МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М.ПОТЕБНІ

____Металургійних технологій, екології та техногенної безпеки_____
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проєкт
_____другий (магістерський)_____
(рівень вищої освіти)

на тему_ **Технології підвищення якості металопродукції нанесенням хімічних покрить**_____
_____

Виконав: студент _II курсу, групи_8.1363-мчм
спеціальності _____136 Металургія_____
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Металургія чорних металів_
(код і назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
_____С.В.Яшніков_____
(ініціали та прізвище)
Керівник __доц., PhD Єфанов В.С._____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент_доц., к.т.н., доц. Воляр Р.М._____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра____Металургійних технологій, екології та техногенної безпеки___
Рівень вищої освіти____другий (магістерський)_____

Спеціальність _____136 Металургія_____
(код та назва)
Освітня програма _____Металургія чорних металів_____
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри_____
«_____»_____20____року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЄКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

_____Яшнікову Сергію Володимировичу_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Технології підвищення якості металопродукції нанесенням хімічних покрить_____
_____

керівник роботи _____Єфанов Володимир Сергійович, к.т.н., PhD._____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «28»_лютого 2024___року №359-с_____
2 Строк подання студентом роботи __10.12.2024_____
3 Вихідні дані до роботи __Дослідити процеси підвищення якості металопродукції шляхом нанесення покрить хімічним способом. Науково-технічна література, авторські свідоцтва _____
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Реферат; вступ; аналітичний огляд процесів захисту металопродукції від корозії; методика проведення досліджень; дослідження процесів хімічного нікелювання та кобальтування; охорона праці та техногенна безпека; висновки; перелік джерел посилання; додаток А
5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)___16_ креслень_____
_____

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітичний огляд процесів захисту металопродукції від корозії	Єфанов В.С., доцент		
Методика проведення досліджень	Єфанов В.С., доцент		
Дослідження процесів хімічного нікелювання та кобальтування	Єфанов В.С., доцент		
Охорона праці та техногенна безпека	Єфанов В.С., доцент		

7 Дата видачі завдання_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ, реферат	21.11-25.11.2024	
2	Аналітичний огляд процесів захисту металопродукції від корозії	26.11-30.11.2024	
3	Методика проведення досліджень	01.12-04.12.2024	
4	Дослідження процесів хімічного нікелювання та кобальтування	05.12-08.12.2024	
5	Охорона праці та техногенна безпека	09.12-10.12.2024	
6	Висновки, перелік джерел посилання	10.12.2024	

Студент _____ _____С.В.Яшніков_____
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) _____ _____В.С.Єфанов_____
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ _____О.Г.Кириченко___
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 94 с., 7 табл., 34 рис., 1 дод., 17 джерел

КОРОЗІЯ, ЗАХИСТ, МЕТАЛОПРОДУКЦІЯ, ПОКРИТТЯ, ТРАВЛЕННЯ, ЗНЕЖИРЕННЯ, КИСЛИЙ РОЗЧИН, НІКЕЛЮВАННЯ, КОБАЛЬТУВАННЯ

Об'єкт дослідження – процес нанесення металевих покриттів хімічним методом.

Предмет дослідження – технологія нанесення металевих покриттів і вплив на фізико-хімічні та експлуатаційні особливості процесу отримання покриттів.

Мета роботи – аналіз існуючих способів нанесення металевих покриттів і запропонувати найоптимальніші параметри технологічного процесу нанесення нікелевих та кобальтових покриттів.

Методи дослідження – у роботі використовували сучасні методи дослідження хімічного і мінерального складу, форми, стану і структури поверхні металевих покриттів. Контроль якості травленої поверхні здійснювали візуально або під мікроскопом. Для визначення мікрошорсткості використовували різні мікроскопи (оптичні, металографічні, растрові, електронні), а також профілометри й профілографи.

Наукова новизна:

1. Показане, що напруга близька до границі текучості, підвищує швидкість корозії низьколегованої сталі.

2. Показане, що збільшення вмісту вуглецю в сталі підвищує швидкість корозії, що приводить до росту напруг за рахунок зменшення товщини металу й може негативно позначатися на розвитку деградаційних процесів у металі.

Практичне значення:

1. Запропоновані різні способи підготовки металевих і неметалевих покрить до нанесення хімічним, або електрохімічним способами.

2. Проведений аналіз і перераховані області застосування різних типів металевих покрить.

У вступі обґрунтований вибраний напрям досліджень, визначені мета та шляхи її досягнення.

У першому розділі розглянуті основні аспекти корозійного захисту металопродукції, характеристика хімічних методів нанесення металевих покрить, викладена технологія підготовки поверхні виробів перед нанесенням покрить.

У другому розділі запропанована методика проведення досліджень; побудовані кінетичні залежності процесу корозії низьколегованої сталі, проведений аналіз впливу вмісту вуглецю й технології виробництва на швидкість корозії, запропоноване устаткування для процесів хімічного осадження металевих покрить

В третьому розділі приведені результати експериментів по хімічному нікелюванню й кобальтуванню.

У розділі «Охорона праці та техногенна безпека» розроблені заходи щодо безпеки праці при проведенні НДР, зроблений розрахунок передува над травильною ванною.

ЗМІСТ

Вступ 8
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОЦЕСІВ ЗАХИСТУ МЕТАЛОПРОДУКЦІЇ ВІД КОРОЗІЇ 10
1.1 Основні аспекти корозійного захисту металопродукції 10
1.2 Металеві покриття як метод захисту від корозії 16
1.3 Характеристика хімічних методів нанесення металевих покрить 18
1.4 Підготовка поверхні виробів перед нанесенням покрить 19
1.4.1. Механічна підготовка 20
1.4.2. Знежирення 20
1.4.3 Травлення 22
1.4.4 Знешкодження 24
1.4.5 Активування 25
2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ 29
2.1 Побудова кінетичних залежностей процесу корозії низьколегованої сталі в залежності від прикладеної напруги 29
2.2 Аналіз впливу вмісту вуглецю на швидкість корозії 31
2.3 Аналіз впливу технології виробництва листового прокату на швидкість корозії 33
2.4 Виявлення критичних значень напруг залежно від тривалості експлуатації й ступеню деградаційних і корозійних процесів 37
2.5 Устаткування для процесів хімічного осадження металевих покрить 43
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХІМІЧНОГО НІКЕЛЮВАННЯ ТА КОБАЛЬТУВАННЯ 49
3.1 Область застосування й умови утворення Ni - P-покрить 49
3.2 Структура й фізико-хімічні властивості Ni - P- покрить 57
3.3 Технологічні процеси осадження Ni- P – покрить 61
3.4 Хімічне нікелювання металів 64
3.5 Структура й властивості хімічних Co – P – покрить 65

3.6 Осадження Ni-Co-P- покрить 70
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 73
4.1 Аналіз потенційно шкідливих і небезпечних чинників у гальванічному цеху 73
4.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища 75
4.3 Заходи з електробезпеки 76
4.4 Заходи пожежної безпеки 77
4.5 Технічні рішення виробничої санітарії 77
4.5.1 Опалення та вентиляція цеху 78
4.5.2 Освітлення виробничих приміщень 78
4.5.3 Санітарно-побутові приміщення 79
4.5.4 Виробничий шум 80
4.5.5 Засоби індивідуального захисту 80
4.6 Розрахунок передувки над травильною ванною 81
Висновки 84
Перелік джерел посилання 86
Додаток А Публікації за темою кваліфікаційної роботи 88

ВСТУП

Як боротися з корозією? Прийомів і засобів багато. Чим може бути зменшена або практично усунута корозія? Нанесенням захисних покрить, наприклад лакофарбових; уведенням у потнеційно кородіюче середовище інгібіторів, наприклад хроматів, нітритів, арсенітів; застосуванням корозійностійких матеріалів.

Однак у кожному випадку доводиться вирішувати яким із засобів або в якій їхній комбінації можна одержати найбільший економічний ефект. Сучасна наука про корозію металів і боротьбі з нею досяглася серйозних успіхів. У цей час у виробництво вводяться нові обсяги, що безупинно наростають, металовиробів і відповідно зростають щорічні збитки, обчислювальні мільйонами тонн металу, що прокородував, й сотнями мільярдів гривень, витрачених на боротьбу з корозією. Перелічені факти роблять подальші дослідження в цій галузі науки вкрай актуальними й важливими...

Метал був і залишається головним конструкційним матеріалом індустрії - від засобів виробництва до споживчих товарів. Причому конкуренція їх у світовому масштабі стала реальністю.

Сьогодні збиток від корозії в розвинених країнах оцінюється в 2-4% ВВП, а втрати від поламаних металевих конструкцій, виробів і обладнання складають 10-20% річного виробництва сталі. Ці цифри роблять необхідним всебічне теоретичне вивчення корозії, яке, в свою чергу, є основою для розробки методів боротьби з корозійними процесами.

Корозією називається процес руйнування матеріалів в результаті взаємодії з агресивним середовищем. При цьому в результаті хімічної або фізико-хімічної взаємодії з навколишнім середовищем відбувається втрата їх експлуатаційних властивостей.

Нерідко під корозією мається на увазі лише процес руйнування металів, що не зовсім правильно, тому що поняття корозії може бути застосовано і до неметалів. Проте механізми і кінетика кор розіонних процесів для металів і неметалів ватимуть різними. Корозія металів є руйнування їх поверхні в результаті хімічної або електрохімічної взаємодії з агресивним середовищем.

Термодинамічно корозія металів можлива в разі, якщо в результаті корозійного процесу зменшується вільна енергія системи. Швидкість корозії, як будь-якої хімічної реакції, дуже сильно залежить від температури. Підвищення температури на 100 °С може збільшити швидкість корозії на кілька порядків.

У світі корозія щорічно призводить до мілліардних збитків, причому основний збиток, що заподіюється нею, полягає не у втраті металу як такого (у світі до 20% металу в рік йде саме в коррозіонні відходи), а в руйнуванні дорогих виробів і обладнання. Ще більшої шкоди завдають побічні втрати при простоях обладнання при заміні прокорродіровавшіх деталей і вузлів, витік нафти і газу, порушення технологічних процесів.

