекті) розроблено технологію нанесення анодного покриття на П-подібні алюмінієві швелери товщиною 15 мкм, з метою покращення антикорозійних властивостей виробу. Анодування проводиться з сульфатного електроліту з додаванням композиції «ЕКОМЕТ-А200» у стаціонарній ванні при анодній густині струму 1,5 А/дм². У кваліфікаційній роботі (проекті) проведено конструктивні і технологічні розрахунки, запропоноване відповідне обладнання, розроблена схема автоматичного регулювання процесу анодування. У випускній роботі (проекті) розроблена схема очищення стічних вод, а також проаналізовані шкідливі та небезпечні виробничі фактори та запропоновані заходи з техніки безпеки та охорони праці на підприємстві.

Ключові слова: анодування, алюміній, гальванічні покриття, гальванічна ванна, баланс напруги, електроліз, стічні води.

ANNOTATION

"Design of an electroplating shop with a technological process of anodizing aluminum with a productivity of 18,000 m²/year"

Butenko A.V. – Kyiv. KNUTD

Qualification work, 2023, number of pages - 69, tables - 9, figures - 7, schemes – 2

The qualification work developed the technology of applying an anodic coating to U-shaped aluminum channels with a thickness of 15 μm, in order to improve the anti-corrosion properties of the product. Anodizing is carried out from a sulfate electrolyte with the addition of the "EKOMET-A200" composition in a stationary bath at an anodic current density of 1.5 A/dm². In the project, constructive and technological calculations were carried out, appropriate equipment was proposed, and a scheme for automatic regulation of the anodizing process was developed. The project developed a wastewater treatment scheme, as well as analyzed harmful and dangerous production factors and proposed safety and occupational health and safety measures at the enterprise.

Key words: anodizing, aluminum, galvanic coatings, galvanic bath, voltage balance, electrolysis, wastewater.

ЗМІСТ

Вступ	8
1. Аналіз літературних джерел процесу електролітичного оксидування алюмінію	11
1.1 Характеристики алюмінієвих оксидних плівок	11
1.2 Процес анодного окиснення алюмінію та формування пористих оксидних плівок та плівок бар'єрного типу	12
1.3 Порівняльна характеристика електролітів оксидування алюмінію	20
2. Об'єкт та методи досліджень	24
2.1 Об'єкти досліджень	24
2.2 Методи дослідження якості гальванічного покриття	25
3. Технологічна частина	
3.1 Вибір виду та товщини гальванічного покриття	27
3.2 Вибір технологічного процесу	28
3.2.1 Обґрунтування вибору технологічного процесу	28
3.2.2 Підготовка поверхні деталі перед нанесенням гальванічного покриття	29
3.2.3 Вибір електроліту для нанесення гальванічного покриття	30
3.2.4 Приготування електроліту	33
3.2.5 Дефекти покриття та способи їх усунення	33
3.2.6 Катоди	34
3.2.7 Вибір і обґрунтування завершальних операцій	34
3.3 Вибір та розрахунок обладнання для нанесення гальванічного покриття.	35
3.3.1 Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання	35
3.3.2 Визначення виробничої програми обладнання	35
3.3.3 Вибір виду обладнання для нанесення гальванічного покриття, розрахунок його кількості та габаритних розмірів	36
3.3.4 Баланс струму на гальванічній ванні	39

3.3.5	Баланс напруги на гальванічній ванні	40
3.3.6	Види джерел струму для гальванічної ванни	42
3.3.7	Визначення джоулевої теплоти, складання балансу енергії	42
3.3.8	Тепловий розрахунок гальванічних ванн	45
3.3.9	Розрахунок витрат матеріалів	46
4.	Екологічна безпека на гальванічному виробництві та очистка стічних вод	50
4.1	Призначення процесу очистки стічних вод	50
4.2	Методи очистки стічних вод, що містять кислоти, луги, завислі частинки	50
4.2.1	Вилучення металічного алюмінію	50
4.2.2	Очищення стічних вод	51
4.3	Розрахунок скиду хімікатів та очисні споруди анодування	52
4.4	Технологічна схема очищення води	53
5.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	54
5.1	Аналіз умов праці на робочому місці	54
5.2	Заходи з охорони праці	57
5.3	Пожежна безпека приміщення	59
5.4	Безпека в надзвичайних ситуаціях на досліджуваному об'єкті	62
	Загальні висновки	64
	Перелік посилань	65
	Додаток	68

ВСТУП

Для захисту металів від корозії, декоративного оздоблення виробів, надання їм певних властивостей (підвищеної електропровідності та зносостійкості, антифрикційних характеристик тощо) найбільшого поширення набули хімічні або електрохімічні методи. Цими методами можна осаджувати неметалеві (оксидні, фосфатні), металічні (наприклад, мідні, нікелеві, хромові, срібні) та композиційні (наприклад, нікель-корундові, сріблонітрилборні) покриття.

Як відомо, анодування алюмінію проводять з метою надання йому певних властивостей (підвищеної жаростійкості, корозійної стійкості у атмосферних умовах, здатності до нанесення фарби в водних розчинах органічних барвників тощо). Властивості утворених оксидних плівок залежать від наступних факторів: самого типу алюмінієвого сплаву; методів попередньої обробки металу; способу анодування; процесів, які застосовуються після анодування. Найчастіше анодування проводиться на основі розчинів сульфатної кислоти, проте для одержання спеціальних видів покриттів у промисловому виробництві використовують інші склади електролітів.

Актуальність теми. Одним із шляхів покращення економічної ефективності промислових гальванічних виробництв і поліпшення екологічного стану навколишнього середовища являється розробка та запровадження технологічних процесів електроосадження металів із електролітів, які мають нижчу, в порівнянні зі стандартною, концентрацію хімічних реагентів. Алюміній і його сплави мають широке застосування в різних галузях. Розповсюдженим є використання алюмінієвих сплавів завдяки їх фізико-механічним властивостям (легкість, міцність, твердість) і хімічним властивостям (корозійна стійкість). Одним з найбільш затребуваних сплавів є дюралюміній, завдяки його підвищеній питомій міцності та твердості (у порівнянні з чистим металом), що дозволяє застосовувати цей сплав у якості конструкційного матеріалу в машинобудуванні, авіації і космічній

промисловості. Алюміній і його сплави здатні покриватися природною оксидною плівкою, що призводить до сповільнення корозії. Але така плівка має недостатню механічну міцність і тому для покращення корозійної стійкості виробів їх піддають анодуванню – процесу нарощування оксидної плівки. Електрохімічне анодування дає змогу одержати покриття із різними фізико-хімічними властивостями, які залежать від умов електролізу.

Мета дослідження – розробити технологію оксидування алюмінію з оптимізацією розміщення деталей на підвісках.

Завдання дослідження:

- проаналізувати сучасний стан проблеми надання електрохімічних послуг й зробити висновок, який вид електролітів є актуальним у теперішній час серед виробників гальванічних покриттів;
- розробити технологічний процес анодування алюмінію;
- проаналізувати шкідливі і небезпечні виробничі фактори на спроектованій гальванічній лінії та запропонувати заходи з охорони праці.

Об'єктом дослідження являється процес анодування алюмінію з метою надання виробам антикорозійних властивостей.

Предметом дослідження являється розробка технологічних процесів анодування алюмінію з оптимізацією розміщення деталей на підвісках.

Методи дослідження:

- порівняльний аналіз основних типів електролітів анодування алюмінію, які найбільш широко застосовуються в сучасній електрохімічній промисловості;
- застосування методик розрахунків технологічних параметрів;
- використання методики аналізу шкідливих та небезпечних виробничих факторів.

Практична цінність. У дипломному проекті розроблена технологія та проведений розрахунок обладнання для процесу оксидування алюмінію. Обґрунтовані та визначені оптимальні параметри гальванічного процесу, що

дозволить одержувати якісне покриття, яке надійно захистить вироби від процесу корозії; запропоновані відповідні заходи щодо охорони праці на гальванічному виробництві.

Елементи наукової новизни. Запропоновано технологію окисдування алюмінію з додаванням в розчин електроліту спеціальної добавки «ЕКОМЕТ-А200», яка дозволяє підтримувати концентрацію алюмінію на рівні 10 г/л, що забезпечує тривалий термін служби електроліту за рахунок осадження надлишкового алюмінію.

Розділ 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНОГО ОКСИДУВАННЯ АЛЮМІНІЮ

1.1 Характеристики алюмінієвих оксидних плівок

Процес електрохімічного оксидування алюмінію досить широко застосовується в промисловості для надання поверхням виробів електроізоляційних властивостей, а також твердості, зносостійкості й підвищення корозійної стійкості. У деяких випадках кінцевим результатом такої обробки є одержання декоративних та забарвлених плівок. Процес оксидування проводять у розчинах електролітів на основі неорганічних як органічних кислот, так і їх сумішей. Найчастіше анодування проводять в сульфатній кислоті, але для спеціальних цілей можуть застосовуватися інші типи електролітів: хромовокислий, оксалатний, сульфосаліциловий або змішаний.

При експлуатації готових виробів з алюмінію у агресивних середовищах на поверхні металу утворюється шар з продуктів корозії, який як псує зовнішній вигляд деталей, та й призводить до погіршення їх механічних характеристик. Простим та водночас досить надійним способом захисту алюмінію та його сплавів від корозії і водночас наданням виробам специфічних властивостей є оксидування, тобто процес одержання на поверхні металу оксидної плівки в результаті хімічної та/або електрохімічної обробки [1]. До основної переваги хімічного способу оксидування алюмінію є незначна тривалість процесу, а також простота його проведення, використання нескладного обладнання, що забезпечує незначну вартість цього процесу. Хімічне оксидування алюмінію використовується для захисту деталей та виробів від корозії, а також для утворення підшару для нанесення лакофарбових покриттів. Товщина утворених оксидних плівок, що отримують хімічним способом, становить 0,5–4 мкм. Такі плівки володіють низькою механічною стійкістю, а тому не використовуються у випадках, коли потрібна підвищена твердість та зносостійкість поверхні виробів. До хімічних способів оксидування належить обробка алюмінію у слаболужних

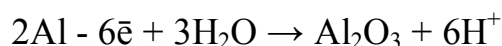
електролітних розчинах хроматів або розчинах, які містять хромати, фосфорну кислоту та сполуки фтору [2]. У процесі лужного оксидування утворюються плівки завтовшки 2–3 мкм, які досить легко стираються та руйнуються від гарячої води і повітря. Кращою механічною стійкістю та кращими електроізоляційними властивостями володіють плівки, осаджені в кислих фосфатних розчинах електролітів. Товщина оксиднофосфатних плівок досягає 3–4 мкм. Такі плівки є досить гарним підшаром для покриттів лаком та здатні захищати метал від корозії.

Для електрохімічного оксидування потрібно використання досить потужних джерел живлення для електролізних ванн, спеціальних пристроїв, обладнання, досить точне дотримання технологічного регламенту, що ускладнює процес та робить його дорожчим. В той самий час, застосування електрохімічних методів дає можливість отримати високоякісні плівки з досить широким спектром властивостей, що забезпечує широке використання цього методу оксидування [3].

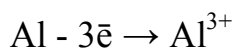
1.2 Процес анодного окиснення алюмінію та формування пористих оксидних плівок та плівок бар'єрного типу

Кисень, необхідний для утворення оксидної плівки на алюмінії при анодній поляризації, надходить з електроліту. Донорами кисню можуть SO_4^{2-} , HSO_4^- , PO_4^{3-} , CrO_4^{2-} , CO_3^{2-} , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, а також недисоційовані молекули води.

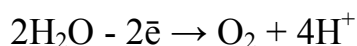
Підтвердженням існування різних донорів кисню є можливість проведення анодування у розплавах солей (NaHSO_4 , NH_4HSO_4 й ін.) та розбавлених розчинах солей і кислот, іони яких не містять кисню (NaCl , HCl). У загальному вигляді реакція анодного окиснення має вигляд:



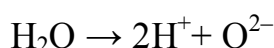
Ця реакція є результуючою складного процесу, одна зі стадій якого анодний процес іонізації алюмінію на межі розділу «метал – бар'єрна оксидна плівка»



Вивільнені електрони надходять до зовнішнього ланцюга і формують струм анодування. Іони алюмінію під впливом градієнта електричного поля мігрують крізь іонну решітку оксиду до зовнішньої поверхні бар'єрного шару. При анодуванні алюмінію помітного виділення газоподібного кисню не відбувається, тому перехід кисню з електроліту в оксидну плівку можна показати не як наслідок анодної реакції виділення кисню за реакцією:

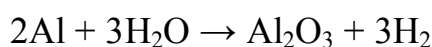


а як безпосередній процес утворення іона кисню



Іон кисню, який утворюється на поверхні оксиду мігрує крізь бар'єрний шар назустріч іону Al^{3+} [5].

Експериментально встановлено, що в деяких випадках на аноді виділяється у незначних кількостях водень. Це пояснюється наявністю окремих місцевих пробоїв плівки в місцях, де протікає хімічна реакція взаємодії алюмінію з водою:



У випадку анодування в органічних кислотах можливим є виділення діоксиду вуглецю внаслідок анодного окиснення кислоти.

Утворення суцільної (бар'єрної) оксидної плівки відбувається у результаті зустрічної міграції іонів Al^{3+} і O^{2-} . Рушійною силою процесу є наявність значної напруженості електричного поля у плівці при анодному окисненні. Збільшення товщини плівки практично припиняється при досягненні значення градієнта потенціалу, який не може забезпечити переміщення іонів крізь оксид. Згідно з експериментальними даними критичне значення градієнта потенціалу складає $0,06 \text{ В}/\text{Å}$ або $6 \cdot 10^6 \text{ В}/\text{см}$.

Механізм анодування доволі складний. Основним питанням, яке розглядається у теоріях електрохімічного оксидування алюмінію, є особливості переміщення іону алюмінію в оксидній плівці. За теорією Кабрера–Мотта на межі «метал – оксид» існує потенціальний бар'єр, який обмежує вихід катіонів з металу у плівку. Катіони, які вже вийшли з

кристалічної решітки металу, безперешкодно виходять на поверхню плівки. Такий механізм формування оксидної плівки характерний для утворення тонких плівок (десятки Å). Теорія Девальда відноситься до випадку формування більш товстих плівок. Згідно з цією теорією іон металу, який проходить крізь плівку, може зіштовхуватися з атомами в решітці оксиду, втрачаючи свою енергію. Для продовження подальшого руху необхідна вторинна активація іона, яка настає під впливом зовнішнього електричного поля. Таким чином, іони алюмінію рухаються в плівці перескоками від одного міжвузлового положення до іншого. Кількісний розрахунок іонного струму, який визначає швидкість зростання плівки при анодному окисненні, проводився у ряді робіт. У інтерпретації Феттера величина іонного струму визначається як:

$$i = i_o \cdot (e^{-E/RT}),$$

де i_o – максимально можливий іонний струм за умов відсутності енергетичного бар'єру для виходу катіонів з металу та проходження їх крізь плівку (i_o є константою, яка залежить від природи металу); E – енергія активації, необхідна для подолання катіоном енергетичного бар'єру в плівці. Множник $e^{-E/RT}$ є часткою максимального іонного струму i_o та визначається кількістю атомів металу, енергія яких дорівнює або перевищує енергію активації E . З рівняння випливає, що чим меншою є енергія активації, тобто чим менший енергетичний бар'єр необхідно подолати іонам при проходженні через оксидний шар, тим більший іонний струм протікає крізь плівку і тим більша швидкість її зростання. Навпаки, чим більшою є E , тим повільніше формується плівка. Відповідно до припущення Девальда, можна вважати, що початковій стадії росту плівки відповідає більш низьке значення енергії активації. При збільшенні товщини плівки бар'єрного типу відбувається зростання E , іонний струм окиснення поступово знижується, досягаючи нульового значення при постійному градієнті потенціалу. Енергія активації E виходу катіона металу з решітки у електричному полі описується рівнянням:

$$E = E_0 - K \cdot (U/\delta),$$

де E_0 – максимальна енергія потенціального бар'єру (при відсутності електричного поля); K – константа, значення якої визначається рядом величин (зарядом іона, сталою Фарадея та ін.); U – напруга анодування; δ – товщина оксидної плівки бар'єрного типу.

Згідно із рівнянням підвищення прикладеної формуючої напруги U повинно збільшувати градієнт потенціалу в плівці U/δ і знижувати енергію активації E . У випадку значень градієнта, при яких множник $K \cdot (U/\delta)$ буде дорівнювати величині E_0 , енергія активації може знизитись до нуля. Зниження енергії активації E при збільшенні градієнта потенціалу, яке досягається підвищенням зовнішньої прикладеної напруги, дає можливість одержувати більш товсті бар'єрні плівки [5].

Результати більшості досліджень показують, що при оксидуванні найбільш вірогідним є рух іонів алюмінію крізь оксид до границі розділу «плівка – електроліт» і формування нових оксидних шарів на зовнішній поверхні бар'єрного шару. На користь переважного руху іона алюмінію також вказує значення його іонного радіуса (0,5 Å), яке є значно меншим за радіус іона кисню (1,4 Å).

Таким чином, можна припустити, що зростання плівки відбувається в зоні, розташованій поблизу поверхні розділу «оксидна плівка – розчин електроліту» (рис. 1.1). Зустріч іонів алюмінію з іонами кисню у цій зоні приводить до утворення оксиду алюмінію і потовщення плівки. Однак, навіть при незначному збільшенні товщини бар'єрного шару проходження іонів алюмінію через нього уповільнюється і подальше зростання плівки практично припиняється. Якщо анодна обробка проводиться в розчині, який не взаємодіє з плівкою хімічно (наприклад, розчині борної кислоти), то процес росту плівки на цьому припиняється.

Товщина суцільного оксидного шару залежить від значення напруги, при якій формується плівка, і становить біля 14 Å на кожен її вольт. Розрахований для цих величин градієнт потенціалу $((7-8) \cdot 10^6 \text{ В/см})$

відповідає критичній напруженості електричного поля, нижче якої рух іонів алюмінію і кисню припиняється і зростання плівки закінчується.

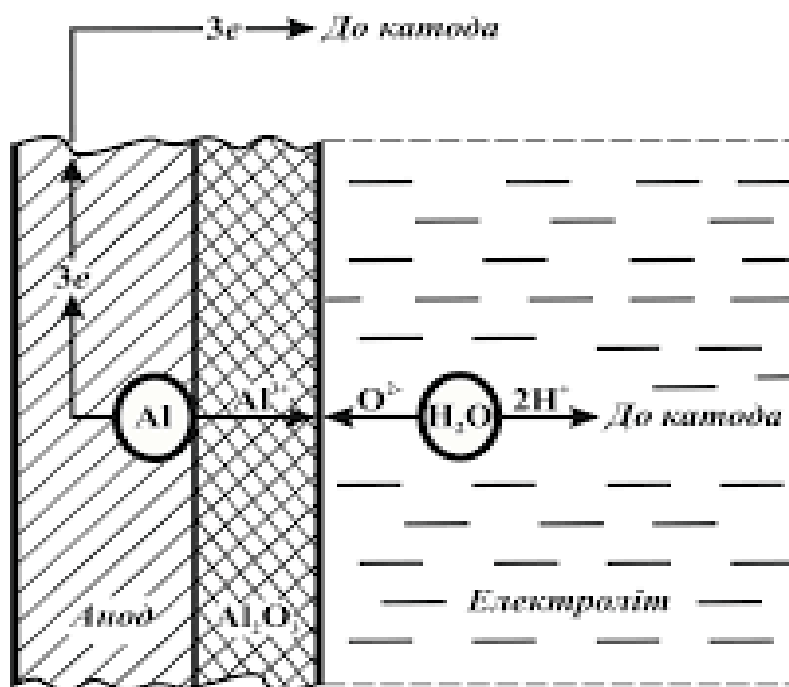


Рисунок 1.1 – Схематичне зображення анодного процесу іонізації алюмінію, електродної реакції передачі кисню з молекули води на метал і утворення шару Al_2O_3 [5].

В електролітах, які помірно взаємодіють з оксидною плівкою (наприклад, розчинах H_2SO_4), гранична товщина бар'єрного шару не досягає значення 14 \AA/V , оскільки електроліт безперервно розчиняє оксид, і тому напруженість поля в суцільній частині плівки зберігає значення вище критичної величини.

Пористі оксидні плівки складаються з двох шарів: тонкого оксидного шару бар'єрного типу (товщиною $0,01\text{--}0,03 \text{ мкм}$), який безпосередньо прилягає до металу, і товстого пористого шару, який являє собою основний

масив оксиду (рис. 1.2, а).

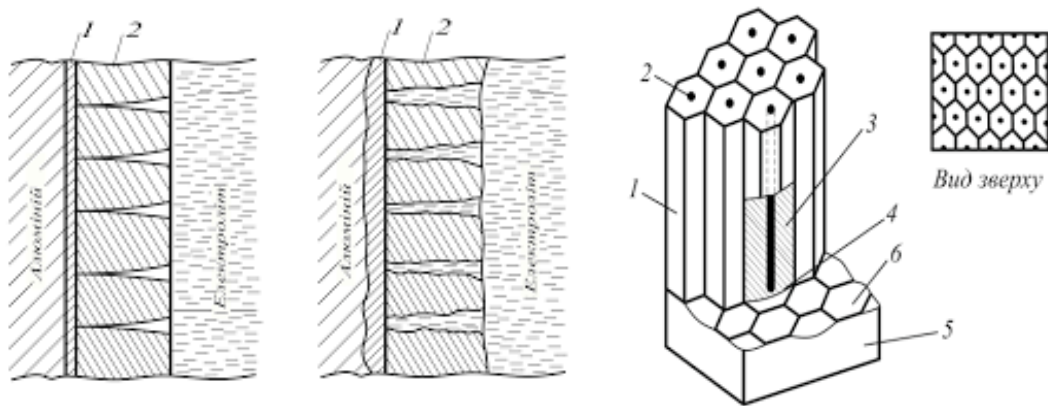


Рисунок 1.2 – Оксидна плівка на алюмінії: а – будова пористої оксидної плівки:

1 – бар'єрний шар, 2 – пористий шар; б – структура пористої оксидної плівки на алюмінії: 1 – оксидна комірка, 2 – пора, 3 – стінка комірки, 4 – бар'єрний шар плівки; 5 – метал, 6 – відбитки основ оксидних комірок на поверхні металу [5].

Пориста оксидна плівка має структуру щільно упакованих оксидних комірок у вигляді гексагональних призм, направлених по нормалі до поверхні металу і спаяних по бокових гранях. Кожна комірка складається з центральної пори, простір навколо якої обмежується оксидними стінками, що опираються на основу з компактного оксидного шару бар'єрного типу (рис. 1.2, б). Товщина пористої частини оксидної плівки, за умови, що не досягнута її граничне значення, залежить, головним чином, від кількості пропущеної електрики. Товщина бар'єрного шару плівки є функцією формуючої напруги і в процесі електролізу залишається практично незмінною. Залежність $U = f(\tau)$ при формуванні пористої плівки має вигляд кривої 1, наведеної на рис. 1.3.

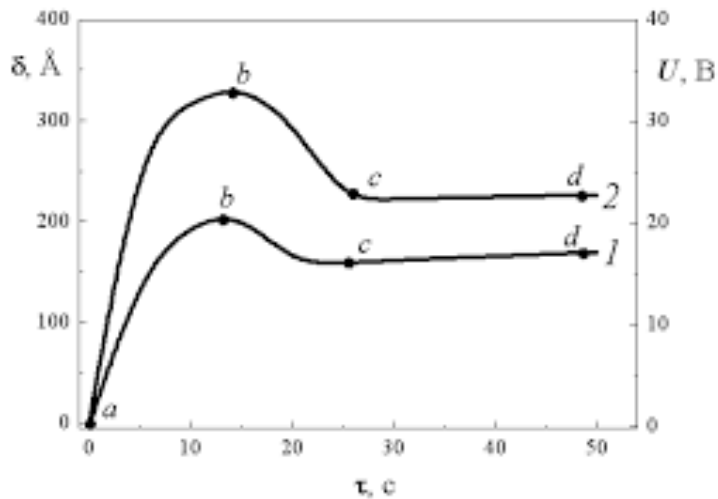


Рисунок 1.3 – Залежність напруги (крива 1) і товщини оксидної плівки (крива 2) від тривалості електролізу при анодуванні у розчині H_2SO_4 . $t = +2^\circ\text{C}$, $j_a = 2,5 \text{ A/дм}^2$ [5].

Відповідність ходу залежностей напруги і товщини оксиду (рис. 1.3, криві 1 і 2) дозволяє показати процес утворення пористої плівки таким чином. Упродовж перших секунд електролізу формується бар'єрний оксидний шар і одночасно спостерігається різке підвищення напруги на електролізері (ділянка ab). На ділянці bc суцільність бар'єрного шару порушується, що приводить до зниження напруги на електролізері. Подальший електроліз супроводжується поступовим підвищенням напруги за рахунок потовщення пористої частини оксидної плівки (ділянка cd). Ця ділянка відповідає умовам проведення оксидування. Зі зростанням товщини плівки підвищується її електричний опір, що приводить до збільшення кількості джоулевого тепла, яке виділяється в порах оксиду. Якщо оксидування продовжується достатньо довго, то опір розчину в порах плівки починає швидко збільшуватись, що обумовлює виділення великої кількості тепла і утворення парів електроліту за рахунок сильного локального розігріву. Наслідком цього може стати розтравлювання окремих ділянок плівки або її електричний пробій. Найбільш вірогідно, що утворення перших пор в оксидній плівці відбувається у місцях з наявністю дефектів, наприклад, границях зерен, тріщинах, чужорідних включеннях (рис. 1.4, а).

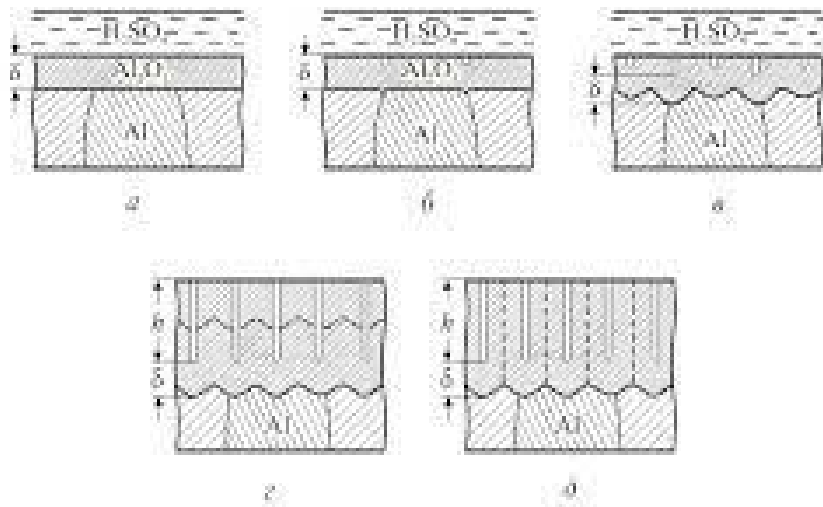


Рисунок 1.4 – Схематичне зображення формування впорядкованої структури пористої оксидної плівки з первинної тонкої плівки бар'єрного типу: а – формування суцільної оксидної плівки; б – утворення перших пор у суцільній плівці; в – заповнення поверхні алюмінію оксидними комірками різного розміру (формування неупорядкованої структури); г – момент перебудови неупорядкованої структури плівки у впорядковану; д – кінцева структура оксидної плівки з комірками однакових розмірів [5].

Одночасно з появою та збільшенням пор із зовнішньої частини плівки на внутрішній границі розділу «плівка – метал» починає утворюватись новий оксидний шар алюмінію, окремі комірки якого мають вигляд півсфери з опуклістю у напрямку металу. В момент часу, який відповідає положенню б на рис. 1.4, вся зовнішня поверхня плівки вкривається порами і починається зростання пористої частини оксиду. Розміри комірок розрізняються, оскільки комірки, які виникли пізніше, мають менше часу для свого зростання, а центри комірок розташовані хаотично (рис. 1.4, в).