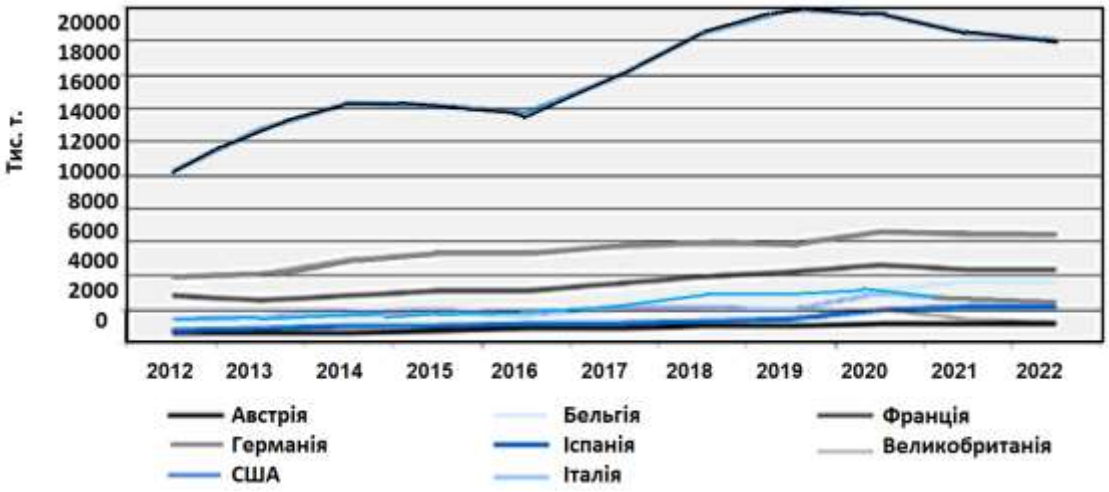
Збитки від корозії, таким чином, не можна зводити лише до прямих втрат - вартості зруйнуваних конструкцій, заміни обладнання і витрат на захист від корозії. У США збитки від корозії, включаю витрати на боротьбу з нею, складають 3,1% ВВП ($ 276 млрд на рік), в Німеччині - 2,8% ВВП. У межах 2-4% ВВП знаходиться цей показник і в інших розвинених країнах. При цьому втрати металу складають 10-20% річного виробництва сталі. У нашій країні немає офіційної статистики, яка б відображала економічні збитки від корозії, але, за нашими оцінками, він становить не менше 5% від ВВП.

У роботі розглянуті основні технології нанесення покрить для захисту металу від корозії, запропоновані перспективи старих методів і вивчені успіхи нових.

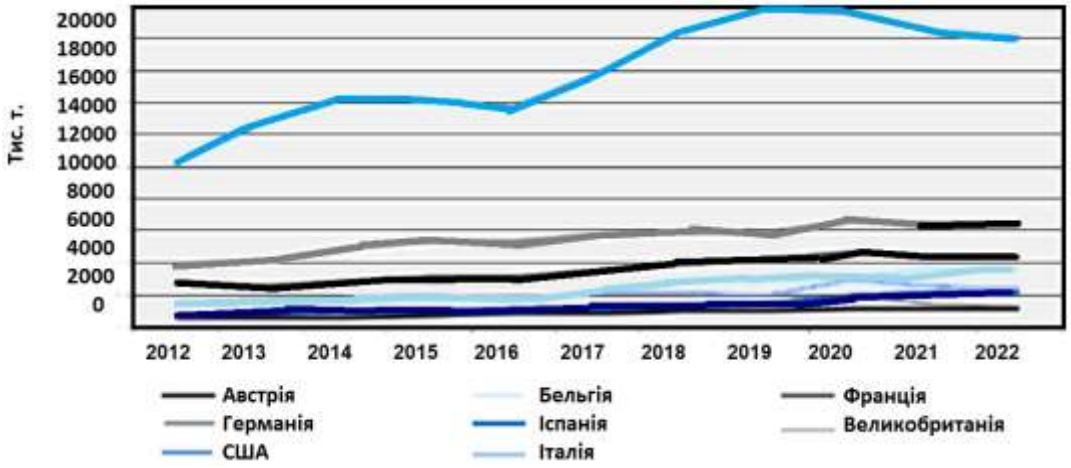
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОЦЕСІВ ЗАХИСТУ МЕТАЛОПРОДУКЦІЇ ВІД КОРОЗІЇ

1.1 Основні аспекти корозійного захисту металопродукції

Світове виробництво металопрокату, особливо листового, в останнє десятиліття неухильно росте (рис.1.1).



а



б

а - з металевим покриттям; б - з неметалевим покриттям

Рисунок 1.1 – Виробництво сталевих листів

Промисловість України має більш 20000 підприємств з різноманітними технологіями виробництва. Устаткування для них виготовляють на основі сплавів чорних і кольорових металів, а також з природних або штучних хімічно

стійких матеріалів. Згодом воно старіє або руйнується внаслідок корозії. Деякі приклади корозійних руйнувань показані на рис. 1.2.

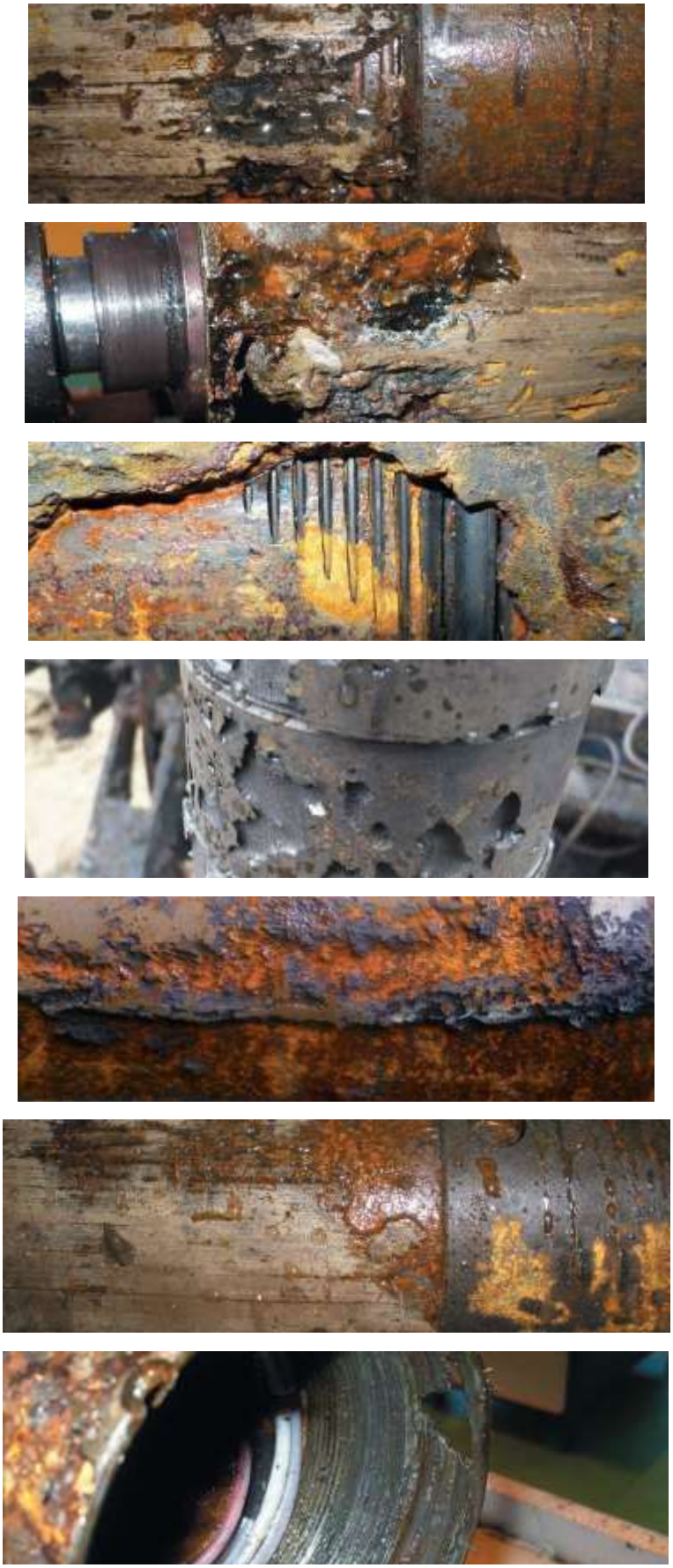


Рисунок 1.2 – Приклади корозійних руйнувань

Це приносить не тільки великі економічні втрати, а й призводить до глобальних екологічних катастроф. Економічної та екологічної шкоди, що завдаються нашій планеті корозією металевих виробів, обладнання і конструкцій, неісчислімі.

В останні роки, наприклад, тільки в Сполучених Штатах Америки щорічні втрати від корозії склали 300 мільярдів доларів, що відповідає 6% національного доходу всієї країни. В Україні щорічні втрати металів через їх корозію складають до 12% загальної маси металофонду, що відповідає втраті до 30% виробленого металу.

Крім настільки величезних пов'язаних з корозією прямих втрат, існують ще більші непрямі втрати. До них відносяться витрати, обумовлені втратою потужності металевого обладнання, його вимушеними простоями через аварії, а також витрати на ліквідацію наслідків аварій, що часто носять характер екологічних катастроф.

Як правило, металевий вироб, що прийшов в непридатність внаслідок корозійного руйнування, відправляють на переплавку. У цьому випадку загальні втрати будуть включати безповоротні втрати металу, який перейшов в продукти корозії, вартість виготовлення металевих виробів і непрямі втрати. За статистичного даними безповоротні втрати становлять 8-12% від початкової маси металу. Вартість виготовлення металевих конструкцій найчастіше перевершує вартість самого металу. До непрямих втрат відносять витрати, пов'язані з відмовою в роботі металевого обладнання, з його простоями і ремонтом.

Сумарно в більшості країн втрати від корозії становлять 4-6% національного доходу. Зростанню втрат від корозії сприяє постійний інтенсивний розвиток найбільш металомістких галузей промисловості, наприклад, енергетики (теплової та атомної), транспорту (в тому числі трубопровідного), металургії, хімічної, нафтової та нафтохімічної промисловості та ін., а також посилення умов експлуатації металу як у промисловості, так і в міському господарстві.

Все це вказує на виняткову важливість проблеми боротьби з корозією металів, а отже, і на велику значимість розвитку науково-технічних робіт в даній області. Але головне, що визначає необхідність першочергового вирішення

проблеми наукового підходу до пошуку оптимальних шляхів протикорозійного захисту металів, пов'язане з витратами на боротьбу з корозією металевих виробів і конструкцій.