Після того, як окремі комірки зімкнуться і повністю вкриють поверхню анода, можливим буде лише ріст кожної комірки в глибину. У цих умовах кожна оксидна комірка з меншою півсферою (яка виникла пізніше) внаслідок меншої товщини ізолюючого бар'єрного шару має більше можливостей для

росту. Це приводить до вирівнювання розмірів комірок і формування впорядкованої структури анодної оксидної плівки.

1.3 Порівняльна характеристика електролітів оксидування алюмінію

Для осадження оксидних плівок алюмінію у промисловості застосовують електроліти на основі хромової, сульфатної, щавлевої, сульфосаліцилової кислот. Анодування у сульфатній кислоті є найпоширенішим та найбільш дешевим способом, це дозволяє використовувати для живлення ванн як постійний, так й змінний струми [1, 2]. Оксидні плівки, осаджені в цьому електроліті мають невелику товщину, вони прозорі, безбарвні, добре забарвлюються різними органічними барвниками. В сульфатному розчині електроліту можна оксидувати і чистий алюміній, і його сплави. Для утворення оксидних плівок значної товщини (процес «глибокого анодування») – застосовують сульфатний електроліт із температурою від -6 до $+2^{\circ}\text{C}$. Це значно ускладнює процес. Анодування ж у сульфатній кислоті не слід використовувати для утворення оксидних плівок на деталях, що мають клепані або зварні з'єднання тому, що в таких місцях може залишитись електроліт і з часом це призведе до доволі значної місцевої корозії. Для таких деталей та виробів застосовують хромовоокислий електроліт, який менш агресивно діє на метал. В хромовій кислоті осаджуються безбарвні та прозорі плівки товщиною 6–8 мкм. Вони є більш еластичними, ніж плівки, отримані з сульфатного електроліту. Оксалатний електроліт (на основі щавлевої кислоти) використовують для отримання плівок із високими електроізоляційними властивостями. Досить перспективним є анодування у розчинах електролітів на основі сульфосаліцилової кислоти із добавками сульфатної та щавлевої кислот. За температури 20 – 40°C в них можна отримати оксидні плівки доволі значної товщини з непоганими механічними та діелектричними властивостями.

Головними процесами, що протікають при анодній поляризації алюмінію в розчинах, що повільно розчиняють Al_2O_3 , є: 1) електрохімічний

процес утворення оксиду алюмінію; 2) хімічна реакція розчинення оксиду під дією електроліту; 3) побічні процеси такі як: виділення газу, гідратація оксиду, входження аніонів у оксидну плівку та ін [4].

Теоретична питома маса (у г/дм²) оксиду алюмінію, що утворюється при анодуванні на одиниці площі електрода (за умови, що оксид не розчиняється в електроліті й відсутні побічні процеси), відповідно до закону Фарадея, залежить від кількості електрики, тобто від добутку густини струму на тривалість електролізу:

$$m_{\text{окс.}} = j_a \cdot K_e \cdot \tau,$$

де $m_{\text{окс.}}$ – маса оксиду, г; j_a – анодна густина струму, А/дм²; K_e – електрохімічний еквівалент оксиду алюмінію ($K_e=0,635$ г/(А·год)); τ – тривалість електролізу, год. Виходячи з теоретичних міркувань щодо механізму росту пористих оксидних плівок, можна допустити, що при проходженні електролізу на аноді буде наростати плівка необмеженої товщини [2]. Однак, в реальних умовах одержання оксиду можливе лише до незначної товщини, після досягнення якої подальше нарощування плівки практично припиняється. Товщина анодної плівки хорошої якості визначається в кожному конкретному випадку специфічними умовами анодного процесу. Наприклад, анодування в сульфатному електроліті дозволяє отримувати плівки товщиною до 10–15 мкм, у так званому «нормальному» режимі при кімнатній температурі та густині струму 1–2 А/дм². Плівки з $\delta=50$ –100 мкм одержують при температурах електроліту від 0⁰С і нижче та густині струму 2–10 А/дм², а також при температурах до 20⁰С у режимі постійної потужності (до 400 Вт/дм²) або у сумішах електролітів. Плівки товщиною від 150 мкм і більше можна отримати лише за умови двостороннього охолодження деталі – з зовнішнього боку плівки через електроліт та з внутрішнього боку через метал. При анодуванні оксидна плівка досягає граничної товщини або внаслідок урівнювання швидкостей її розчинення та утворення (при умові недостатнього охолодження електроліту), або внаслідок надмірного підвищення напруги та електричного

пробою плівки (при сильному охолодженні розчину та деталі). Досягнення деякої граничної товщини пояснюється тим, що швидкість нарощування оксидної плівки під час анодування гальмується внаслідок посилення ролі побічних процесів на аноді; водночас швидкість розчинення плівки збільшується внаслідок підвищення температури металу анода [2].

Головними факторами, що впливають на характер проходження анодного процесу та властивості утворених оксидних плівок, є концентрація та температура електроліту, а також густина струму. Існує деяка певна величина агресивності (концентрації) електроліту, при якій можна отримати плівки визначених граничних товщин. В більш агресивних розчинах (наприклад, розчинах H_2SO_4 з вмістом кислоти понад 50 %) суцільний щільний бар'єрний шар утворюватися не встигає, оскільки він одразу ж розчиняється. При невисокій агресивності розчину товщина бар'єрного шару прямує до максимального значення (14 \AA/V), що призводить до зниження анодної густини струму і відповідно до зниження швидкості нарощування оксиду (при анодуванні у гальваностатичному режимі) або збільшення напруги на електролізері аж до електричного пробою плівки.

Кінцева обробка оксидованих деталей з алюмінію та його сплавів, як правило, полягає у наповненні (ущільненні) оксидних плівок або у формуванні на поверхні виробів заданого кольору. Очевидним є те, що такій обробці можуть піддатись лише пористі плівки. Також слід відмітити, що для цілого ряду сплавів алюмінію отримання кольорових оксидних плівок є неможливим, оскільки в процесі самого анодування поверхня деталі самочинно забарвлюється. Це залежить від металу [3]. Наповнення оксидних плівок проводиться для підвищення захисних властивостей. Для цієї мети оксидовані деталі ретельно промивають та обробляють одним з наведених нижче способів: 1) гарячою дистильованою водою або парою, що приводить до гідратації Al_2O_3 та заповнення пор плівки свіжоутвореним гідратованим оксидом; 2) розчинами хроматів, що призводить до гідратування у порах плівки; 3) заповненням пор плівки різними лаками, компаундами, маслами та

гідрофобізуючими рідинами. Найбільшого розповсюдження в промисловості набув спосіб наповнення плівок в хроматних розчинах. Оксидовані деталі обробляють упродовж 20–30 хв. у нагрітому до 80–90⁰С 4–5 %-му розчині біхромату калію або натрію [2, 3]. В результаті такої обробки оксидна плівка на алюмінії забарвлюється в жовтий колір з різними відтінками. Шкідливими домішками в розчині є SO₄²⁻ у кількості, вищій за 4 г/дм³ і Cl⁻ вищій за 1,5 г/дм³. Ущільнення першим способом оксидованого алюмінію полягає у обробці деталей у дистильованій воді при температурі 95–100⁰С впродовж 30 хв. Значення рН води повинно знаходитись у межах 6,5–7. Зниження рН нижче 4 призводить до появи на плівці білих плямок. Для підтримки оптимального значення рН у воду вводять 10 г/дм³ NH₄NO₃ і 0,05 г/дм³ (NH₄)₂HPO₄. Для збільшення захисних властивостей плівки без зміни їх зовнішнього вигляду застосовується просочування розчинами гідрофобізуючих рідин, наприклад, 8–10%-ним розчином гідрофобізуючої кремнійорганічної рідини ГКР-94 у толуолі [3]. Утворені оксидні плівки можуть бути забарвлені у різні кольори, причому найбільш придатними для забарвлення є плівки, одержані у сульфатному електроліті. Інтенсивність забарвлення покращується зі зростанням товщини та поруватості плівки, а також концентрації барвника у розчині. Більш чисті кольори можна отримати на чистому алюмінії та його сплавах з магнієм або марганцем. На поверхнях ливарних сплавів таких як силумін, в процесі оксидування спостерігається темна плямиста плівка, що не піддається забарвленню у світлі кольори.

Висновки до розділу.

У розділі розглянуті основні процеси, які протікають при анодній поляризації алюмінію у розчинах, а також фактори, які впливають на характер проходження анодного процесу і властивості утворених оксидних плівок. Встановлено, що існує певна величина агресивності (концентрації) електроліту, при якій можна одержати плівки визначених граничних товщин.

Розділ 2. ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є технологічний процес оксидування виробів з алюмінію і його сплавів, основні процеси, які протікають при анодній поляризації алюмінію у розчинах, а також фактори, які впливають на характер проходження анодного процесу і властивості утворених оксидних плівок.

У відповідності до об'єкту досліджень вихідними даними для проектування технологічного процесу є [4-6]:

1. характеристика деталі

- П-подібні швелери з алюмінію (марка АД1)
- габаритні розміри деталі, 6000x100x50 мм.

2. покриття - алюміній [4]

- товщина 15 мкм;
- густина $d_{Al} = 2699 \text{ кг/м}^3$;
- електрохімічний еквівалент 0,634 г/А год.

3. Електроліт – сульфатний [3-6]

Склад електроліту:

кислота сульфатна– 150-170 г/л;

композиція «ЕКОМЕТ-А200» – 22-27 г/л;

Режим обробки: температура 18-22°C, анодна густина струму 1-1,5 А/дм².

4. Католи [4]

У якості катодів для даного процесу використовують конструкційну високолеговану, корозостійку, жаростійку та жароміцну листову сталь марки 12Х18Н9Т.

5. Ванна [8, 9]

- матеріал ванни поліпропілен;
- теплоємність матеріалу футерівки (вініпласт) 1630 Дж/(кг · К).

2.2 Методи дослідження якості гальванічного покриття

Якість утвореного покриття повинна відповідати вимогам ГОСТ 9.301-86. Для контролю товщини анодного покриття відбираються від кожної партії від 0,1 до 1 % деталей, але не менше 3 одиниць [8].

Контроль якості проводиться за наступними параметрами:

1. зовнішній вигляд покриття;
2. товщина покриття;
2. міцність зчеплення з основою;
4. корозійна стійкість.

Контроль зовнішнього вигляду утвореної плівки проводиться на всіх деталях візуальним методом у приміщенні з освітленням не менш 300 лк. на відстані 20 ± 5 см від контрольованої поверхні. Оксидна плівка повинна бути міцно зчеплена з основним металом, без лущення, здуття та розтріскування. Вона повинна бути однорідною по кольору по всій поверхні деталі. На поверхні покритої деталі не вважається браком наявність слідів від води.

Товщину покриття визначають неруйнівним способом вихрових струмів. Він ґрунтується на аналізі взаємодії зовнішнього електромагнітного поля із електромагнітним полем вихрових струмів, наведених у об'єкті контролю даним полем.

Міцність зчеплення покриття перевіряють методом нагріву. При проведенні контролю деталь із покриттям нагрівають до температури $190 \pm 5^\circ\text{C}$, витримують при цій температурі протягом 1 години і охолоджують на повітрі. Після проведення операції контролю не повинно бути здуття або відшаровування плівки.

Контроль корозійної стійкості проводиться у камері сольового туману. За методом NSS деталь поміщують у середовищі з 3-х відсотковим розчином NaCl при температурі $25-35^\circ\text{C}$ та витримують до початку корозії деталі. Умовно прийнято вважати, що 1 година витримки в даному середовищі

деталі без прояву ознак корозії відповідає одному місяцю її роботи за відповідних умов експлуатації, які передбачених виробником [6-8].

Висновки до розділу.

У розділі визначений об'єкт дослідження, яким є процес анодування алюмінію та методи дослідження якості утворених анодних покриттів.

Розділ 3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Вибір виду та товщини гальванічного покриття

В даному дипломному проєкті обробці підлягають П-подібні швелери з алюмінію (марка АД1) для загального призначення довжиною 6 м. Ескіз деталі показано на рисунку 3.1.

Обрана деталь має загальне призначення та може використовуватися у будівництві, ремонті, а також при виконанні різного виду монтажних робіт. Використовується для спорудження обладнання (торгового, виставкового) світлопрозорих та огорожуючих конструкцій. Із швелеру також виготовляють карнизи [10, 11].

Головні вимоги до зовнішнього вигляду виробу:

1. однорідність покриття;
2. відсутність макро- та мікронерівностей;
3. однорідність забарвлення.

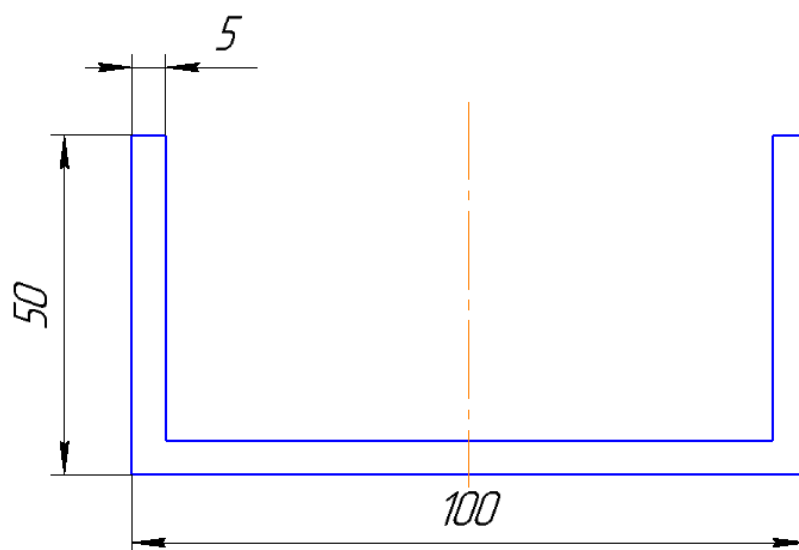


Рис. 3.1. Ескіз деталі

Деталі можуть використовуватися при атмосферних умовах за температури від -20 до $+40^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості повітря не вищій ніж 60%. При таких умовах експлуатації вони можуть піддаватися корозії. Для запобігання цього процесу швелери підлягають анодуванню алюмінієм.

Для гальванічного покриття деталей вибираємо одношарове анодне покриття товщиною 15 мкм, що буде надавати високої корозійної стійкості поверхні деталі.

3.2. Вибір технологічного процесу

3.2.1. Обґрунтування вибору технологічного процесу

Відомо, що стандартний потенціал алюмінію складає $-1,67$ В, але через його здатність до пасивації він має менш від'ємний потенціал ($-0,5$ В). Корозійна стабільність алюмінію та його сплавів також залежить від кількості спеціально введених добавок і також від якості та виду оксидної плівки. Алюміній є досить активним металом, але в той же час, за наявності оксидної плівки він є досить стійким відносно більшості хімічних сполук. Так він не окиснюється на повітрі, не взаємодіє на холоді розбавленими розчинами та концентрованими сульфатною та нітратною кислотами, також не взаємодіє з водою за звичайних умов [9].

Сфери застосування оксидованого алюмінію:

1. електрична ізоляція;
2. анодний підшар для органічних покриттів;
3. кольорове анодування;
4. корозійностійкі покриття;
5. зносостійкість та змазка;
6. запобігання забруднення;
7. теплове відбивання та випромінювання.

В залежності від хімічного складу електроліту та режиму проведення електролізу одержують анодні покриття з різноманітними властивостями.

Перелік властивостей оксидних покриттів на алюмінію, які одержані методом анодування:

1. текстура;
2. відзеркалююча здатність;
3. корозійна стійкість;

4. колір;
5. зносостійкість;

Утворена анодна плівка може бути і щільною, і пористою. Щільні плівки використовуються для підвищення корозійної стійкості виробів та для електроізоляції. Пористі ж плівки виготовлять з метою подальшого фарбування деталей для закриття пор.

3.2.2. Підготовка поверхні деталі перед нанесенням гальванічного покриття

Однією з головних умов для одержання міцного зчеплення гальванічного покриття з основою деталі та зовнішнього вигляду виробу є висока чистота поверхні оброблюваної деталі, що забезпечується підготовчими операціями перед процесом нанесенням гальванічного покриття. Поверхня оброблювальних деталей буває забруднена неорганічними (оксиди, солі, гідроксиди) і органічними (природні жири, мінеральні масла) речовинами. В залежності від типу забрудненості поверхні використовують різні механічні, хімічні, електрохімічні способи підготовки поверхні [8-10].

Механічна обробка

У технологічному процесі передбачається попередня механічна обробка деталей, що дозволяє значно зменшити дефекти пресування (смуги, риски, подряпини і т.і.) та отримати максимально однорідну матову поверхню. В проєкті пропонується використовувати дробструменева обробка, яку проводять за допомогою абразивів різного діаметру, виготовлених зі сталі.

Знежирення та травлення

Знежирення є обов'язковою операцією, тому що вона знімає з деталей залишки масла, жиру та інші поверхневі забруднення. Операція травлення як правило, проводиться після операції знежирення з метою знаття оксидних плівок, іржі та інших сполук, які утворюються на поверхні в результаті

взаємодії з навколишнім середовищем, а також різної обробки в процесі виготовлення.

З метою здешевлення витрат на підготовку деталей перед анодуванням можливо поєднання даних операцій з використанням розчину для одночасного знежирення та травлення алюмінію наступного хімічного складу:

Кислота сульфатна (конц.) – 5-6 мл/л;
композиція «ЕКОМЕТ-А006» - 35-40 мл/л.

Режим проведення обробки: температура розчину 20-35°C, час обробки 3-15 хв.

Після такої обробки не потрібно проводити освітлення алюмінію в розчині нітратної кислоти, що досить суттєво спрощує технологічний процес [6,7].

Промивка

Після операцій знежирення і травлення деталі промивають спочатку в гарячій, а потім два рази в холодній проточній воді для видалення з поверхні металу залишків забруднень й хімічних реагентів, а після механічної обробки промивають тільки холодною водою. Ця операція проводиться 0,25-0,5 хв.

3.2.3. Вибір електроліту для нанесення гальванічного покриття

Процес оксидування алюмінію проводять в розчинах H_2SO_4 або H_2CrO_3 ; при цьому оброблювальні деталі піддаються анодній поляризації. При анодному оксидуванні відбуваються два процеси: утворення оксидної плівки на поверхні алюмінію та її розчинення з іншого (зовнішнього) боку. Головною умовою росту оксидної плівки являється виникнення пор у результаті взаємодії цієї оксидної плівки з кислотою та протіканні струму [8].

Таблиця 3.1.

Характеристика електролітів для анодування алюмінію

Електроліт	$t, ^\circ C$	$i, A/dm^2$	U, B	$\tau, хв$	$\delta, мкм$
сульфатний	13...23	0,8...2,0	< 24	15...60	~ 35

сульфосаліциловий	5...15	1,5	70...85	100	< 20
хромовокислий	34...42	0,2...2,5	< 40	55...65	3
для твердого анодування	-2...+5	0,5	25...80	90...120	30...50
для товстошарового анодування	0...7	0,5...2,5	< 90	-	20...100
ортофосфатний	18...25	10...50	-	10	1
для молочного анодування	18...30	0,5...2,5	90...110	60...120	3...5

При анодуванні в сульфатній кислоті можливо отримати напівпрозорі безбарвні покриття. Такі види покриттів, оброблені та ущільнені, використовуються для декоративних цілей та як спосіб захисту від корозії. Зовнішній вигляд цих покриттів суттєво залежить від попередньої обробки виробів.

«Блискуче анодування» отримують попереднім глянцюванням деталей.

При досить низьких температурах (-5...+5°C) процес з використанням сульфатної кислоти, який дозволяє отримати доволі тверді покриття («тверде анодування»), отримав в промисловості досить широке поширення [12].

Розчини електролітів, що містять у своєму складі щавлеву кислоту, дозволяють одержувати тверді покриття жовтуватого кольору, які потім використовують в будівництві. Зносостійкість таких покриттів при навантаженні тертям у 2 рази є вищою за зносостійкість покриття, одержаного анодуванням у сульфатній кислоті.

Використання хромової кислоти дозволяє утворити тонкі покриття непрозорого сірого кольору. Рекомендовано застосовувати хромову кислоту при обробці комплектуючих деталей для літаків, тому що вона забезпечує якісну основу для подальшого фарбування; розчинення ж алюмінію при використанні цієї кислоти незначне, це зменшує втрати металу в напружених ділянках; а у випадку неповної очистки поверхні металу від хромової кислоти ймовірність корозії заклепувальних та нахлестних з'єднань є нижчою, аніж при сульфатній кислоті [13].

У порівнянні з анодними покриттями одержаними на основі сульфатної кислоти, покриття утворені в фосфорній кислоті мають більший діаметр пор, що надає кращої провідності. Саме цей факт пояснює застосування

покриттів, отриманих з фосфорної кислоти, у якості одного з стадій попередньої обробки алюмінію перед гальванічним покриттям. На підприємстві чітко регламентований процес анодування при використанні даної кислоти, який розрахований на підготовку алюмінію для клейових з'єднань різних деталей літаків. Процес із застосуванням фосфорної кислоти рідко використовується для одержання зовнішнього покриття через значну кількість інших, більш зручних процесів [4-8].

Електроліти, що використовуються для інтегрального кольорового анодування. Цей метод анодування застосовують в органічних кислих розчинах, які як правило містять невеликі домішки сульфатної кислоти. Зносостійкість таких покриттів, отриманих на основі таких розчинів, при навантаженні тертям більше ніж в 2 рази є вищою в порівнянні з покриттями на основі сульфатної кислоти, а колір змінюється від блідо-золотого до бронзового та чорного. Кольорове анодування цього типу досить широко використовується при виробництві вікон, вітрин магазинів та карнизів. Покриття такого типу забезпечують високу стійкість кольору, саме тому вони рекомендуються для довготривалої експлуатації на вулиці.

Наведені вище кислі розчини мають відповідний вплив на оксидні покриття. Утворена на поверхні поруватість дозволяє одержувати покриття відносно великої товщини. Такі нерозчинні електроліти, як борна кислота та/або виннокислий амоній, забезпечують осадження тонких, непроникних покриттів із бар'єрними шарами, що володіють електричними властивостями, які придатні для використання в кондиціонерах [14].

Для процесу анодування алюмінію було вибрано сульфатний електроліт наступного складу:

кислота сульфатна– 150-170 г/л;

композиція «ЕКОМЕТ-А200» – 22-27 г/л.

Режим обробки: температура 18-22°C, анодна густина струму 1-1,5 А/дм².

Такий складу електроліт призначений для утворення безбарвних плівок на поверхні алюмінію. Наявність в розчині спеціальної добавки «ЕКОМЕТ-А200» дозволяє підтримувати концентрацію алюмінію на рівні 10 г/л, що забезпечує тривалий термін служби електроліту за рахунок осадження надлишкового алюмінію [7-8].

3.2.4. Приготування електроліту

Попередньо розраховану кількість сульфатної кислоти (густиною 1,84 г/см³) вливають в робочу ємність із холодною водопровідною водою, ретельно перемішують. Після цього в отриманий розчин додають розраховану кількість композиції «ЕКОМЕТ-А200».

Допустимий вміст домішок у електроліті анодування наступний г/л: алюміній - 30, магній -5, хлор (в перерахунку на хлорид натрію) - 0,1, мідь - 0,2.

3.2.5. Дефекти покриття та способи їх усунення

Таблиця 3.2.

Дефекти покриттів на алюмінію та способи їх усунення

Характер дефектів	Причини появи	Способи усунення
Відсутність плівки на окремих ділянках деталі	Поганий контакт деталі з підвіскою	Покращити контакт; Змінити конструкцію підвіски
Веселкова тонка плівка	Поганий контакт деталі з підвіскою	Забезпечити міцний та надійний контакт
Рихла та мажуча плівка	Підвищення температури електроліту (вище 23°C)	Знизити температуру електроліту до відповідного значення
Непрозора матова анодна плівка	Збільшена густина струму та температура електроліту; Велика тривалість анодування	Вести процес відповідно до даного технологічного регламенту
Збільшена хрупкість плівки	Температура електроліту нижче 15°C	Підвищити температуру розчину до 18-20°C
Розтравлення окисованої поверхні	Збільшена концентрація сульфатної кислоти в електроліті; Підвищена температура розчину (більше 23°C); Велика тривалість процесу	Відкоригувати розчин та проводити процес відповідно до режиму
Поява на	Погана промивка після	Покращити та пришвидшити

оксидованих деталях місцевого розтравлення	оксидування; Відсутність нейтралізації	промивку після анодування; Проводити нейтралізацію
Сірий порошкоподібний наліт на оксидованих деталях	Погана механічна очистка деталей перед оксидуванням	Покращити очистку деталей перед оксидуванням
Рихла плівка, яка починає злазити	Накопичення в електроліті іонів алюмінію вище 30 г/л	Осадити алюміній у вигляді порошку, додаючи композицію «ЕКОМЕТ-А200»; Замінити електроліт

Неякісні анодні покриття не можуть бути перероблені. Дефекти можна усунути тільки шляхом їх зняття та повторного анодування. Неякісні покриття як правило знімають розчинах, що містять гідроксид натрію або калію [14].

3.2.6. Катоди

У якості катодів для даного процесу використовують конструкційну високолеговану, корозостійку, жаростійку та жароміцну листову сталь марки 12Х18Н9Т.

3.2.7. Вибір та обґрунтування завершальних операцій

Подвійна холодна промивка

Проводиться в холодній непроточній воді при температурі $20 \pm 5^\circ\text{C}$ протягом 0,25-0,5 хв.

Гаряча промивка

Проводиться при температурі $80 \pm 10^\circ\text{C}$ в демінералізованій воді протягом 30-60 хв (значення рН підтримується в межах 5,6-5,8).

Сушка

Проводиться в термоконвекційній камері при температурі $90 \pm 10^\circ\text{C}$.

3.3. Вибір та розрахунок обладнання для нанесення гальванічних покриттів.

3.3.1. Визначення дійсного фонду часу роботи обладнання

Номінальний фонд часу роботи (річний) обладнання T_n при переривчастому виробництві розраховують виходячи з кількості календарних днів у році (365) за вирахуванням вихідних (104) та святкових (10) днів, які при п'ятиденному робочому тижні тривалістю у 41 год. і двозмінній роботі за вирахуванням 6 год. у передсвяткові дні складає приблизно:

$$T_n = \left(\frac{(365-104-10) \cdot 41}{5} - 6 \right) \cdot 2 = 4104,4 \text{ год}$$

Дійсний річний фонд часу роботи обладнання T_d визначають, виходячи з T_n з врахуванням загальних річних витрат часу на неминучі простої обладнання ($K_{пр}$), які у гальванічному виробництві при роботі неавтоматизованого, немеханізованого обладнання й стаціонарних ванн, яке працюють у дві зміни становить 3 % від T_n .

$$T_d = T_n - K_{пр} \cdot T_n = 4104,4 - 0,03 \cdot 4104,4 = 3981,3 \text{ год}$$

3.3.2. Визначення виробничої програми обладнання

Для визначення річної програми P_p річне виробниче завдання P_3 необхідно збільшити на величину браку виробів (виправного), яке складає зазвичай 0,5-3 % від $P_3 = 18\,000 \text{ м}^2/\text{рік}$:

$$P_p = P_3 + K_{бр} \cdot P_3 = 18000 + 0,02 \cdot 18000 = 18360 \text{ м}^2/\text{рік}.$$

Добова виробнича програма $P_{доб}$ становить:

$$P_{доб} = \frac{P_p}{T_{доб}} = \frac{18360}{251} = 73,15 \text{ м}^2/\text{день},$$

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

Годинна виробнича програма P_r визначається як:

$$P_r = \frac{P_p}{T_o} = \frac{18360}{3981,3} = 4,61 \text{ м}^2/\text{год}.$$

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

Враховуючи те, що покриття наноситься на крупні деталі, у проєкті було обрано стаціонарний електролізер. Матеріал ванни – поліпропілен. Також ванна повинна мати 2 анодні штанги.

Для розрахунку необхідного обладнання необхідно знати:

- річну виробничу програму, $P_p = 18\,360 \text{ м}^2/\text{рік}$;
- час проведення обробки однієї завантажувальної одиниці (деталі на підвісці) з врахуванням часу на завантаження та вивантаження τ , хв;
- товщина покриття на деталях, $\delta = 15 \text{ мкм}$;
- габаритні розміри деталі, $6000 \times 100 \times 50 \text{ мм}$.