В даний час загальний металофонд України становить близько 1,0 млрд т. При цьому 40-50% машин і споруд працює в агресивних середовищах, 30% - в слабо агресивних, і тільки близько 10% не вимагає активного антикорозійного захисту. Ступінь задоволеності країни основними засобами захисту металлоконструкцій істотно нижче необхідної. Зокрема, потреба в лако-фарбових покриттях та інгібіторах задовольняється на половину, а в захисті готового металопрокату, наприклад, в трубах з покриттями - менш ніж на 30%. Найбільші втрати від корозії несуть паливно-енергетичний комплекс (ПЕК), сільське господарство, хімія і нафтохімія. Так, втрати металу від корозії складають: в ПЕК-30%, хімії і нафтохімії - 20%, сільському господарстві - 15%, металообробці - 5%.

В даний час проблема корозії посилюється різким старінням основного металофонду, фізичним і моральним зносом, абсолютно недостатнім ступенем реновації (реконструкції, ремонту). Велика частина потенційно небезпечних зварних конструкцій відпрацювала свій ресурс на 50-70%. Значна частина споруд вичерпала свій плановий ресурс і вступає в період інтенсифікації відмов.

Для знаходження шляхів практичного вирішення тих чи інших завдань, що виникають в результаті корозійного руйнування різних металевих об'єктів, необхідно, в першу чергу, знання законів такого руйнування, тобто теорії корозії металів. Це вимагає розгляду загальних питань, до яких, крім механизму корозії металів, слід віднести такі розділи, як:

- діагностика конструкцій і обладнання потенційно небезпечних виробництв і об'єктів;
- оцінка міцності і залишкового ресурсу експлуатованих конструкцій і обладнання об'єктів підвищеної небезпеки;
- розробка ресурсозберігаючих технологій зварювання і суміжних процесів для по-щення надійності роботи конструкцій;

- сертифікація та нормування, як основа забезпечення якості обладнання; екологічні та соціально-економічні проблеми забезпечення надійності експлуатації потенційно небезпечних об'єктів.

Сучасний захист металів від корозії базується на наступних методах:

- підвищення хімічного опору конструкційних матеріалів,
- ізоляція поверхні металу від агресивного середовища,
- зниження агресивності виробничого середовища,
- зниження корозії накладенням зовнішнього струму (електрохімічний захист).

Ці методи можна розділити на дві групи. Перші два методи звичайно реалізуються до початку виробничої експлуатації металовиробу (вибір конструкційних матеріалів і їх комбінацій ще на стадії проектування й виготовлення виробу, нанесення на нього гальванічних і інших захисних покрить). Останні два методи, навпаки, можуть бути здійснені тільки в ході експлуатації металовиробу (пропущення струму для досягнення захисного потенціалу, уведення в технологічне середовище спеціальних добавок- інгібіторів) і не пов'язані з якою-небудь попередньою обробкою до початку використання.

При застосуванні перших двох методів не можуть бути змінені склад сталей і природа захисних покрить даного металовиробу при безперервній його роботі в умовах мінливої агресивності середовища. Друга група методів дозволяє при необхідності створювати нові режими захисту, що забезпечують найменшу корозію виробу при зміні умов їх експлуатації. Наприклад, на різних ділянках трубопроводу залежно від агресивності ґрунту можна підтримувати різні щільності катодного струму або для різних сортів нафти, що прокачують через труби даного складу, використовувати різні інгібітори.

Створення нових режимів захисту має особливо важливе значення для захисту готових виробів, що піддаються корозійному руйнуванню.

Широко розповсюджений метод гальванічного (металевого) антикорозійного покриття при великих площах і обсягах оброблюваних поверхонь стає економічно невигідним, тому що вимагає великих витрат на підготовку процесу. Тому різні лакофарбові покриття не випадково займають важливе місце се-

ред протикорозійних покрить. Широке застосування на практиці цього способу захисту металів пояснюється вдалою комбінацією необхідних для захисту від корозії властивостей (гідрофобності, водовідштовхування, низьких газо - і парапроникненості, що перешкоджають доступу води й кисню до поверхні металу), технологічності й можливості одержання різних декоративних ефектів. Інша перевага лакофарбових покрить - їх ремонт здійснюється легше й з меншими економічними витратами.

Однак, застосування більшості розповсюджених матеріалів спричиняє ряд недоліків: неповне змочування поверхні металу; порушення адгезії покриття до металу, що може привести до нагромадження електроліту під захисним покриттям і підсилить корозію. Причиною підвищення вологопроникнення є також наявність пор на поверхні створюваного покриття. Проте, лакофарбове покриття продовжує захищати метал від корозії навіть при частковому ушкодженні плівки, у той час як гальванічні покриття можуть прискорювати корозію заліза.

Широко застосовуються наступні основні рішення захисту металевих конструкцій від корозії:

- захисні покриття;
- обробка корозійного середовища з метою зниження корозійної активності. Прикладами такої обробки можуть служити: нейтралізація або знекиснення корозійних середовищ, а також застосування різного роду інгібіторів корозії;
- електрохімічний захист металів;
- розробка й виробництво нових металевих конструкційних матеріалів підвищеної корозійної стійкості шляхом усунення з металу або сплаву домішок, що прискорюють корозійний процес (усунення заліза з магнієвих або алюмінієвих сплавів, сірки із залізних сплавів і т.д.), або введення в сплав нових компонентів, що сильно підвищують корозійну стійкість (наприклад хрому в залізо, марганцю в магнієві сплави, нікелю в залізні сплави, міді в нікелеві сплави і т.д.);

- перехід у ряді конструкцій від металевих до хімічно стійких матеріалів (пластичні високополімерні матеріали, скло, кераміка й ін.);
- раціональне конструювання й експлуатація металевих споруд і деталей (виключення несприятливих металевих контактів або їх ізоляція, усунення щілин і зазорів у конструкції, усунення зон застою вологи, ударної дії струменів і різких змін швидкостей потоку в конструкції й ін.).

Питанням проектування антикорозійного захисту приділяють серйозної уваги як у нас у країні, так і за рубежем. Західні фірми ретельно вивчають характер агресивних впливів, умови експлуатації конструкцій, моральний термін служби будинків і устаткування. При цьому широко використовуються рекомендації фірм, що роблять матеріали для антикорозійного захисту й привабливих матеріалів для дослідження й обробки захисних систем, що випускаються.

При грамотному конструюванні й будівництві цих, згаданих вище, і багатьох інших об'єктів корозійних втрат, звичайно, можна уникнути. Термін служби минув в 55-65% несучих металоконструкцій (включаючи об'єкти підвищеної небезпеки, такі, як мости, шляхопроводи, крани, об'єкти енергетики, хімії, магістральні трубопроводи). Загальна маса цього металу - більш 1 млрд. тонн. Зараз, приміром, для трубопровідних систем корозія є причиною аварійності більш ніж в 40% випадків.

1.2 Металеві покриття як метод захисту від корозії

Широко розповсюдженим способом захисту металів від корозії є покриття їх шаром інших металів. Покриваючі метали самі кородують з малою швидкістю, тому що покриваються щільною оксидною плівкою. Покриваючий шар наносять різними методами:

- гаряче покриття - короткочасне занурення у ванну з розплавленим металом;
- виготовлення біметалічних листів (залізо й мідь, алюміній і дюралюміній, вуглецева сталь і нержавіюча сталь і т.п.);
- гальванічне покриття - електроосад з водяних розчинів електролітів;
- металізація - напилювання;

• дифузійне покриття - обробка порошками при підвищеній температурі в спеціальному барабані;

• за допомогою газофазної реакції, наприклад:

$$3CrCl_2 + 2Fe \xrightarrow{1000^0C} 2FeCl_3 + 3Cr$$ (у розплаві із залізом).

Є й інші методи нанесення металевих покрить. Наприклад, різновидом дифузійного способу є занурення виробів у розплав хлориду кальцію, у якому розчинені метали, що наносять. Для вивчення екстер'єрного характеру застосовується сухозлітне золочення й сріблення, наклеювання на поверхню виробу найтонших листочків золота або срібла.

Своєрідним способом нанесення металевих покрить є металізація - розпилення розплавленого металевого дроту струменем стисненого повітря.

У цей час широке поширення одержали нові технології нанесення металевих покрить за рахунок надзвукового удару часток о поверхню. Прискорення часток до надзвукових швидкостей здійснюється стисненим повітрям. При цьому забезпечується нанесення металевих покрить з порошкових матеріалів (алюмінієві, мідні, цинкові, нікелеві, олов'яні, свинцеві, бабітові) газодинамічним методом.

Переваги даної технології: - використовується тільки стиснене повітря й електроенергія; - немає нагрівання й окиснення металу часток і підложки, деформацій, змін структури й фазового складу металів; - немає шкідливих і агресивних газів, речовин, випромінювань і інших небезпечних факторів; - технологічна простота нанесення покрить, - обумовлюють широке застосування даного методу.

У великомасштабному виробництві для захисту металів від корозії, декоративної обробки виробів, додання поверхні виробів спеціальних властивостей найпоширеніші покриття, одержувані хімічним або електрохімічним методами [1]. Гальванічні металопокриття пластмас і інших діелектриків одержали широке поширення для захисно-декоративної обробки різноманітних виробів і для технічних цілей при виготовленні різних машин і приладів (особливо радіотех-

нічних і електронних). Область і масштаби застосування цих покрить з подальшим розвитком техніки постійно збільшуються, оскільки нанесення металопокрить дозволяє отримувати матеріали з дуже коштовною комбінацією фізико-механічних, хімічних і експлуатаційних властивостей металу й діелектрика в одній і тій же деталі.

Різноманітність сучасних хімічних методів нанесення металевих покрить вимагає цілеспрямованого вивчення й систематизації інформації, накопиченої в цей час, для оптимізації й подальшого ефективного використання, тому метою даної роботи став огляд хімічних методів нанесення металевих покрить.

1.3 Характеристика хімічних методів нанесення металевих покрить

Процес хімічного металювання є каталітичним або автокаталітичним, а каталізатором є поверхня виробу. Використовуваний розчин містить з'єднання металу, що наноситься, й відновлювача. Оскільки каталізатором є поверхня виробу, виділення металу й відбувається саме на ній, а не в об'ємі розчину. У цей час розроблені методи хімічного покриття металевих виробів нікелем, кобальтом, залізом, палладієм, платиною, міддю, золотом, сріблом, родієм, рутенієм і деякими сплавами на основі цих металів. У якості відновлювачів використовуть гіпофосфит і боргидрид натрію, формальдегід, гидразин. Природно, що хімічним нікелюванням можна наносити захисне покриття не на будь-який метал.

Металеві покриття ділять на дві групи:

- корозійностійкі;
- протекторні.