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

$$\tau = \tau_m + \tau_{об},$$

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

$$\tau'_m = \frac{\delta \cdot d_m \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{B_c \cdot K_e \cdot i_a} = \frac{15 \cdot 3,5 \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{0,4 \cdot 0,634 \cdot 1,5} = 82,8 \text{ хв},$$

де d_m – густина покриття, г/см^3 ; B_c – анодний вихід за струмом; K_e – електрохімічний еквівалент, г/А год ; i_a – середня анодна густина струму, А/дм^2 .

Отже, тривалість обробки однієї завантажувальної одиниці становить:

$$\tau = 82,8 + 2 \approx 85 \text{ хв}.$$

Витрати часу на початковий запуск обладнання, кінцевого вивантаження ванни та на допоміжні операції розраховуємо за допомогою коефіцієнта $K_{об}$, для роботи у дві зміни $K_{об} = 1,04$.

На основі дійсного фонду річного часу роботи обладнання T_d та тривалості обробки одного завантаження ванни τ визначають кількість оброблюваних завантажень n :

$$n = \frac{T_d \cdot 60}{\tau \cdot K_{об}} = \frac{3981,3 \cdot 60}{85 \cdot 1,04} = 2702.$$

Тоді разове завантаження усіх ванн $Y_c, м^2$:

$$Y_c = \frac{P_p}{n} = \frac{18360}{2702} = 6,79.$$

Після цього, в залежності від розмірів деталей, які передбачається обробляти проводять розрахунок нового обладнання.

Розрахунок нового обладнання

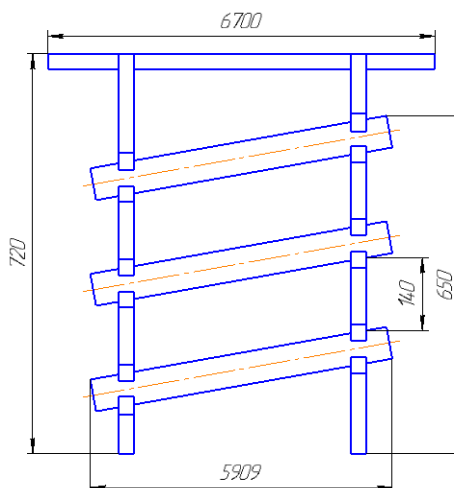


Рис. 3.2. Схема розташування деталей на підвісі

Метою цього розрахунку є встановлення габаритних розмірів нового обладнання для можливості виконання річного завдання, величини одноразового завантаження, кількості самих ванн та коефіцієнт їх завантаження.

Вихідними даними для розрахунків є габаритні розміри деталей (6000x100x50 мм) та габаритні розміри підвіски з деталями (6700x50x720 мм).

Розрахунок габаритних розмірів ванни:

- внутрішня довжина ванни, м:

$$l = l_n + 2l_1 = 6,7 + 2 \cdot 0,1 = 6,9,$$

де l_n – довжина підвіски, м; l_1 – відстань від краю підвіски і борта ванни, приймають 0,10...0,15 м.

- внутрішня ширина ванни B , м:

$$B = B_n + 2l_{a-k} + 2B_k + 2B_1 = 0,05 + 2 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,05 + 2 \cdot 0,01 = 0,57 \approx 0,6,$$

де B_n – товщина підвіски з деталями, м; l_{a-k} – відстань між катодом і ближнім краєм підвіски з деталями, приймають 0,10-0,25 м; B_1 – відстань між катодом і боковою стінкою ванни, приймають у межах 0,05-0,10 м; B_k – товщина катодів, 0,01 м.

- внутрішня висота ванни h , м:

$$h = h_1 + h_2 + h_3 + h_n = 0,15 + 0,15 + 0,15 + 0,72 = 1,17 \approx 1,2,$$

де h_n – висота підвіски, м; h_1 – відстань від дна ванни до нижнього краю підвіски, складає 0,15-0,20 м; h_2 – відстань від верхнього краю підвіски до дзеркала електроліту, приймають 0,15 м; h_3 – відстань від дзеркала електроліту до верхнього краю бортів ванни, приймають у межах 0,15-0,30 м.

Одноразово у ванну завантажується одна підвіска, на яку закріплено 3 деталі, тому сумарна поверхня деталей одноразового завантаження у ванну складе, м²:

$$S_{O3} = S_d \cdot n_d = 2,4 \cdot 3 = 7,2,$$

де S_d – поверхня однієї деталі, м²; n_d – кількість деталей на підвісці.

Кількість ванн n_v :

$$n_v = V_c / S_{O3} = 7,17 / 7,2 = 0,999 \approx 1 \text{ шт.}$$

Виходячи із визначеної кількості ванн, річна продуктивність обраного обладнання, P_p' :

$$P_p' = S_{O3} \cdot n_v \cdot \frac{T_d \cdot 60}{\tau \cdot K_{об}} = 7,2 \cdot 1 \cdot \frac{3981,3 \cdot 60}{85 \cdot 1,04} = 19454,4 \text{ м}^2.$$

Коефіцієнт завантаження обладнання:

$$K_{зав} = \frac{P_p}{P_p} \cdot 100 = \frac{18360}{19454,4} \cdot 100 = 94,4 \%$$

Обрана ванна повинна мати наступні габаритні розміри, мм:

- довжина – 6900;
- ширина – 600;
- висота – 1200.

3.3.4. Баланс струму на гальванічній ванні

Проводимо розрахунок сили струму на ванні, який необхідний для подальшого вибору джерела живлення постійним струмом. В багатопозиційній ванні живлення для кожної технологічної позиції здійснюється від окремого випрямляча. Силу струму I , А на одній технологічній позиції ванни розраховують як добуток величини гранично допустимої технологічної густини струму на аноді $i_{a(\max)}$, А/м² на площу деталей одноразового завантаження S_{03} , м²:

$$I = K \cdot i_{a(\max)} \cdot S_{03},$$

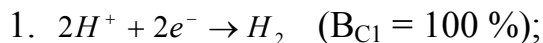
де коефіцієнт K враховує втрати електрики на контактах підвісного пристрою, вибирають його у межах $K = 1,03-1,15$.

Для розрахунків рекомендують вибирати верхнє допустиме за технологією значення анодної густини струму.

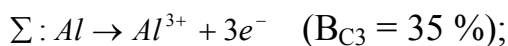
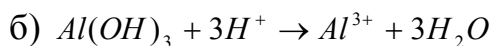
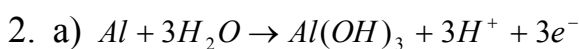
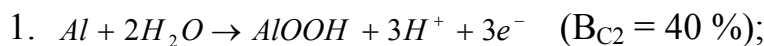
$$I = 1,05 \cdot 150 \cdot 7,2 = 1134 \text{ А.}$$

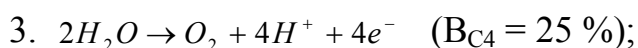
При анодуванні на електродах проходять наступні процеси:

на катоді:



на аноді:





Так як на катоді відбувається одна реакція із стовідсотковим виходом, то на неї витрачається 1134 А струму.

Струм, що витрачається на проходження анодних процесів:

$$I_2 = I \cdot B_{c2} = 1134 \cdot 0,4 = 453,6 \text{ А};$$

$$I_3 = I \cdot B_{c3} = 1134 \cdot 0,35 = 396,9 \text{ А};$$

$$I_4 = I \cdot B_{c4} = 1134 \cdot 0,25 = 283,5 \text{ А}.$$

Таблиця 3.3.

Баланс електрики ванни анодування на годину

Надходження	Q, А·год	%	Витрати	Q, А·год	%
Катодний процес: від зовнішнього джерела струму	1134	100	виділення водню	1134	100
Разом	1134	100	Разом	1134	100
Анодний процес: від зовнішнього джерела струму	1134	100	утворення оксидної плівки	453,6	40
			розчинення алюмінію	396,9	35
			виділення кисню	283,5	25
Разом	1134	100	Разом	1134	100

3.3.5. Баланс напруги на гальванічній ванні

Робоча напруга при заданій густині струму U_i є однією з основних енергетичних характеристик самої ванни. Тому, що вона визначає мінімальну величину напруги на джерелі струму $U_{дс}$, що обслуговує ванну. Знаючи величину струму та напруги на джерелі струму, розраховують електричну потужність, що витрачається на електроліз.

Напруга на ванні з підвісним пристроєм U_{δ} визначається за формулою:

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

де $E_a - E_k$ – різниця електродних потенціалів анода і катода під струмом;
 $\Delta U_{ом}$ – омичне падіння напруги в електроліті; ΔU_I – падіння напруги у

провідниках першого роду (електродах, струмовідводах у ванні, штангах);
 ΔU_k – падіння напруги на контактах.

Падіння напруги в контактах та провідниках складає 10% від загальної.

Різниця потенціалів під струмом становить:

$$E_a - E_k = 13,5 - 0 = 13,5 \text{ В.}$$

При середній густині струму, яка проходить через електроліт:

$$i_{cp} = \sqrt{i_k \cdot i_a} = \sqrt{150 \cdot 75} = 108,9 \text{ А/м}^2.$$

Омічне падіння напруги в електроліті ΔU_{om} В розраховують за формулою:

$$\Delta U_{om} = K \cdot i_{cp} \cdot l_{a-k} \cdot \rho_e = 1,15 \cdot 108,9 \cdot 0,2 \cdot 0,0205 = 0,51 \text{ В,}$$

де K – коефіцієнт, що враховує збільшення опору за рахунок газонаповнення ($K = 1,15$), ρ_e – питомий електричний опір електроліту, Ом·м.

Тоді загальна напруга на ванні U :

$$U = \frac{E_a - E_k + \Delta U_{om}}{0,9} = \frac{13,5 + 0,51}{0,9} = 15,6 \text{ В.}$$

Сума падіння напруги на електродах, провідниках та контактах ванни:

$$\Delta U_l + \Delta U_k = 0,1 \cdot U = 0,1 \cdot 15,6 = 1,56 \text{ В.}$$

Мінімальна напруга на джерелі струму U_{dc} складається з суми напруги на ванні U та падіння напруги в шинопроводах від джерела струму до ванни:

$$U_{dc} = 1,1 \cdot U = 1,1 \cdot 15,6 = 17,16 \text{ В.}$$

Таблиця 3.4.

Баланс напруги на ванні анодування

Надходження	U, В	%	Витрати	U, В	%
Напруга на ванні	15,6	100	Різниця потенціалів під струмом $E_a - E_k$ Падіння напруги в електроліті ΔU_{om} Падіння напруги на електродах, контактах та провідниках $\Delta U_l + \Delta U_k$	13,5 0,51 1,56	86,7 3,3 10,0
Разом	15,6	100	Разом	15,6	100

3.3.6. Вибір джерела струму для гальванічної ванни

Джерело постійного струму обирають, виходячи з сили струму та напруги на ванні та із урахуванням падіння напруги в шинопроводах.

Для обраного випрямного агрегату визначають коефіцієнт завантаження:

$$K = \frac{N_{dc}}{N_{пасп}},$$

де N_{dc} – потужність, необхідна для виконання річної програми, кВт; $N_{пасп}$ – паспортна потужність вибраного агрегату.

В проєкті обрано випрямний агрегат серії Т (тиристорний) основного типу без додаткового обладнання, із згладжувальним реактором й пультом дистанційного управління, із можливим примусовим повітряним охолодженням та максимально допустимою напругою 24 В та струмом 1600 А: ТЕІ - 1600/24Т.

$$N_{dc} = U \cdot I \cdot 10^{-3} = 15,6 \cdot 1134 \cdot 10^{-3} = 17,69 \text{ кВт};$$

$$N_{пасп} = U \cdot I \cdot 10^{-3} = 24 \cdot 1600 \cdot 10^{-3} = 38,4 \text{ кВт}.$$

Для вибраного випрямного агрегату коефіцієнт завантаження становить:

$$K = \frac{N_{dc}}{N_{пасп}} = \frac{17,69}{38,4} = 0,46.$$

3.3.7. Визначення джоулевої теплоти, складання балансу енергії

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

$$W_{заг} = W_{хім} + W_{дж}.$$

Енергія $W_{хім}$ показує зміни матеріального балансу, які відбуваються в результаті проходження електрохімічних реакцій в електролізері, а енергія $W_{дж}$ витрачається на розігрівання електроліту та повинна бути врахована при складанні теплового балансу.

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

$$W_{заг} = 3,6 \cdot I \cdot U \cdot \tau / 60 = 3,6 \cdot 1134 \cdot 15,6 \cdot 58,4 / 60 \approx 61987 \text{ кДж}.$$

де $\tau = 60 \text{хв} \cdot 82,8 \text{хв} / 85 \text{хв} = 58,4 \text{ хв}$ – час роботи ванни під струмом за одну годину.

Енергію W_{xim} можна визначити за формулою, кДж:

$$W_{xim} = -3,6 \cdot I \cdot \tau \cdot 10^{-2} \frac{\sum v_i \cdot \Delta H_i^0 \cdot B_{ci}}{z_i \cdot F}$$

де $\sum \Delta H_i^0$ - зміна ентальпії усіх електрохімічних процесів, яка визначається за значеннями ентальпії вихідних реагентів та продуктів реакції за температури, яка відповідає процесу анодування із врахуванням стехіометричних коефіцієнтів v_i та виходу за струмом B_{ci} ; z_i – число електронів, які приймають участь у реакції. При розрахунку $\sum \Delta H_i$ для усіх процесів, які перебігають одночасно, приймаємо однакову направленість реакції. Тоді

$$\sum \Delta H_i = \sum v_{i_{вих}} \cdot \Delta H_{i_{вих}} - \sum v_{i_{кін}} \cdot \Delta H_{i_{кін}}$$

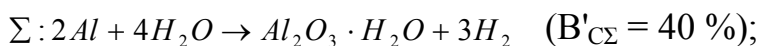
При одночасному проходженні декількох електрохімічних процесів, потрібно врахувати витрати хімічної енергії на всі процеси, що мають місце в системі, яку проектуємо.

Реакції утворення оксидної плівки:

на катоді:



на аноді:

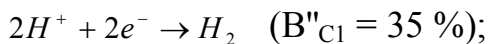


Зміна ентальпії для сумарної реакції, кДж/моль:

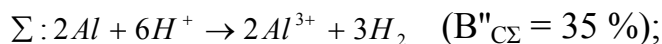
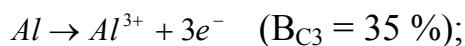
$$\Delta H_{1\Sigma} = 2\Delta H_{Al}^0 + 3\Delta H_{H_2O}^0 - \Delta H_{Al_2O_3}^0 - 3\Delta H_{H_2}^0 = 2 \cdot 0 + 3 \cdot (-285,84) - (-1675,7) - 3 \cdot 0 = 818,3.$$

Реакції окиснення алюмінію:

на катоді:



на аноді:

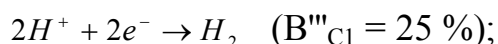


Зміна ентальпії для сумарної реакції, кДж/моль:

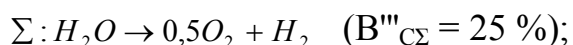
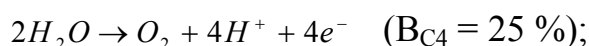
$$\Delta H_{2\Sigma} = 2\Delta H_{Al}^0 + 6\Delta H_{H^{+}}^0 - 2\Delta H_{Al^{3+}}^0 - 3\Delta H_{H_2}^0 = 2 \cdot 0 + 6 \cdot 0 - 2 \cdot (-529,6) - 3 \cdot 0 = 1059,2.$$

Решта електрохімічних процесів пов'язана з розкладанням води:

на катоді:



на аноді:



Зміна ентальпії для сумарної реакції, кДж/моль:

$$\Delta H_{3\Sigma} = \Delta H_{H_2O}^0 - 0,5\Delta H_{O_2}^0 - \Delta H_{H_2}^0 = -285,84 - 0,5 \cdot 0 - 0 = -285,84.$$

Звідки знаходимо, кДж/год:

$$W_{дж} = 3,6 \cdot I \cdot \tau \cdot \left(U + \sum \frac{10^{-2} \cdot \sum v_i \cdot \Delta H_i^0 \cdot B_{ci}}{z_i \cdot F} \right) =$$

$$= 3,6 \cdot 1134 \cdot \frac{58,4}{60} \cdot \left(15,6 + \frac{818,3 \cdot 0,4}{6 \cdot 96,5} + \frac{1059,2 \cdot 0,35}{6 \cdot 96,5} - \frac{285,84 \cdot 0,25}{2 \cdot 96,5} \right) = 65306,4$$

Хімічна енергія:

$$W_{хим} = W_{заг} - W_{дж} = 61987 - 65306,4 = -3319,4 \text{ кДж/год.}$$

Результати розрахунку наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5.

Баланс енергії на ванні

Надходження	W, кДж	%	Витрати	W, кДж	%
Електрична енергія від джерела струму	61987	100	Джоулеве тепло	66101,11	105,35
			Хімічна енергія	-3319,4	-5,35
Разом	61987	100	Разом	61987	100

3.3.8. Тепловий розрахунок гальванічних ванн

Під час нанесення покриттів виділяється значна кількість джоулевої теплоти, що призводить до розігріву електроліту вище межі допустимої температури. Метою наступних розрахунків є визначення максимально можливої температури, до якої можна розігріти ванну за одну годину роботи. При цьому припускають, що вся джоулева теплота витрачається виключно на розігрів ванни та не втрачається у навколишнє середовище.

Максимально допустиму температуру розігріву ванни $t_k^{\circ}\text{C}$ визначаємо за формулою:

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

де $C_1 = 3960 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ – теплоємність електроліту; $d_1 = 1116 \text{ кг/м}^3$ – густина електроліту; $C_2 = 1700 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ – теплоємність корпусу ванни; $m_2 = 390 \text{ кг}$ – маса ванни; $C_3 = 460 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ – теплоємність катодів; V_1 – об'єм електроліту, м^3 ; m_3 – маса катодів, кг .

$$V_1 = K_{\text{зап}} \cdot V_{\text{ванни}} = 0,9 \cdot 6,9 \cdot 1,2 \cdot 0,6 = 4,47 \text{ м}^3;$$

$$m_3 = K_1 \cdot K_2 \cdot n_{\text{кш}} \cdot l_{\text{в}} \cdot h_{\text{в}} \cdot \delta_{\text{а}} \cdot d_{\text{а}} = 0,6 \cdot 0,8 \cdot 2 \cdot 6,9 \cdot 1,2 \cdot 7900 \cdot 0,01 = 628 \text{ кг},$$

де $K_{\text{зап}}$ – коефіцієнт заповнення ванни ($K_{\text{зап}} = 0,9$); K_1 – коефіцієнт, що враховує співвідношення сумарної ширини катоду до довжини ванни (приймають $K_1 = 0,6$); K_2 – коефіцієнт, який враховує співвідношення катодів та висоти ванни (приймають $K_2 = 0,8$); $n_{\text{кш}}$ – кількість катодних штанг у ванні; $l_{\text{в}}$ – внутрішня довжина ванни, м ; $d_{\text{а}} = 7900 \text{ кг/м}^3$ – густина матеріалу катодів; $h_{\text{в}}$ – висота ванни, м ; $\delta_{\text{а}}$ – товщина катодів, м .

$$t_k^{\circ} = 20 + \frac{61987000}{4,47 \cdot 3960 \cdot 1116 + 1700 \cdot 390 + 460 \cdot 628} = 21,99^{\circ}\text{C}.$$

Виходячи з наведених розрахунків, розігрів електроліту не перевищує технологічного регламенту і тому, устаткування для охолодження враховувати не потрібно, а процес анодування алюмінію буде проходити без підведення тепла ззовні при кімнатній температурі.

3.3.9. Розрахунок витрат матеріалів

Розрахунок витрат всіх матеріалів здійснюють з метою визначення річної потреби виробництва у вихідній сировині й матеріалах для нанесення даного виду покриття. При розрахунках необхідної кількості катодів, хімічних реагентів, води та інших матеріалів виходять із того, що ці витрати проводяться за такими статтями:

- на початковий запуск обладнання;
- на виконання річної програми виробництва.

Розрахунок витрат катодів.

Розрахунок витрат розчинних та нерозчинних катодів на початковий запуск обладнання (кг) визначаються за формулою:

$$M_k = m_3 \cdot n_b = 628 \cdot 1 = 628 \text{ кг,}$$

де n_b – кількість ванн даного типу.

Витрати нерозчинних катодів на виконання річної виробничої програми зумовлені технологічними втратами, відходами й визначаються за формулою:

$$G_k = P_p \cdot A_n \cdot 10^{-3} = 18360 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} = 4,6 \text{ кг,}$$

де A_n - норма витрати нерозчинних катодів, $0,25 \text{ г/м}^2$.

Розрахунок витрат хімічних реактивів

Для ванн з нерозчинними катодами витрати хімічних реактивів (загальні) на проведення технологічного процесу розраховуються кількістю реагентів, які необхідні для приготування електроліту для початкового запуску обладнання та витрати реагентів на виконання річної програми: це винос електроліту з деталями, також винос електроліту у вентиляційні системи, коригування електроліту.

Витрати хімічних реактивів на початковий запуск обладнання

Витрати кожного реагента електроліту m_i (кг) визначаються за формулою:

$$m_i = C_i \cdot V_1 \cdot n_e,$$

де C_i – концентрація відповідного компонента електроліту, кг/м³.

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 150 \cdot 4,47 \cdot 1 = 670,5 \text{ кг};$$

$$m(\text{композиція «ЕКОМЕТ-А200»}) = 22 \cdot 4,47 \cdot 1 = 98,34 \text{ кг}.$$

Витрати хімічних реагентів на виконання річної програми

Розрахунок витрат кожного компонента проводиться за формулою:

$$G_i = C_i \cdot V_{\text{вт}},$$

де $V_{\text{вт}}$ – сумарний об'єм електроліту, який вноситься з ванни при виконанні річної виробничої програми, м³.

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

$$V_{\text{вт}} = 1,15 \cdot P_p \cdot A_e = 1,15 \cdot 19380 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} = 6,7 \text{ м}^3,$$

де коефіцієнт 1,15 – враховує площу занурюваної частини підвіски; A_e – норма витрат електроліту, який вноситься з деталями ($A_e = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^2$).

A_e не залежить від товщини покриття.

$$G(\text{H}_2\text{SO}_4) = 150 \cdot 6,7 = 1005 \text{ кг};$$

$$G(\text{композиція «ЕКОМЕТ-А200»}) = 22 \cdot 6,7 = 147,4 \text{ кг}.$$

Розрахунок витрат води

При виконанні річної програми виробництва вода витрачається на приготування електролітів та інших розчинів, на процес розкладання внаслідок електролізу, на випаровування частини води з поверхні електроліту, на промивку. У рамках даного дипломного проєкту обмежимося тільки витратами води тільки на процес гальванічного нанесення покриття та наступну промивку деталей.

Витрати води на приготування електроліту

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

$$G'_{H_2O} = C_{H_2O} \cdot V_{\text{заг}}$$

де C_{H_2O} – вміст води в одному м³ електроліту, кг/м³; $V_{\text{заг}}$ – сумарні витрати електроліту на виконання річної програми виробництва.

Величину C_{H_2O} можна визначати за формулою:

$$C_{H_2O} = d_1 - (C_1 + C_2 + \dots + C_n) = 1116 - (150 + 22) = 944 \text{ кг/м}^3,$$

де $C_1, C_2 \dots C_n$ – вміст компонентів в електроліті, кг/м³.

Сумарні витрати електроліту знаходять за формулою:

$$V_{\text{заг}} = V_1 \cdot n_e + V_{\text{ем}} = 4,45 \cdot 1 + 6,7 = 11,15 \text{ м}^3,$$

$$G'_{H_2O} = 944 \cdot 11,15 = 10525,6 \text{ кг.}$$

Витрати води на випаровування з поверхні електроліту

Такі витрати води $G_{H_2O}^{IV}$ (кг) розраховують за формулою:

$$G_{H_2O}^{IV} = \frac{45,6 \cdot K_b \cdot S_e (P_s - P_n) \cdot T_d \cdot n_e}{P_0},$$

де 45,6 – коефіцієнт пропорційності, кг/м²·год; K_b – коефіцієнт, величина якого залежить від швидкості руху повітря над дзеркалом електроліту ($K_b = 0,56$); S_e – поверхня дзеркала електроліту ($S_e = 4,14 \text{ м}^2$); P_n – парціальний тиск водяної пари за температури та вологості навколишнього середовища.

Величину P_n визначають за формулою:

$$P_n = \frac{P_s \cdot \varphi}{100} = \frac{3173 \cdot 70}{100} = 2221,1 \text{ Па,}$$

де $P_s = 3173 \text{ Па}$ – тиск насиченої водяної пари за температури навколишнього середовища повітря; $\varphi = 70\%$ – вологість повітря в умовах цеху.

$$G_{H_2O}^{IV} = \frac{45,6 \cdot 0,56 \cdot 4,14 \cdot (3173 - 2221,1) \cdot 3981,3 \cdot 1}{101308} = 3954,81 \text{ кг.}$$

Витрати води на промивні операції

При двоступінчастому промиванні витрати води на 1 годину роботи розраховуються за формулою:

$${}_2V_{\text{год}} = A_e \cdot \sqrt{K} \cdot P_{\Gamma},$$

де $A_e = 0,3 \text{ дм}^3/\text{м}^2$ – норми виносу розчину з ванни поверхнею деталей;
 $P_{\Gamma} = 4,87 \text{ м}^2/\text{год}$ – годинна виробнича програма ванни; K – критерій остаточного промивання деталей:

$$K = \frac{C_0}{C_k},$$

де C_0 – концентрація компонента у ванні, після якого проводиться промивка, $\text{г}/\text{дм}^3$; C_k – гранично допустима концентрація компонента у воді після промивання, $0,1 \text{ г}/\text{дм}^3$.

Отже, критерій остаточного промивання деталей складає:

$$K = \frac{150}{0,1} = 1500,$$

Тоді, погодинна витрата води складає:

$${}_2V_{\text{год}} = 0,3 \cdot \sqrt{1500} \cdot 4,87 = 56,6 \text{ дм}^3/\text{год}.$$

Сумарні витрати води на промивання при виконанні виробничої програми визначаємо за формулою:

$$V_{\text{сум}} = {}_2V_{\text{год}} \cdot T_{\partial} \cdot 1,5 = 56,6 \cdot 3981,3 \cdot 1,5 = 338012,37 \text{ дм}^3,$$

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

Висновки до розділу. У розділі проведені конструктивні та технологічні розрахунки, вибране відповідне обладнання, розроблена схема автоматичного регулювання процесу анодування.

Розділ 4. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА НА ГАЛЬВАНІЧНОМУ ВИГОННИЦТВА ТА ОЧИСТКА СТІЧНИХ ВОД

4.1. Призначення процесу очистки стічних вод

Стічні води гальванічного виробництва та використання інших видів хімічної та електрохімічної обробки металів можуть містити різні токсичні хімічні продукти. Скидання таких розчинів у відкриті водойми та/чи міські каналізаційні мережі без відповідного очищення є недопустимим.

На розробленому виробництві основними забруднювачами стічних вод є іони алюмінію, органічні кислоти, гідроксид натрію та мінеральні кислоти. Хоча алюміній дуже розповсюджений в природі, він не приймає участі в метаболізмі живих організмів. Алюміній має слабку токсичну дію, але багато розчинних сполук алюмінію можуть залишатись в розчиненому вигляді довгий час та негативно впливати на здоров'я людей та теплокровних тварин через воду. Найбільш токсичні нітрати, ацетати та сульфати цього металу. ГДК сполук алюмінію у водоймах побутового користування становить 0,2 мг/дм³ [15, 16].

4.2. Методи очистки стічних вод, що містять кислоти, луги, завислі частинки

В цьому випадку очищення стічних вод проводять в наступному порядку:

- вилучення металічного алюмінію із електроліту та ванни промивання після механічної обробки;
- іонне очищення стічних вод.