Наприклад, для покриття сплавів на основі заліза в першу групу входять нікель, срібло, мідь, свинець, хром. Вони більш електропозитивні стосовно заліза, тобто в електрохімічному ряді напруг металів стоять правіше заліза. У другу групу входять цинк, кадмій, алюміній. Вони більш електронегативні стосовно заліза.

У повсякденному житті людей найчастіше зустрічаються покриття заліза з цинком і оловом. Листове залізо, покрите цинком, називають оцинкованим залізом, а покрите оловом - білою жерстю. Перше в великих кількостях іде на

покрівлі будинків, а друге - на виготовлення консервних банок. Уперше спосіб зберігання харчових продуктів у бляшаних банках запропонував кухар Н.М.Аппер в 1810 році. І те, і інше залізо отримують, головним чином, протяганням листа заліза через розплав відповідного металу.

Металеві покриття захищають залізо від корозії при збереженні сплошності. При порушенні ж покриваючого шару корозія виробу протікає навіть більш інтенсивно, ніж без покриття. Це пояснюється роботою гальванічного елемента залізо-метал. Тріщини й подряпини заповнюються вологою, у результаті чого утворюються розчини, іонні процеси в яких полегшують протікання електрохімічного процесу (корозії).

Широко розповсюджений електрохімічний спосіб має ряд істотних недоліків, що обмежують його застосування. До них належать нерівномірність розподілу покриття на деталях складного профілю, труднощі при нанесенні покриття на вузли, елементи яких виготовлені з різних металів і неметалів Хімічний спосіб нанесення покрить позбавлений зазначених недоліків. Найпоширенішим способом нанесення покрить є хімічне нікелювання. Останнім часом практичне застосування одержали хімічне кобальтування й осадження деяких дорогоцінних металів. Існують також численні рекомендації складів розчинів для нанесення хімічних покрить олова, хрому, свинцю й деяких сплавів.

1.4 Підготовка поверхні виробів перед нанесенням покрить

Підготовка поверхонь перед нанесенням металопокрить полягає у видаленні окалини, жирів, оксидів і заусенців, облоя й інших поверхневих дефектів механічними, хімічними й електрохімічними методами, а також включає активацію поверхні різними способами. Таким чином, можна виділити наступні етапи підготовки виробу: механічна підготовка, знежирення, предтравлення, травлення, знешкодження й активування. Від старанності проведення цих операцій залежить якість покриття, і в першу чергу зчеплення його з основою. Розглянемо кожний з етапів.

1.4.1 Механічна підготовка

Механічна підготовка великих і середніх деталей, здійснювана для одержання мікрошорсткості поверхні, часто полягає в мокрім або сухім абразивнім обдуванні стисненим повітрям тиском 0,1 - 0,6 МПа або обробці абразивними колами й стрічками на шліфувально-полірувальних верстатах. Дрібні деталі масового виробництва галтують з абразивом в обертових барабанах або дзвонах. Один із сучасних способів підготовки поверхні виробів - вібраційна обробка (віброгалтовка або віброполіровка) - механічний або хіміко-механічний процес згладжування мікронерівностей і знімання дрібних часток з оброблюваної поверхні частками робочого середовища, що здійснює в процесі роботи коливальний рух [8, 9]. Найбільш ефективна віброхімічна обробка. Останнім часом в оптичній і деяких інших галузях промисловості знаходить широке застосування процес сатинирования - обробки деталей скляною пульпою (зваж скляного порошку у воді) у спеціальних автоматичних установках, у результаті якого утворюється матова, бархатиста поверхня.

Обробку роблять всуху або в рідкому середовищі, що містить розчин лугу, кальцінованої соди або мила. Вид обробки залежить від типу оброблюваної поверхні. Так, у випадку діелектриків в якості абразиву використовують кварцовий пісок, наждаковий порошок, електрокорунд, пемзу й інші матеріали. В умовах одиничного або дослідного виробництва для обробки застосовують шліфувальну шкурку, пемзу, абразивну пасту, сталеві щітки й т.п. У випадку металевої поверхні вибирають розчин для обробки залежно від типу металу за довідковим даними [1].

1.4.2 Знежирення

Спосіб очищення деталей від жирових забруднень визначається їхньою природою. Жири рослинного або тваринного походження практично не розчиняються у воді, але взаємодіє з розчинами лугів або солей лужних металів, утворюючи розчинні у воді мила. Жири мінерального походження, до яких на-

лежать мінеральні масла, консистентні змащення, полірувальні пасти й ін. у воді також не розчиняються. Тому для їхнього видалення використовують водяні розчини поверхнево-активних речовин (ПАР) або спеціальні органічні розчинники. Органічні розчинники можуть бути токсичні, а деякі з них пожеженебезпечні. Після видалення основної кількості жирових забруднень і видалення слідів ПАР або розчинника деталі дочищають хімічним або електрохімічним способом у лужних розчинах. Під впливом гарячого лужного розчину, що містить емульгатори й речовини, що знижують міжфазний натяг на границі водяний розчин-жир і водяний розчин-метал, відбувається розрив жирової плівки, зменшення її товщини, утворення окремих крапель масла й відрив їх від поверхні металу. При цьому одночасно видаляються й дрібні механічні забруднення. Уведення в лужні розчини поверхнево-активних речовин підсилює їх емульгуючу дію й тим самим активно впливає на видалення жирових забруднень. Сучасні синтетичні ПАР розділяються на катіоноактивні, аніоноактивні, неіногенні; до катіоноактивних ПАР відносяться солі первинних, вторинних і третинних амінів, четвертинні амонієві основи й деякі інші сполуки. Вони не мають достатньо гарні мийні властивості, токсичні й застосовуються в промисловості обмежено. До катіоноактивних ПАР належить ОС-20. Після обробки деталей у лужних розчинах, що містять ПАР, їх ретельно й щедро промивають великою кількістю води. Важче всього змиваються розчини кальцинованої соди і їдкого натру, потім розчини силікатів і легше всього розчини фосфатів.

При виборі ПАР необхідно враховувати можливість його знешкодження в стічних водах. На відміну від біологічно твердих ПАР, виведення яких зі стоків утруднене або неможливе (алкіл-сульфонати, ОП-7, ОП-10, сульфонол, НП-1, контакт Петрова) біологічно м'які ПАР (наприклад, синтанол ДС-10) добре піддаються знешкодженню. Після попереднього знежирення перед гальванічними операціями деталі звичайно піддаються електрохімічному знежиренню. Ефективність очищення поверхні металу в цьому випадку визначається електрохімічними процесами при електролізі. Процеси знежирення можуть бути інтенсифіковані застосуванням вібрації, перемішування, струминної або ультразвукової обробки. Струминна обробка особливо рекомендується для очищення вели-

когабаритних деталей. Ефективність дії ультразвукового поля заснована на явищі кавітації. Однак обробка ультразвуком вимагає значних потужностей, спеціального устаткування й додаткових витрат, що не завжди економічно доцільно. При цьому досягається висока якість очищення поверхні від хімічних і механічних забруднень.

Використовувані при знежиренні органічні розчинники можна розділити на дві групи - горючі й негорючі. До першої групи належать нафтові фракції (нефраси), бензин, гас, уайт-спірит, толуол. До другої хлоровані й фторовані вуглеводні - трихлоретілен, тетрахлоретілен (перхлоретілен), чотирьоххлористий вуглець, хладони (зокрема фреон-113 - трифтор трихлоретан). Якщо застосування розчинників першої групи вкрай небажане через їх пожеженебезпечність, то розчинники другої групи характеризуються ще й значно кращою дією, що знежирює. Обробка органічними розчинниками реалізована в цей час у сучасному устаткуванні, що знежирює.

Розповсюджений метод одночасного знежирення й травлення, що досягається одночасним уведенням у розчини для травлення ПАР, які емульгують жирові відкладання на поверхні металу, що економічно доцільно, особливо при роботі на автоматичних лініях.

1.4.3 Травлення

Є дуже важливим етапом при підготовці матеріалу до нанесення металевого покриття. Механізм травлення залежить від типу підготовленої поверхні. У випадку металевої поверхні, залежно від природи металу, у результаті впливу навколишнього середовища, а також під впливом різних обробок у процесі виготовлення - механічної, термічної і так далі, виникають оксидні плівки. Оксидні плівки з металевої поверхні приділяються як хімічним, так і електрохімічним способами. Вибір способу й умов травлення залежить від природи оброблюваного металу, товщини й характеру плівки, а також від типу обробки виробу до й після травлення.

Видаляють оксидні плівки з поверхонь металів у розчинах кислот, кислих солей, лугів і їх сумішей.

Хімічне травлення. Хімічне травлення чорних металів ведуть в основному в розчинах соляної і ортофосфорної кислот. Для запобігання корозії оброблюваного виробу в процесі травлення в травильний розчин вводять спеціальні добавки - інгібітори.

При травленні в соляній кислоті сталевих виробів на їхній поверхні в ряді випадків утворюється шлам, нерозчинний у цих кислотах. Для видалення шлаків здійснюють травлення при кімнатній температурі в рівнооб'ємній суміші сірної й соляної кислот або в розчині, що містить сірчану кислоту (30-40 г/л), хромовий ангідрид (70-80 г/л) і хлористий натрій (2-4 г/л), або електрохімічне знежирення на аноді в гарячому лужному розчині для одержання світлої поверхні на виробах з вуглецевих сталей після травлення їх необхідно послідовно обробити в розчинах наступних складів: хлорне залізо 160-170, соляна кислота 140-150, фторид амонію 45-50 г/л, пероксид водню (30 %-ий) 350-370 мол/л, сечовина 45-50 г/л.

Травлення корозійностійких сталей проводять головним чином у сумішах сірчаної, соляної, азотної й плавикової кислот. У деяких випадках до цих розчинів додають солі цих кислот, і в деяких - з метою інтенсифікації - травлення проводять в ультразвуковому полі.

Для зняття травильного шламу з поверхні нержавіючих сталей використовуються нагріті до 20-30 °С розчини наступних складів, г/л: сірчана кислота 15-30, хромовий ангідрид 70-120, хлорид натрію 3-5 (при τ=5-10 хв), азотна кислота 350-450, плавикова кислота 4-5 (при τ =1-5 хв).

Видалення оксидних плівок з поверхні нержавіючої й швидкорізальної сталі, а також титану, можна досягтися, використовуючи при температурі 370-380^{0}С розплав їдкого натру, у які введено 1,5-2 г/л гідриду натрію.

Електрохімічне травлення. Електрохімічний спосіб дозволяє знизити витрату хімікатів, скоротити тривалість процесу, майже повністю виключає насичення воднем металу при травленні. Електрохімічне травлення металів ве-

дуть переважно на аноді при постійному струмі або із застосуванням реверсування струму.