4.2.1. Вилучення металічного алюмінію

Ця операція потрібна для електроліту анодування та промивних вод після операції механічної обробки деталей. Промивні води спочатку випарюють, а потім змішують з відпрацьованим електролітом та потрапляють

на механічний фільтр, де і відбувається відділення рідкої від твердої фази. Відділений осад висушують в сушильній камері при температурі $90 \pm 10^\circ\text{C}$ й далі відправляється на процес вторинної переробки.

4.2.2. Очищення стічних вод

Промивні води і відпрацьований електроліт після процесів нанесення анодного покриття та освітлення утворюють групу кислих стічних вод. Промивні води після операцій знежирення та травлення утворюють групу лужних стічних вод. Також в стічних водах обох груп містяться йони алюмінію, міді та магнію. Лужні води характеризуються високим рН 10-12 та містять фосфати і силікати. Кислі води забруднені органічними та мінеральними кислотами (рН 2-5). Концентрація іонів металів становить приблизно до 100 мг/дм^3 для Al^{3+} та до $1,5 \text{ мг/дм}^3$ для Mg^{2+} та Cu^{2+} . При змішуванні стічних вод з різних технологічних ліній досягається попередня часткова нейтралізація. Перед скиданням стічних вод в міську каналізацію необхідно провести корекцію рН до допустимого нормативно технічними документами значення 6,5-8,5. Рекомендується використання саме реагентної очистки стічних вод [16]. За допомогою цього методу можливо знизити концентрацію домішок до рівня їх ГДК та зруйнувати органічну складову забруднення. Даний метод очищення стічних вод оснований на реакціях окислення, відновлення, нейтралізації, коагуляції та осадження. При обробці стоків токсичні речовини розкладаються утворюючи малотоксичні сполуки, які знешкоджуються разом з процесом утворення осаду. Цей метод дозволяє обробляти воду з великою кількістю домішок, а також є досить простим при експлуатації. При досягненні рН 4, починає утворюватись гідроксид алюмінію, що випадає в осад, при рН 5,2, концентрація йонів металу в розчині досягає мінімального значення. Стічні води поступають в бак усереднювач, де змішуються кислі та лужні стоки, оскільки у виробництві використовуються розчини органічних кислот проводиться обробка розчином перекису водню для їх руйнування встановлення необхідного рН

(5,2), після чого стоки потрапляють у відстійники для освітлення. Далі стічні води фільтруються від механічних домішок, корегують рН до значень 6,5-8,5 та зливаються в каналізацію. Схему очистки води подано на рис. 4.1.

4.3. Розрахунок скиду хімікатів в очисні споруди анодування

Розрахунки викидів по кожному реагенту для ванни анодування за рік:

$$G_i = \frac{C_i \cdot A_e \cdot P_p}{1000}, \text{ кг}$$

де C_i – концентрація компонента у ванні промивання, A_e - норма виносу електроліту з ванни; P_p – річна виробнича програма.

Нітрат срібла: $A_e=0,3 \text{ дм}^2/\text{м}^2$, $C(\text{H}_2\text{SO}_4) = 150 \text{ г/л}$,

$$G_{\text{AgCl}} = \frac{150 \cdot 0,3 \cdot 19380}{1000} = 872,1(\text{кг}).$$

Гексаціаноферат калію: $A_e=0,3 \text{ дм}^2/\text{м}^2$, C (композиція «ЕКОМЕТ-А200») = 22 г/л,

$$G_{\text{композиції}} = \frac{22 \cdot 0,3 \cdot 19380}{1000} = 127,91(\text{кг}).$$

4.4. Технологічна схема очищення води

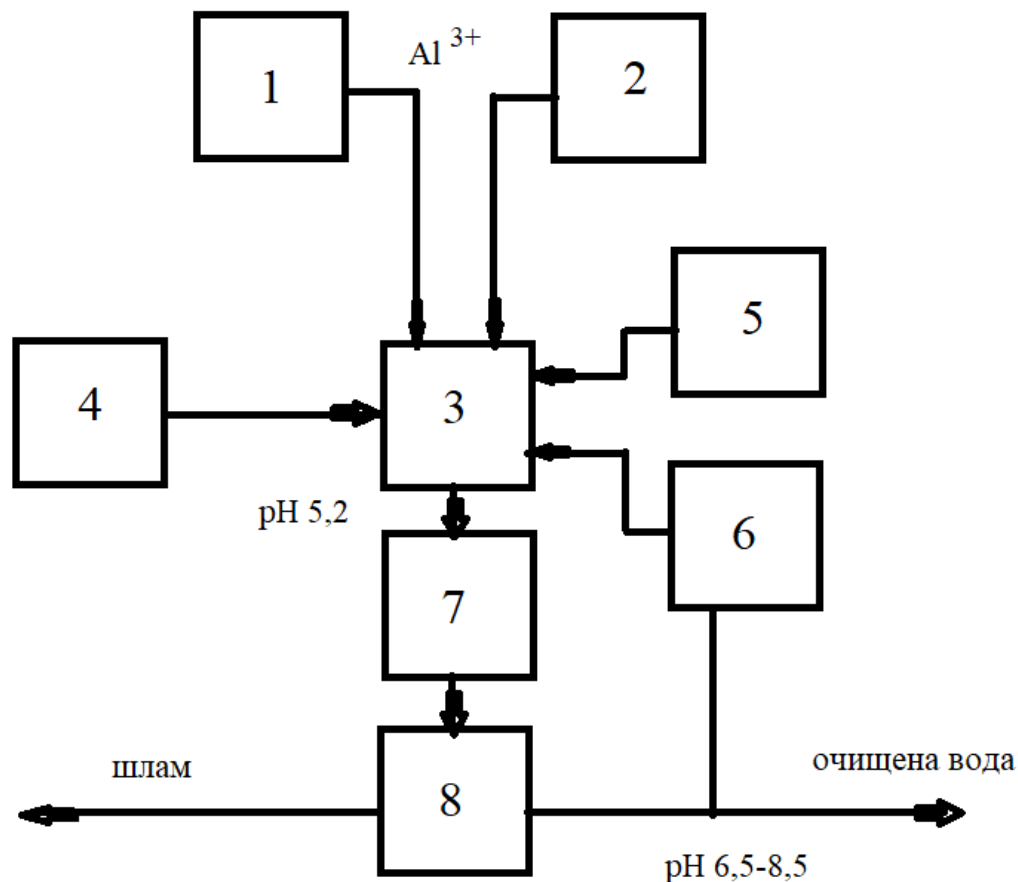


Рис. 4.1. Принципова схема очищення стічних вод гальванічного цеху: 1 – накопичувач кислих стоків; 2 – накопичувач лужних стоків; 3 – реактор нейтралізатор; 4 – дозатор H_2O_2 ; 5 – дозатор кислоти; 6 – дозатор лугу; 7 – відстійник; 8 – механічний фільтр.

Висновки до розділу. У розділі розглянуті методи очищення стічних вод, що містять кислоти, луги та завислі частинки та запропонована схема очистки стічних вод.

Розділ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

При реалізації даного дипломного проєкту, в процесі анодування алюмінію, який відбувається в цеху нанесення гальванічних покриттів, використовуються різні шкідливі, хімічно-агресивні, пожежо- та вибухонебезпечні речовини та матеріали; також передбачено застосування механічної, електричної, теплової енергії й енергії стисненого повітря.

Проєкт виконаний із урахуванням вимог техніки безпеки та пожежної безпеки. У даному розділі на основі існуючих даних атестації робочого місця запропоновані заходи, які спрямовані на створення здорових та безпечних умов праці і забезпечення пожежної безпеки на проєктованому об'єкті.

5.1. Аналіз умов праці на робочому місці

Згідно ДСН 3.3.6.042 – 99, робота віднесена до категорії середньої тяжкості Пб.

Таблиця 5.1.

Санітарні норми параметрів мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °С				Відносна вологість %		Швидкість руху, м/с		
		оптимальна	допустима				оптимальна	допустима на робочих місцях постійних і непостійних, не більш	Оптимальна, не більш ніж	допустима на робочих місцях постійних і непостійних, не більш
			Верхня межа		Нижня межа					
			На робочих місцях							
Постійних	Непостійних	Постійних	Непостійних							
Холодний	Середньої тяжкості – П-б	17-19	21	23	15	13	40-60	75	0,2	До 0,4
Теплий		20-22	27	29	15	15	40-60	70 (при 25°С)	0,3	0,2-0,5

Коротка санітарна характеристика цеху, що проектується

Ванна анодування	Ванна знежирення та травлення	1	Назва виробничої ділянки, лабораторії, установки
H ₂ SO ₂ Випаровування з поверх по електроду	«ЭКОМЕТ-А006» Випаровування з поверхні розчину	2	Шкідливі речовини, що виділяються. Причини їх виділення
Подразнюючі, вражає верхні дихальні шляхи, при потраплянні на шкіру та очі викликає хімічні опіки	Подразнюючі, при попаданні на шкіру, слизові оболонки, очі, сильні утворюються	3	Група шкідливої речовини. Характеристика шкідливого впливу
5	2	4	Група шкідливої речовини у повітрі шкідливої зони, м/мг
2	2	5	Клас небезпечності шкідливої речовини
Респіратор, халат для захисту одягу, гумові рукавиці, тісно прилягаючі захисні окуляри	Захисні окуляри, гумові рукавички, прорезинений хімічностійкий одяг	6	Засоби індивідуального захисту
При потраплянні на шкіру – промити великою кількістю проточної води, промити дихальні шляхи 2% розчином	Промити великою кількістю води, потім слабким розчином оцтової кислоти (5%-им)	7	Засоби долікарської допомоги
ХЖ-130 хроматограф рідинний	ХГА «АГАТ»	8	Методи контролю вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони
Г √	Г √	9	Клас виробництва згідно СН-245-71
3б	3а	10	Санітарна група технологічного процесу згідно СНиП 2.09.04-87

Ванна анодування	«ЭКОМЕТ-А200» Випаровування з поверхні розчину	Подразнює верхні дихальні шляхи, викликає хімічні опіки на шкірі та	5	2	Респіратор, халат для захисту одягу, гумові рукавиці, захисні окуляри	При потрапленні на шкіру – промити великою кількістю води	ХЖ-130 хроматограф	І V	36
------------------	--	--	---	---	--	--	-----------------------	--------	----

Нормальні умови в спроектованому цеху здійснюються за рахунок механізації та автоматизації важких та трудомістких робіт, раціональному розташуванні та теплоізоляції устаткування, машин, комунікації та інших джерел, які випромінюють на робочих місцях тепло [17].

Пропонуються засоби індивідуального захисту – респіратори типу "Пелюсток", спецодяг типу "П" і взуття. Також пропонується два рази на місяць за допомогою пиломіра робити контроль вмісту у повітрі робочої зони шкідливих речовин.

Для видалення шкідливих речовин із повітря, та подачі чистого повітря у гальванічному цеху передбачено:

1. припливна вентиляція, яка служить для подачі в приміщення чистого вентилязованого повітря. Припливне повітря при потребі піддається спеціальним обробкам (очищення, нагрівання тощо);

2. витяжна вентиляція, яка і видаляє з цеху забруднене, нагріте та відпрацьоване повітря.

Їх продуктивність збалансована із урахуванням можливості циркуляції між суміжними приміщеннями.

Також на виробництві передбачається аварійна вентиляція, яка приводиться у дію тільки в разі аварії та реалізується витяжною вентиляцією для утворення розрідження у приміщенні. Вона приводиться у дію як від датчиків газосигналізаторів, які налаштовані на величину ГДК контрольованих речовин, так й вручну. Кратність повітрообміну для аварійної вентиляції дорівнює 8, включаючи робочу [17, 18].

Ванни із шкідливими виділеннями (знежирення та травлення, нанесення покриття) укомплектовані бортовими відсосами.

Для профілактики переохолодження та застудних захворювань робітників, при вході до цеху передбачені теплові повітряні завіси.

Для зменшення виділення шкідливих речовин у повітрі робочої зони рекомендуються наступні заходи:

- для зменшення концентрації шкідливих речовин у атмосфері цеху, приготування та коректування ванн потрібно здійснювати при роботі місцевої вентиляції;

- у процесі приготування розчину електроліту кислоти необхідно лити тонким струменем у холодну воду при гарному перемішуванні;

- для запобігання потрапляння розчинів на підлогу, проміжки між ваннами закриваються фторопластовими козирками.

- для зниження концентрації шкідливих речовин у стічних водах після ванни електролізу передбачені непроточні ванни промивання.

5.2. Заходи з охорони праці

Для вловлювання шкідливих викидів, в якості місцевої витяжної вентиляції, у цеху прийняті двосторонні бортові відсмоктувачі.

У відповідності з технологічною схемою установка бортових відсмоктувачів необхідна на ваннах, із поверхні яких можливо виділення шкідливих та небезпечних речовин. Виділення цих речовин можливе при процесі травлення та процесі знежиренні ($t = 20-35^{\circ}\text{C}$), анодуванні ($t = 18-22^{\circ}\text{C}$). Таким чином, є дві ділянки цеху з яких необхідно видалення повітря через місцеві бортові відсмоктувачі.

Об'ємну втрату повітря, що видаляється через бортові відсмоктувачі, розраховуємо за формулою:

$$L_{omc} = 3600 \cdot a \cdot b \cdot K_3 \cdot K_t \cdot \sqrt{(t_p - t_n) \cdot n \cdot b^3}, \text{ м}^3 / \text{год}$$

де a - довжина ванни (6,9 м); b - ширина ванни (0,6 м); t_p – температура розчину; t_n – температура навколишнього середовища; K_3 – коефіцієнт запасу (1,5); $K_t = (1 + \frac{b}{8 \cdot a})^2$ - коефіцієнт запасу для двохстороннього бортового відсмоктувача; β – безрозмірна характеристика (1/15 для двохстороннього бортового відсмоктувача); n – кількість прямих кутів між границями потоку повітря ($n = 3$ для вільного розташування ванн).

Таблиця 5.3. Коефіцієнти та результати розрахунків витрат повітря

Процес	$t_p, ^\circ\text{C}$	$t_n, ^\circ\text{C}$	K_t	Кількість ванн, шт	$L_{\text{отс}}, \text{м}^3/\text{ГОД}$
Знежирення та травлення	35	19	1,114	1	2 970,04
Анодування	22	19	1,114	1	1 286,07
Сумарно					4 256,11

Розрахуємо втрати тиску у трубопроводах:

$$P = \sum (R \cdot l + Z), \text{кг} / \text{м}^2$$

де $R = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{v^2 \cdot \gamma}{2g}$ – опір одного погонного метру трубопроводу.