Для електрохімічної обробки деяких металів запропонований ряд розчинів.

Універсальний електроліт для електрохімічної обробки тугоплавких металів - ніобію, хрому, титану і їх сплавів має склад, % (по масі): плавикова кислота 3-4, фторид амонію 5-6, нітрат амонію 5-6 етіленгликоль 83-85, вода 8-10.

У таблиці 1.1 наведені найпоширеніші склади електролітів для електрохімічного травлення чорних металів.

Таблиця 1.1 – Електроліти й технологічні режими електрохімічного травлення сталей

Оброблювані сталі	Концентрація, г/л					I_a, А/дм^2
	H_2SO_4	HCl	HF	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	NaCl	
Вуглецеві	200-500			2-1	20-25	5-10
Кременисті		300-350	0,2-0,3			5-11
Леговані	80-100					10-20

У ряді випадків електрохімічне травлення сталевих деталей ведуть, реверсивним струмом, у лужному електроліті наступного складу, г/л; їдкий натр 100, триетаноламін 20, співвідношення тривалості катодного й анодного періодів 4:4. Вивантаження деталей проводиться в анодний період.

Швидкість травлення зростає з підвищенням температури.

Контроль якості травленої поверхні здійснюють візуально або під мікроскопом. Для визначення мікрошорсткості можуть бути використані різні мікроскопи (оптичні, металографічні, растрові, електронні), а також профілометри й профілографи.

1.4.4 Знешкодження

Для видалення значної кількості Cr^{6+}, що залишається на поверхні після виконання операцій уловлювання або промивання, провадять знешкодження, що полягає в обробці поверхні одним з розчинів знешкодження. При наступно-

му активуванні в колоїдному активаторі найбільш часто використовують розчин кислоти соляної HC1 (щільність 1,19 г/см^3), 150-500 мол/л. При цьому проміжні промивання між даними операціями не роблять (їх виконують перед знешкодженням), що дає можливість стабілізувати склад розчину активування.

Якщо промивні операції після травлення не забезпечують достатнє видалення з'єднань Cr^{6+}, знешкодження здійснюють у двох розчинах, наприклад, натрію пиросульфита $Na_2S_2O_5$ або кислоти соляної HC1, а потім після промивання - у розчині соляної кислоти.

Хром, що залишився на поверхні деталей і пристроїв, які обробляються, сприяє зниженню стабільності роботи наступних розчинів, особливо сенсибілізації й хімічного оміднення .

Готують склади знешкодження шляхом розчинення рецептурної кількості компонентів у робочій ванні, заповненою наполовину знесоленою водою, і доведення об'єму до необхідного.

Коректувати розчини можна за даними хімічного аналізу. Але часто експлуатують їх до накопичення значної кількості Cr^{3+} (про що свідчить придбання безбарвним розчином зеленуватого забарвлення), після чого заміняють свіжими.

1.4.5 Активування

Безпосередньо перед осадженням покрить на деталі проводиться активування поверхні з метою видалення тонких окісних плівок. Сталеві деталі витримують протягом 0,1-1,0 хв в 5-10%-ном розчині соляної або сірчаної кислоти, а також у суміші, що містить по 30-50 г/л кожної з кислот Висококремнисті сталі можна активувати в 0,5-1,0%-ном розчині плавикової кислоти. У випадку осадження на деталі зі сталі 20 мідного покриття з пирофосфатного електроліту активування слід проводити в розчині наступного складу концентрованих кислот (об'ємна частка, %): азотна - 40, фосфорна - 40, сірчана – 20.

Особливо велику увага необхідно звернути на активування хромонікелевих сталей типу 12Х18Н9Т, що характеризуються високою пасивністю. Перед

сріблення у роданистозалізно - синеродистому електроліті можна проводити хімічне активування протягом 20-30 хв у суміші, що складається з 100 г/л азотної кислоти й 30 г/л бифторида калію, з наступним катодним активуванням у розчині, що містить 80 г/л хлористого нікелю й 40 г/л соляної кислоти. Задовільні результати дає також анодне активування в 10-15%-ний сірчаній кислоті протягом 1-2 хв при щільності струму 10-15 А/дм^2. Для підготовки до осадження покрить на нержавіючу сталь і нікелеві сплави, наприклад пермаллой, їх можна активувати катодною обробкою в 15-20%-ній соляній кислоті протягом 20-30хв при щільності струму 8-10 А/дм^2.

Викликає увагу процес катодного активування з одночасним осадженням на деталі тонкого шару металу. Гарні результати були отримані при такій обробці деталей з вуглецевої сталі перед пірофосфатним мідненням. Електроліт містив 250 г/л сірчанокислого нікелю й 50 г/л сірною кислоти. Катодна щільність струму 8-10 А/дм^2, тривалість обробки 20-30 с.

Деталі зі сплаву 40 ХНЮ перед їх нікелюванням рекомендується після звичайного активування в розведеній соляній кислоті обробляти протягом 1-2 хв у суміші (мол): оцтова кислота - 650, азотна кислота (концентрована) - 300, соляна кислота - 5 і барвник метиленовий блакитний – 1.

Хоча видалення тонких окісних плівок з поверхні деталей вважається обов'язковою й необхідною операцією, що сприяє міцному зчепленню покриття з основним металом, останнім часом дослідження показали, що ця мета може бути досягнута іншим шляхом. Іноді на металі формуються тонкі окісні плівки певної структури й пористості, присутність яких не тільки не погіршує, але й підвищує міцність зчеплення покриття з основою, знижує пористість опадів. Прикладом ефективності такої обробки є процеси осадження металевих покрить на попередньо оксидований алюміній. Сталеві деталі перед хромуванням обробляють на аноді протягом 0,5-1,0 хв при щільності струму 15-20 А/дм^2, чавунні - протягом 20-30 с. Анодирування алюмінію перед осадженням на нього металевих покрить ведуть в 30%-ном розчині фосфорної кислоти при 1,0-1,5 А/дм^2 протягом 5-8 хв.

Для анодної обробки сталевих деталей перед осадженням на них покрить запропоновано використовувати розчини наступних складів (г/л): розчин № 1 - сірчана кислота - 700-800; розчин № 2 - сірчана кислота - 700-800 і двухромовокислий калій - 20-30. Розчин № 3 готується з концентрованих сірною й фосфорної кислот у співвідношенні 1:1 за обсягом, початкова щільність струму в перших двох електролітах- 10-15 А/дм^2, у третьому - 15-30 А/дм^2. У міру формування окісної плівки струм знижується, а напруга зростає до 10-15 В. Коли на аноді починається бурхливе виділення кисню, процес можна вважати закінченим. При експлуатації електролітів не можна допускати розведення їх водою й потрапляння іонів хлору, тому що це приводить до руйнування плівки, що пасивує, і травленню металу.

Рекомендовані склади розчинів наведено в таблиці 1.2. Розчин № 1 відрізняється малою концентрацією й невеликою витратою солі палладія, тому його використання більш доцільне, чим розчину №2. Після активування роблять промивання в непротічній знесоленій воді для вловлювання благородного металу. Потім деталі промивають у проточній воді й завантажують у ванну хімічного покриття.

Таблиця 1.2 – Склади (г/л) розчинів і режими активування

Компоненти й параметри	Номер розчину	
	1	2
Палладій двохлористий $PdCl_2$	0.1-0.5	
Кислота соляна HCl (щільність 1.19г/см^3)	1-10мл/л	
Срібло азотнокисле $AgNO_3$		2-5
Аміак водний водяний NH_3H_2O (25%-й), мл/л		10-15
Кислотність (оптимальна), pH	1.5-2.5	
Температура, ^oC	18-25	18-25
Тривалість, хв.	1-5	1-3

Коректують розчини активування за даними хімічного аналізу концентрованим розчином активатора.

Таким чином, в загальній частині наведені основні аспекти корозійного захисту металопродукції, показано що металеві покриття є одним з наймасовіших та найбільш надійних методів захисту від корозії, представлена характеристика хімічних методів нанесення металевих покрить. Однак ця технологія пот-

ребує удосконалення та адаптації для використання в конкретному виробництві. Тому основною метою спеціальної частини є розробка технології підвищення якості металопродукції шляхом нанесення покрить хімічним способом з можливістю застосування її в промисловості.

2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Побудова кінетичних залежностей процесу корозії низьколегованої сталі залежно від прикладеної напруги

Корозійні випробування низьковуглецевої сталі проводили на пластинах розміром 10х80х1 мм із отвором ∅ 3 мм. Хімічний склад сталі для проведення корозійних випробувань представлено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі

Вміст елементів, ваг. %							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
0,042	0,15	0,80	0,010	0,008	0,038	0,027	0,040

Перед випробуваннями проводили нормалізацію зразків по наступному режиму: нагрівання у вакуумній трубці 910 ^{0}C, 20 хв., охолодження із трубкою на повітрі. Робили порівняльні корозійні випробування зразків без попередньої деформації й у напруженому стані (в області переходу пружних напружень у пластичні) при застосуванні згинаючого навантаження близької напрузі границі текучості. Навантаження зразків здійснювалося заневоліванієм у струбцинах. Схема навантаження й зовнішній вигляд зразків представлено на рисунках 2.1 і 2.2. Перед випробуваннями зразки були ретельно зачищені наждаковим папером. Після зачищення були заміряні геометричні розміри зразків за допомогою мікрометра й визначена їхня маса зважуванням на аналітичних електронних вагах з точністю до 0,2 мг. Зразки поміщалися в 3% розчин NaCl з pH = 6,0. Раз у тиждень розчин заміняли новим. Перед зважуванням зразки, витягнуті з електроліту, зачищалася фільтрувальним папером до повного видалення окислів.

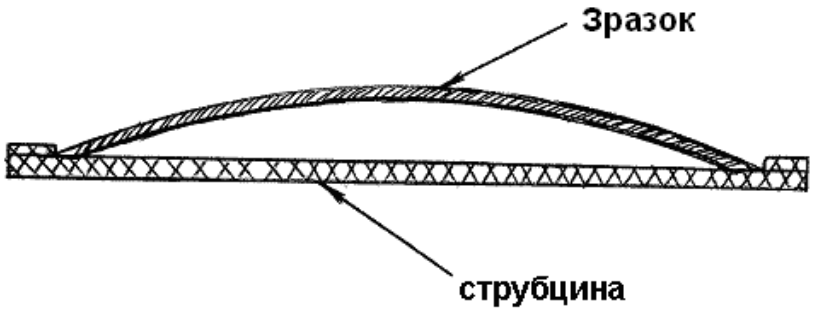
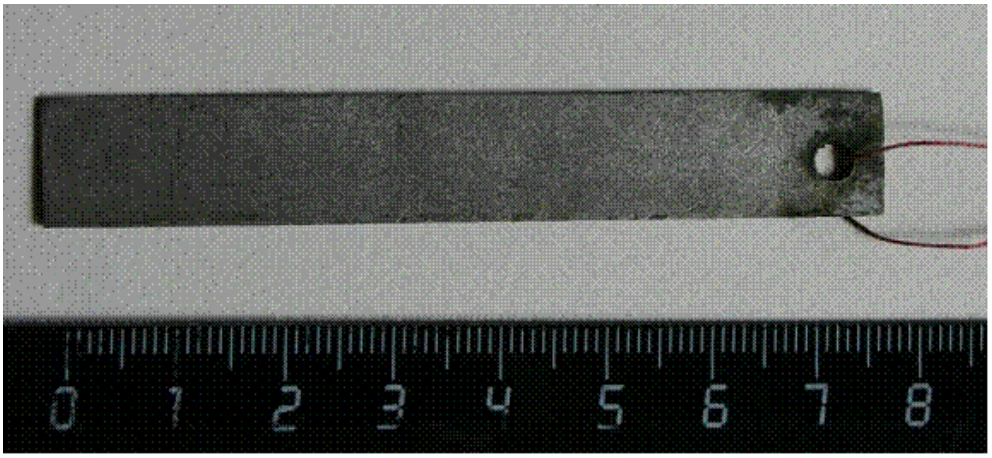


Рисунок 2.1 – Схема випробувань



а)



б)

а) без деформації; б) у деформованому стані

Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд зразків для корозійних випробувань

Результати випробувань представлено на рисунку 2.3.

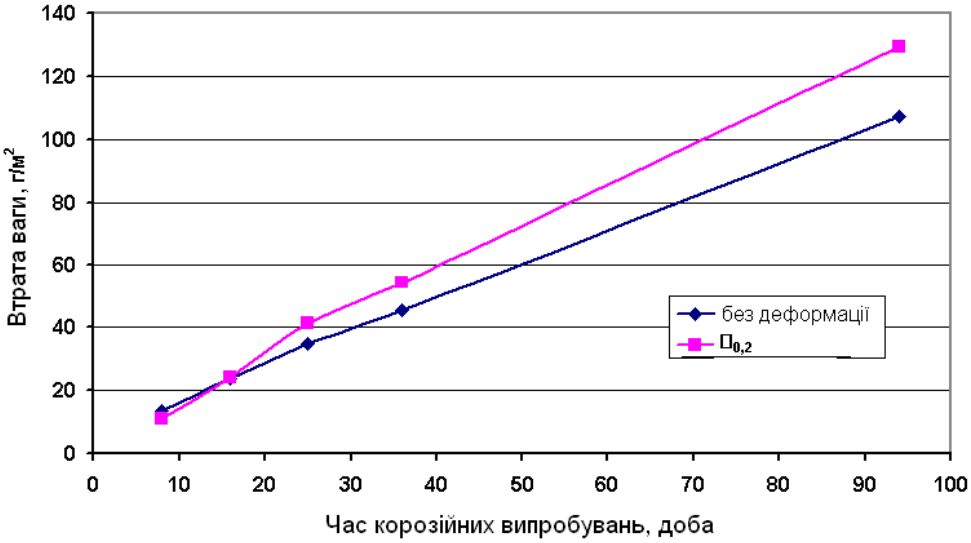


Рисунок 2.3 – Вплив деформації на втрату ваги зразків з вуглецевої сталі при корозійних випробуваннях

З рисунка видно, що схильність до загальної корозії низьковуглецевої сталі в нормалізованому й у деформованому при напрузі, близькому границі текучості, сталі станах досить близька, але в той же час очевидно, що деформація веде до збільшення швидкості корозії. Так втрата ваги за три місяці корозійних випробувань зразків без деформації склала 107 г/м^2, а деформованого металу - 129 г/м^2. Швидкість корозії визначається, як річна втрата маси з одиниці площі, віднесена до щільності сталі.

У результаті проведеного експерименту встановлено, що середня швидкість корозії зразків без деформації склала 0,0061 мм/рік, а корозія зразків під напругою становила 0,0083 мм/рік, тобто швидкість корозії в результаті деформації збільшилася на 36 %.

Таким чином, досліджена нами низьковуглецева сталь (0,042 % С) з ферритною структурою по величині річної втрати маси може бути віднесена за ДСТ 13819 до групи досить стійких сталей з балом 3 по десятибальній шкалі корозійної стійкості металів. Це обумовлене насамперед низьким вмістом вуглецю в дослідженій сталі й рівноважним структурним станом після нормалізації. Однак, навіть для такої досить стійкої до загальної корозії сталі вплив деформації на швидкість корозії виявився досить істотним.

2.2 Аналіз впливу вмісту вуглецю на швидкість корозії

Відомо, що швидкість корозійних процесів залежить від хімічного складу сталі. Оскільки в якості основного матеріалу використовуються прості вуглецеві й низьколеговані сталі, те основним фактором, від якого залежить корозійна стійкість таких конструкцій є ступінь їх чистоти по неметалічних включеннях і вміст вуглецю.

З іншого боку, швидкість корозії в значній мірі залежить від структурного стану, що ускладнює однозначне трактування впливу вмісту вуглецю.

В сталях з вмістом вуглецю від 0,05 до 0,80% зберігається єдиний характер корозійних діаграм, тобто мають місце параболічні залежності швидкості корозії від температури відпуску. Однак з ростом вмісту вуглецю швидкість

корозії збільшується при всіх режимах термообробки, а максимум швидкості зміщається від температури відпуску 250 ^{0}C для заліза армко (0,05 % С) до 400-450 ^{0}C для сталі 0,60-0,80 %С.

Як показано дослідженнями, хоча швидкості корозії сталей у загартованому стані, як правило, нижче, чим у гарячекатаному , однак для обох станів з ростом вмісту вуглецю в досліджених межах вони зростають приблизно на два порядки (в 80-140 раз). Відома також позитивна роль мікролегуючих елементів (карбонітридоутворюючих) на опір корозійним процесам. Зокрема , як показали дослідження, добавка 0,05% ніобію зрушує чутливість до міжкристалітної корозії з більшим вмістом домішок впровадження (від 0,01 до 0,015%).

Для оцінки впливу вмісту вуглецю в трубній сталі були обрані зразки труб з вмістом вуглецю 0,04; 0,13 і 0,21 %. При цьому для аналізу впливу вмісту вуглецю на швидкість корозії використовували як дані лабораторних експериментів, так і фактичні результати вимірів товщини стінки труб після тривалої експлуатації. Результати аналізу швидкості корозії залежно від вмісту вуглецю в сталі представлено в таблиці 2.2 і на рисунку 2.4. З отриманих даних випливає, що збільшення вмісту вуглецю в трубній сталі від 0,04% до 0,21%, підвищує середню швидкість корозії майже в 2 рази (з 0,08 до 0,17 мм/рік).

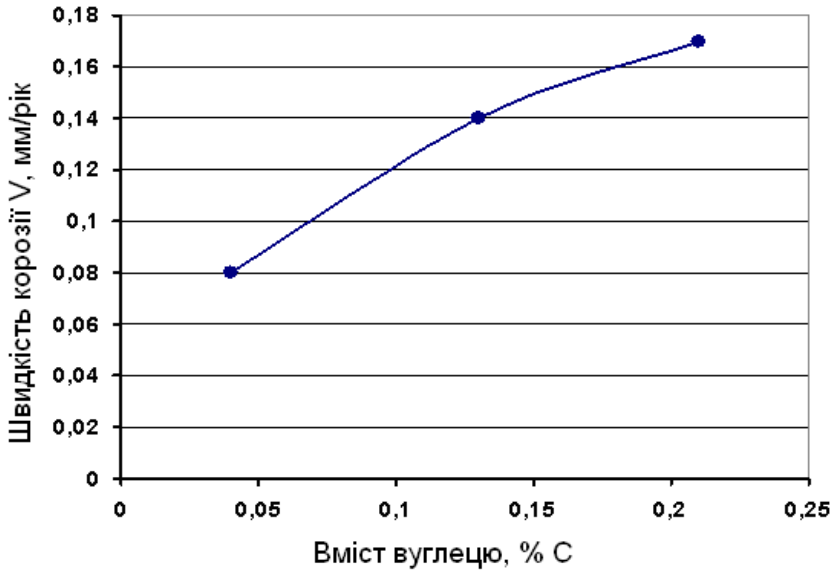


Рисунок 2.4 – Вплив вмісту вуглецю на середню швидкість корозії трубних сталей

Таблиця 2.2 – Вплив вмісту вуглецю на середню швидкість корозії трубних сталей

Вміст вуглецю, %	Строк експлуатації, роки	$t_{исх}$, мм	$T_{кон}^{ср}$, мм	$V_{ср}$, мм/рік
0,04	-	-	-	0,08
0,13	22	7	4	0,14
0,21	21	7	3,5	0,17

Таким чином, при розгляді впливу корозійних процесів на зміну напруженого стану необхідно враховувати вміст вуглецю. Збільшення вмісту вуглецю в сталі підвищує швидкість корозії, що може привести до росту рівня напруг у металі за рахунок зменшення товщини й негативно позначитися на розвитку деградаційних процесів у металі.

2.3 Аналіз впливу технології виробництва листового прокату на швидкість корозії

Накопичені до останнього часу дані про корозійну поведінку виробів зі сталі й запропоновані способи підвищення їх корозійної стійкості ставляться переважно до сталевого прокату масового застосування з вулецевих і низьколегованих сталей невисокої міцності, що поставляються для виготовлення металоконструкцій у гарячекатаному стані. Тим часом досить ефективним способом економії металу в народному господарстві за рахунок підвищення його міцності, а також забезпечення можливості заміни низьколегованих конструкційних сталей більш простими й дешевими низьковуглецевими є застосування зміцнюючої термічної обробки, особливо із прокатного нагрівання, у потоці прокатних станів.

Зміцнюючій термічній обробці піддають прокат на промислових установках на металургійних підприємствах. Оскільки термічно зміцнений стан є метастабільним, тобто характеризується підвищеною внутрішньою енергією, то такий стан у порівнянні з не зміцненим (гарячекатаним) може виявитися корозійно більш активним і приводити до обмеження використання термічно зміцненого прокату в умовах впливу корозійного середовища.