Для трубопроводу діаметром 560 мм, та швидкості руху повітря 1,5 м/с значення $R = 0,005 \text{ кг}/\text{м}^2$

Довжина витяжного трубопроводу складає 25м.

Втрати на місцевих опорах

$$Z = \sum \xi \frac{v^2 \cdot \gamma}{2g}, \text{кг} / \text{м}^2$$

Місцеві опори:

1. витяжна шахта з зонтом $\xi = 1,9$ при $h/d = 0,25$;
2. коліна з закругленими кромками $\xi = 0,3$ при $r/d_e = 0,3; \alpha = 90^\circ$;
3. дросельний клапан $\xi = 118$ при $\alpha = 90^\circ$;
4. відбір з колектора $\xi = 0,5$;
5. фільтр $\xi = 148$.

$$Z = 36,74, \text{кг} / \text{м}^2$$

$$P = \sum (0,005 \cdot 25 + 36,74) = 37,99, \text{кВт} / \text{м}^2$$

Виходячи з витрати повітря та втрат тиску вибрано вентилятор Ц4-70 №4 А4095 2а. Потужність на валу 0,5 кВт, частота обертів 1400 об/хв.

Двигун А02-11-6 комплектується разом з вентилятором.

Отже, було обрано та розраховано системи місцевої механічної вентиляції: вентилятор Ц4-70 №4 А4095 2а з потужністю на валу 0,5 кВт, частота обертів 1400 об/хв.

5.3. Пожежна безпека приміщення

В гальванічному цеху можливе виникнення джерел загорання як наслідок перевантаження електроустаткування, утворення оксидів у газах, які відходять від ванни, утворення займистої суміші водню із повітрям. Причинами загорання можуть бути також: коротке замикання між частинами обладнання (електроди, шини), статичні розряди, механічні пошкодження устаткування та електропроводу. Також є загроза прямого удару блискавки в об'єкт.

Серед основних причин короткого замикання є пошкодження електроізоляції дротів, також попадання на неізольовані дроти струмопровідних предметів, також дія на дроти хімічних речовин. Для захисту ізоляції струмовідводу від дії хімікатів використовують гофрований металевий кожух з нержавіючої сталі, а також прокладання проводів в пластиковому захисному кожусі. Для захисту від перевантажень й короткого замикання в електричних мережах використовують плавкі запобіжники та спеціальні автомати, які включені в мережу послідовно. Запобігання перегріву проводів досягається збільшенням площі опору контактів, а також застосування пружних контактів.

Для гасіння пожежі на робочих місцях обладнують протипожежні щити з набором засобів пожежогасіння, ящики з піском, вогнегасники СУБ-7, пінні вогнегасники. Крім цього, виробничі приміщення й склади забезпечені внутрішніми пожежними кранами (елемент внутрішнього пожежного

водопроводу). Між виробничими спорудами передбачені пожежні розриви 10 м. З метою попередження вибухів газопроводів їх періодично перевіряють на герметичність.

Споруди захищені від прямого удару блискавки (відповідно до СН 305 – 77) за допомогою блискавковідводу, який складається з блискавкоприймача (приймає на себе розряд блискавки), заземлювача та струмопровідника. Тип вертикальний стрижньовий: $H = 100$ м, висота його зони захисту під землею $H_0 = 0,92 \cdot 100 = 92$ м. Радіус зони захисту на рівні землі $r_0 = 1,5 \cdot 100 = 150$ м. У цеху, окрім стаціонарної системи пожежогасіння є вуглекислотні та порошкові вогнегасники ОУБ–8–2 і ОПС–6.

Показники пожежо– та вибухонебезпечності речовин та матеріалів для процесу анодування зведені у таблиці 5.5.

На підприємстві встановлюється охоронно–пожежна сигналізація автономного типу [17-19]. Кабелі високої напруги прокладені в броньованих оболонках. Перед початком процесу електролізу трубопроводи необхідно продувати повітрям та обов'язково перевіряти результати продувки. Для захисту електричного устаткування від загоряння використовують такі методи: регулярне технічне обслуговування устаткування, фарбування устаткування негорючими матеріалами.

Таблиця 5.4.

Показники пожежо- та вибухонебезпечності речовин та матеріалів

Ізоляція	Поміст	Гальванічна ванна		Назва дільниці	Показники пожежо- та вибухонебезпечності	Межа за-палення	Вибухонебезпечні суміші з повітрям						
		Н ₂	Вінпласт				Температура спалаху	Температура займання	Температура самозаймання	% об'ємних	мг/м ³	Категорія	Група
Текстоліт	Дерево, гума	Газ	Вінпласт	Речовини, що мають об'їг у виробництві	Агрегатний стан речовини в нормальних умовах	-	580	580	-	-	-	-	
Тв.	Тв.	Газ	Тв.	Речовини, що мають об'їг у виробництві									
Важкогорюча	Горюча	Легкогорюча	Важкозаймісті	Агрегатний стан речовини в нормальних умовах	Горючість, займістість	132	324	57,5	47,5	45-82,5	2с	Т1	Вогнегасні засоби
-	170	324	57,5	47,5	45-82,5	2с	Т1	Вода, піна	В	02	2Б	Категорія приміщення за ЗНТП 24-86	
358	400	400	170	324	57,5	47,5	45-82,5	Інертний газ	В	02	2Б	Клас приміщення і зовнішніх установок згідно з ПУЕ	
358	400	400	170	324	57,5	47,5	45-82,5	Інертний газ	В	02	2Б	Категорія об'єкта і тип зони захисту і влаштування блискавозахисту згідно з БН 305-77	
-	-	-	-	-	-	-	-	Вода	В	02	2Б		
-	-	-	-	-	-	-	-	Вода	В	02	2Б		
Вогнегасники рідинні, вуглекислий. СУБ-7, пісок, піна	В	02	2Б										

5.4. Безпека в надзвичайних ситуаціях на досліджуваному об'єкті

В спроектованому цеху є вірогідність виникнення надзвичайної ситуації, тому необхідно, на основі характеристики приміщень із позиції пожежної безпеки, показників пожежо- та вибухонебезпечності речовин та матеріалів розробити певні засоби безпеки в надзвичайних ситуаціях.

У цеху, основними причинами займання та вибуху є:

- іскри електроустаткування;
- механічне ушкодження електропроводки та устаткування;
- займання ізоляції внаслідок перегріву проводів та короткого замикання;
- природні явища (удар блискавки).

Легкозаймистими речовинами на підприємстві є дерево та пластмаса, з яких виготовлені меблі, упаковки, документи, що зберігаються в лабораторії, електроізоляція, ебоніт, машинне мастило.

В цеху пропонується наступні протипожежні заходи:

- вогнебезпечні речовини зберігати в товстостінних посудинах з притертими пробками та в спеціальній металічній шафі із азбестовим днищем;
- витяжні шафи повинні бути виготовлені з важкозаймистих матеріалів;
- постійний контроль повітряного середовища;
- захист електричних проводів металевими трубами;
- захист від прямого удару блискавки (на будівлі встановлений стрижньовий груповий блискавковідвід).

Заходи, які пропонуються в разі виникнення надзвичайної ситуації:

- шляхи евакуації людей і матеріальних цінностей;
- первинні засоби гасіння пожежі;
- наявність медичної аптечки першої допомоги;
- системи автоматичної пожежної сигналізації з пожежними сповіщувачами та переносними вуглекислотними вогнегасниками (у розрахунку 2 шт. на кожні 20 м² площі приміщення).

Висновки до розділу. В даному розділі було проаналізовано умови праці (визначено санітарні параметри мікроклімату та санітарні характеристики цеху) і розроблено заходи з охорони праці (запропоновано засоби індивідуального захисту персоналу та місцевої штучної вентиляції). Було проаналізовано приміщення з точки зору пожежної безпеки та запропоновано ряд протипожежних заходів, та заходів в разі виникнення надзвичайної ситуації.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У даному дипломному магістерському проєкті розроблений технологічний процес гальванічного анодування з товщиною анодного покриття 15 мкм на алюмінієвих швелерах довжиною 6 м. Для виконання річної програми пропонується використання стаціонарної поліпропіленової гальванічної ванни з двома анодними штангами.

У проєкті розроблений технологічний процесі анодування алюмінію із використанням сульфатного електроліту та добавкою «ЕКОМЕТ-А200». Цей електроліт характеризується відносно високим виходом за струмом, дешевизною, досить високою корозійною стійкістю та швидкістю осадження, підвищеною стабільністю.

Для нанесення електролітичного покриття у проєкті використовується гальванічний процес продуктивністю 18 000 м²/рік. Він складається з ванни анодування, ванн попередньої підготовки поверхні деталей, ванн промивання, сушильних установок.

Задачі з автоматизації процесу анодування (регулювання, контролю й сигналізації параметрів) досягається шляхом обладнання гальванічної ванни датчиками і приладами для контролю.

Проведений аналіз умов праці робітників на гальванічному виробництві та передбачені заходи, що забезпечують безпеку праці у спроектованому цеху.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Якименко Г.Я., Артеменко В.М. Технічна електрохімія.ч.3. Гальванічні виробництва: Підручник. – Харків: НТУ «ХП», 2006. – 272с.
2. Gamburg Y.D., Zangari G. Theory and Practice of Metal Electrodeposition. - New York: Springer, 2011. – p. 385, DOI: 10.1007/978-1-4419-9669-5
3. Толочко, Й. В. Нові аспекти процесу анодування алюмінію [Електронний ресурс] / Й. В. Толочко, О. А. Крюкова // Технології та дизайн. - 2019. - № 3 (32). - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2019_3_10.
4. Антропов, Л. І. Теоретична електрохімія. – К: Либідь, 1993. – 544с.
5. Методичні вказівки до лабораторної роботи за темою «Електрохімічне оксидування алюмінію і його сплавів» для студентів спеціальності «Технічна електрохімія» денної та заочної форм навчання / уклад. : О. І. Пилипенко. – Х. : НТУ «ХП», 2016. – 36 с.
6. <http://www.ecomet/technology/degreasing/ecomet-a006>
7. <http://www.ecomet/technology/aluminium/ecomet-a200>
8. Гальванопластика: Лабораторний практикум навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Енергоефективна технічна електрохімія та захист металів від корозії» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Д. Ю. Ущатовський, Т. І. Мотронюк, О. В. Лінючева, М. В. Бик. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,49 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 95 с.
9. Основи проектування хімічних виробництв. Будова обладнання та конструкції підвісних пристроїв для нанесення гальванічних покриттів: навч. посіб. / Л. А. Яцюк, О. І. Букет, Г. С. Васильєв – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 85 с.

10. Гальванічні покриття. Аспекти вибору, функціональні властивості і технологія одержання: навч. посібник / Г. Я. Якименко, В. М. Артеменко; за ред. Б. І. Байрачного. – Х.: НТУ «ХП», 2009. – 148 с.
11. Гоц В.І., Гелевера О. Г., Фролова В.М. Технологія будівельних алюмінієвих конструкцій: Підручник.– Київ: ТОВ УВПК “ЕксОб”. 2007. – 380 с.
12. Кондращенко, О. В. Корозія і захист матеріалів та конструкцій // Харків: ХНАМГ, 2005. – 124 с.
13. Кунтій, О. І. Гальванотехніка // Навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2004. – 236 с.
14. Кузін О. А., Яцюк Р. Металознавство і термічна обробка металів // Київ: Основа, 2005. – 360 с.
15. Методичні вказівки до лабораторної роботи за темою «Електрохімічне оксидування алюмінію і його сплавів» для студентів спеціальності «Технічна електрохімія» денної та заочної форм навчання / уклад. : НТУ «ХП», 2016. – 36 с.
16. Екологічна безпека гальванотехніки. Стічні води. Механічна та сорбційна очистка [Електронний ресурс]: підручник для студ. кваліфікації 2146.2–інженер–технолог (хімічні технології) та 2149.2–інженер–дослідник (хімічні технології) спеціалізації «Електрохімічні технології неорганічних та органічних матеріалів»/ М. І Донченко, С. В. Фроленкова, Т. І Мотронюк; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 14, 89 Мбайт).–Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018.–202 с.
17. Лукінюк, М. В. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами [у 2 кн.]. Кн. 1. Методи та технічні засоби автоматичного контролю хіміко-технологічних процесів [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки «Хімічна технологія та інженерія» / М. В. Лукінюк; М-во освіти і науки, молоді та спорту

- України, НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 4,46 Мбайт). – Київ: Політехніка, 2012. – 336 с.
18. Нестеров, О.В. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» в магістерських дипломних роботах усіх форм навчання / О. В. Нестеров – Запоріжжя: Каф. ОП і НС. НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 31 с.
19. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод: підручник/ А. К. Запольский, Н. А. Мішкова-Клименко, І. М. Астрелін та ін. – К.: Лібра, 2000. – 552 с.

ДОДАТОК

Додаток.

Карта технологічного процесу захисного анодного покриття

Операція	Склад розчину і концентрація		Режим		
	Назва та хімічна формула	г/дм ³	Обробк а, хв	t, °С	i, А/дм ²
Монтаж деталей			1-2		
Механічна обробка			5-10		
Промивка	Вода холодна водогінна H_2O		0,25-0,5	кімн.	
Знежирення та травлення	Сульфатна кислота H_2SO_4	2-6	3-15	20-35	
	Композиція «ЕКОМЕТ-А006»	35-40			
Промивка	Вода гаряча водогінна H_2O		0,25-0,5	80 ± 10	
Промивка	Вода холодна водогінна H_2O		0,25-0,5	кімн.	
Промивка	Вода холодна водогінна H_2O		0,25-0,5	кімн.	
Анодування	Сульфатна кислота H_2SO_4	150-170	85	18-22	1,5
	Композиція «ЕКОМЕТ-А200»	22-27			
Промивка	Вода холодна деіонізована H_2O		0,25-0,5	кімн.	
Промивка	Вода гаряча H_2O		30-60	80 ± 10	
Сушіння			3-5	96...99	
Демонтаж деталей			1-2		