У зв'язку з недоліком і суперечливістю відомостей про корозійну стійкість вуглецевих і низьколегованих сталей після їхнього термічного зміцнення для оцінки корозійної надійності термозміцненого прокату й визначення областей його застосування були проведені систематичні дослідження з вивчення впливу структурного стану, хімічного складу сталі й режимів термічного зміцнення на корозійну стійкість металопрокату при корозії з кисневою й водневою деполяризацією.

Дослідження корозійної стійкості гарячекатаних і термічних зміцнених вуглецевих і низьколегованих сталей проводили на шліфованих зразках при перемінному зануренні в агресивні середовища, що викликають протікання корозії.

Було встановлено, що залежності швидкості корозії (втрати маси) загартованої сталі від температури відпуску ("корозійні діаграми поліпшення") мають параболічний характер з максимумом у районі 350-400^{0}С як в умовах корозії з водневою деполяризацією (1% розчин H_2SO_4), так і при корозії з кисневою деполяризацією (морська вода) (рис. 2.5).

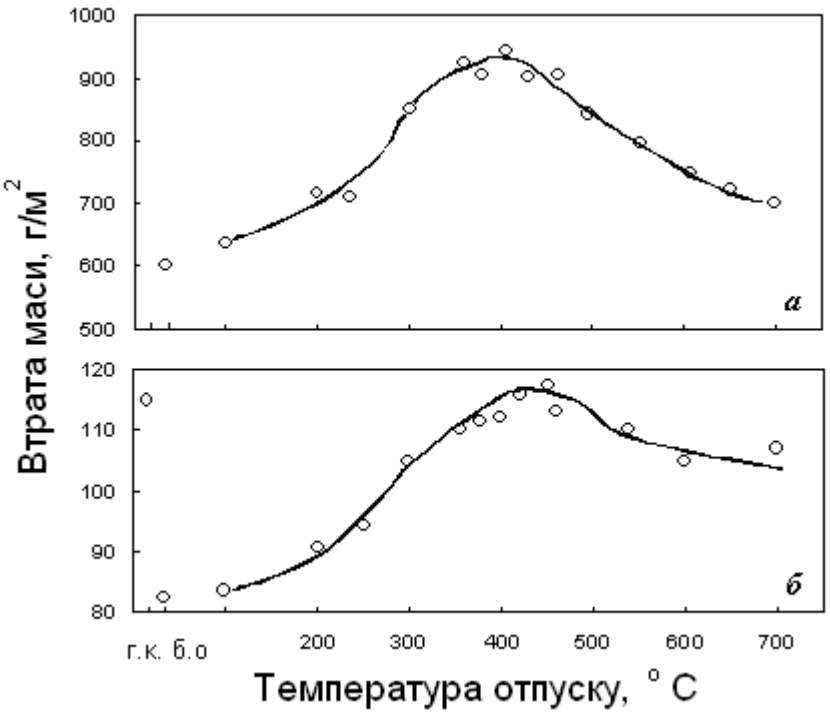


Рисунок 1.6 – Вплив загартування й відпуску на корозійну стійкість сталі 40х40х4мм марки Ст3сп при перемінному зануренні в 1% H_2SO_4 (а) і морську воду (б) протягом 450 і 750 циклів відповідно (тривалість циклу: змочування - висихання 26 хв, у тому числі 5 хв. в агресивному середовищі)

Видне, що в загартованому стані корозія в цих середовищах значно нижче, чим у не зміцненому стані, а при температурах відпуску, що відповідають максимуму корозійної активності термозміцненого металу, втрати маси виявляються в півтора раза вище, чим у загартованому стані, і перевищують втрати вихідної гарячекатаної сталі.

При зростанні температури відпуску вище максимуму корозійної активності картина змінюється: корозія знову знижується. Природно, що виникнення в певних районах відпуску (самовідпуску загартованої сталі) стану підвищеної чутливості до корозійного зношування необхідно враховувати при використанні термічно зміцненого прокату. Причини зміни корозійної активності сталі при її термічному зміцненні пов'язані з особливостями структурного стану, які виникають при загартуванні й відпустці сталі.

Підвищена корозійна стійкість після загартування пояснюється виникненням однорідної, майже однофазною мартенситною структурою. У гарячекатаному (не зміцненому) стані структура двофазна: феррит + перліт. Виникаючі при відпуску 350-450^{0}С структури мають високу корозійну активність внаслідок утворення карбідів по площинах колишніх мартенситних пластин і когерентних напруг при виділенні дисперсних часток.

Високий (більш 600^{0}С) відпуск приводить до зниження корозійних втрат внаслідок розвитку процесів коагуляції карбідних часток, підвищення рівномірності їх розподілу у феритній матриці, зменшення дефектності кристалічних ґрат і зняття залишкових напруг.

Установлене, що й при атмосферних випробуваннях (міська й промислова атмосфера коксохімічного заводу) вуглецева сталь марки Ст3сп у загартованому стані ($\sigma_в$ =1300 МПа) виявляє помітне поліпшення корозійної стійкості в порівнянні із двофазним гарячекатаним станом, але при утворенні в результаті термічного зміцнення змішаної структури продуктів розпаду аустеніту, корозійна стійкість металу погіршується.

Підвищення ступеня неоднорідності структурного стану, пов'язаного з появою нових структурних складових при відповідних режимах термічної обробки,

зміна форми й дисперсності упрочняющих фаз, довжини міжфазних границь і інші фактори можуть значно впливати на електрохімічну поведінку сталей.

Легування сталі приводить до зміни службових властивостей, у тому числі й корозійної стійкості, у гарячекатаному й термоупрочненному станах як за рахунок зміни складу твердого розчину (α-заліза), так і внаслідок їхнього впливу на процеси структуроутворення при термічній обробці.

Був досліджений вплив марганцю (0,66-1,68%) і кремнію (0,3-1,5%) на корозійну стійкість в 1% розчині H_2SO_4 низьковуглецевої сталі, термозміцненої по різних режимах. Установлене, що в загартованому стані корозія сталей, що містять марганець або кремній, на 25-40% нижче, чим у не зміцненому (гарячекатаному або відпаленому).

Відзначений позитивний вплив кремнію на корозійну стійкість низьколегованих сталей. Тому трубні сталі, що містять кремній менш схильні до корозії, чим сталі без нього.

Особливо благотворно впливає на корозійну стійкість легування сталі міддю. При цьому відомо, що мідь приводить до зниження швидкості корозії в 2,5-3 рази, як у гарячекатаному, так і в термічно обробленому стані [31].

Значно більш ефективним для одержання сприятливої комбінації міцності, пластичності й корозійної стійкості є термомеханічна обробка прокату із прискореним охолодженням (рис. 2.6).

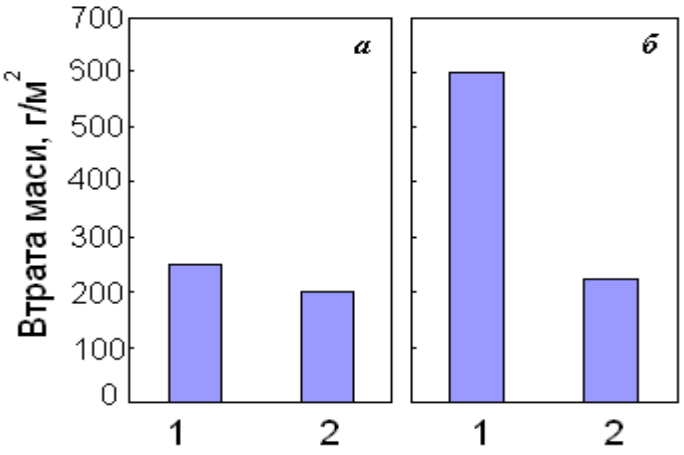


Рисунок 2.6 – Корозійна стійкість гарячекатаної (1) і термомеханічно зміцненої із прокатного нагрівання (2) сталі марки Ст3сп при випробуваннях в 3% NaCl (а) (1100 цикл змінного занурення) і в 1% H_2SO_4 (б) один цикл: 6 хв. - змочування; 22 хв. – висихання

Це обумовлене тим, що поверхневі шари при термічному зміцненні зазнають прискореного охолодження з утворенням продуктів мартенситного або проміжного перетворення. Наступий відпуск (або самовідпуск за рахунок тепла внутрішніх шарів металу) приводить до утворення стабільної дрібнозернистої структури з рівномірно розподіленими, глобулярними карбідами й низьким рівнем залишкових мікронапруг.

Таким чином, для зниження швидкості корозії необхідно забезпечити наступні основні умови:

- знижене вмісту вуглецю (≤0,10%);

- оптимальне легування марганцем, кремнієм і міддю;

- мікролегування карбонітридоутворюючими елементами, що знижують вміст вільного вуглецю й азоту у твердому розчині розчину;

- використання при виробництві термомеханічно зміцненого прокату з наступним прискореним охолодженням, що забезпечують одержання однорідної дисперсної структури.

2.4 Виявлення критичних значень напруг залежно від тривалості експлуатації й ступеню деградаційних і корозійних процесів

Аналіз отриманих результатів досліджень кінетики корозійних і деградаційних процесів сталей різного марочного складу показує, що, по-перше, зменшення товщини металу в результаті корозії повинне викликати підвищення рівня напруг, а по-друге, зниження опору руйнуванню (в основному роботи зародження тріщини) повинне привести до зміни критичних напружень, що викликають руйнування металу.

Аналіз впливу зміни товщини металу на напруги може бути зроблений на основі експериментальних і фактичних даних, тоді як для аналізу впливу ступеню деградаційних процесів експериментальних даних не достатньо. Необхідні розрахункові оцінки рівня критичних напружень виходячи зі співвідношень механіки руйнувань.

Оцінку критичних силових параметрів металу залежно від ступеня корозійного пошкодження проводили на основі даних про швидкість корозії трьох складів по вмісту вуглецю трубних сталей - 0,04%С, 0,013%С и 0,21%С. Визначали зміну рівня напруг у стінці труб у процесі експлуатації для робочого тиску (6 атм) і трьох варіантів випробних тисків при гідравлічних випробуваннях теплових мереж (20 атм , 26 атм і 30 атм). При цьому оцінювали вплив корозійного ушкодження труб чотирьох діаметрів 200, 400, 800 і 1420 мм із наступною товщиною стінки:

- 6 мм для ∅ 200 мм;
- 7 мм для ∅ 400 мм;
- 9 мм для ∅ 800 мм;
- 11 мм для ∅1420 мм.

Результати аналізу представлено на рисунках 2.7-2.18. Для оцінки критичних параметрів металу трубопроводу при різних величинах випробного тиску на рисунках показане значення границі текучості у вихідному стані й межі пропорційності досліджених сталей у состаренному стані. Вони необхідні для виявлення умов втрати стійкості труби, тобто початку пластичної деформації.

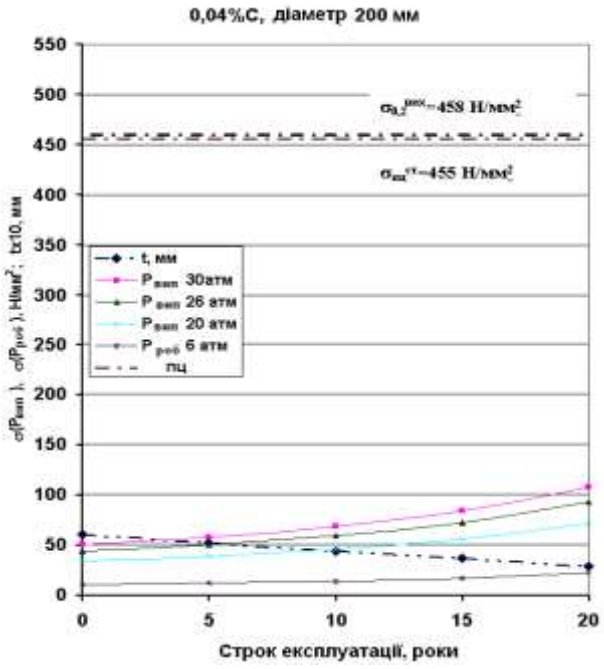


Рисунок 2.7 - Зміна кільцевих напруг при робочих й випробних тисках у результаті зміни товщини стінки труби при тривалій експлуатації для сталі з 0,04% вуглецю (діаметр труби 200 мм, вихідна товщина стінки 6 мм)

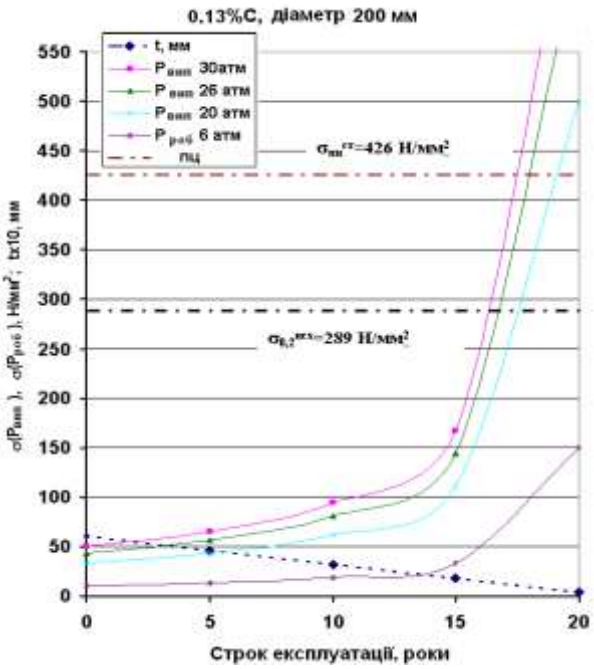


Рисунок 2.8 - Зміна кільцевих напруг при робочих й випробних тисках у результаті зміни товщини стінки труби при тривалій експлуатації для сталі з 0,13% вуглецю (діаметр труби 200 мм, вихідна товщина стінки 6 мм)

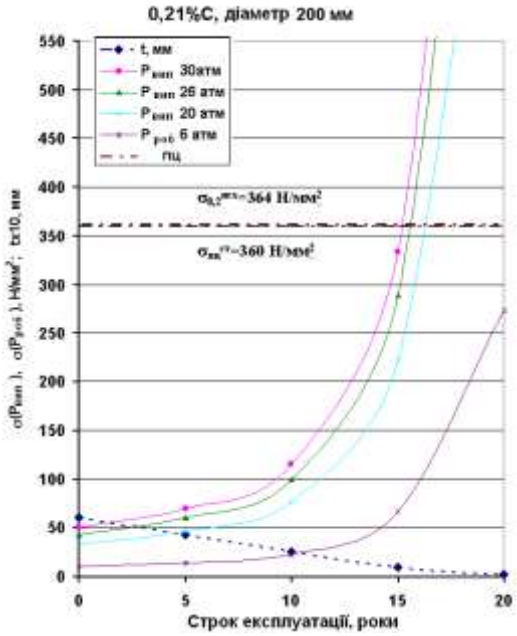


Рисунок 2.9 - Зміна кільцевих напруг при робочих й випробних тисках у результаті зміни товщини стінки труби при тривалій експлуатації для сталі з 0,21% вуглецю (діаметр труби 200 мм, вихідна товщина стінки 6 мм)

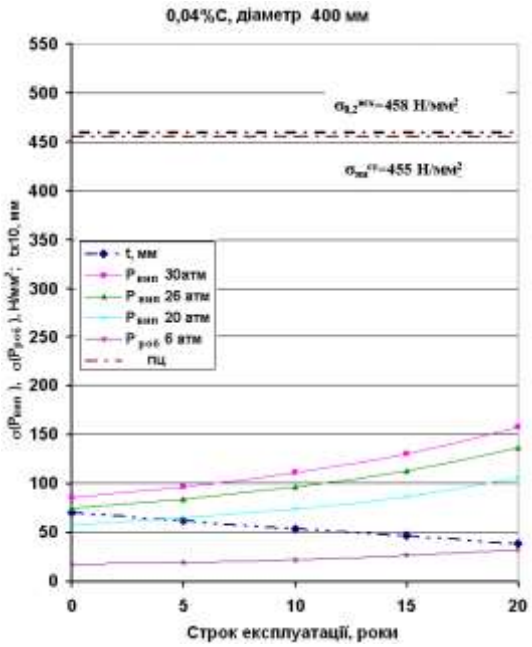


Рисунок 2.10 - Зміна кільцевих напруг при робочих й випробних тисках у результаті зміни товщини стінки труби при тривалій експлуатації для сталі з 0,04% вуглецю (діаметр труби 400 мм, вихідна товщина стінки 7 мм)

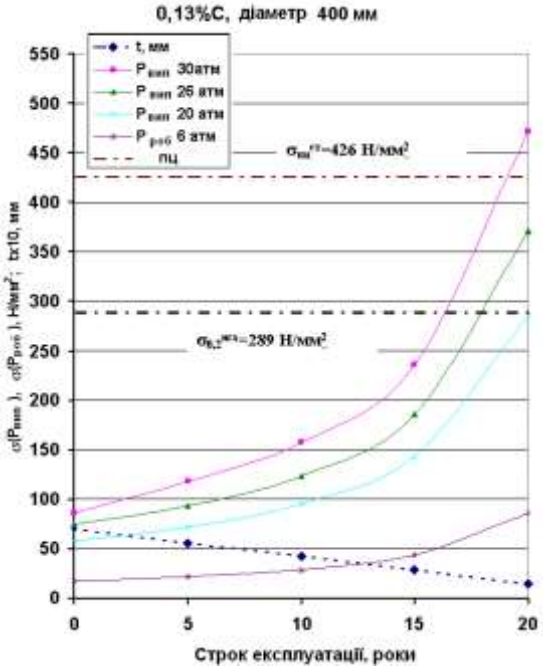


Рисунок 2.11 - Зміна кільцевих напруг при робочих й випробних тисках у результаті зміни товщини стінки труби при тривалій експлуатації для сталі з 0,13% вуглецю (діаметр труби 400 мм, вихідна товщина стінки 7 мм)

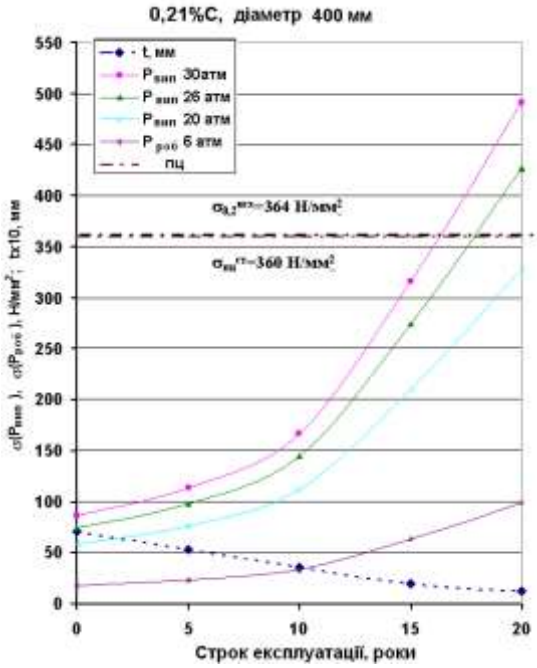


Рисунок 2.12 - Зміна кільцевих напруг при робочих й випробних тисках у результаті зміни товщини стінки труби при тривалій експлуатації для сталі з 0,21% вуглецю (діаметр труби 400 мм, вихідна товщина стінки 7 мм)

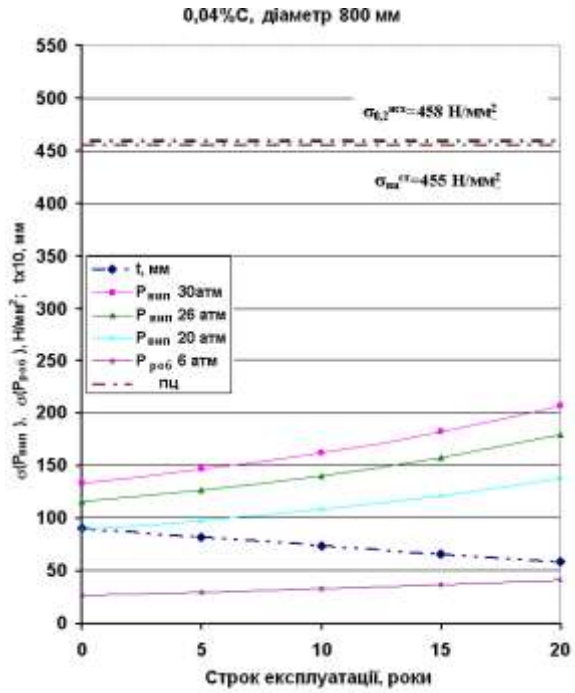


Рисунок 2.13 - Зміна кільцевих напруг при робочих й випробних тисках у результаті зміни товщини стінки труби при тривалій експлуатації для сталі з 0,04% вуглецю (діаметр труби 800 мм, вихідна товщина стінки 9 мм)

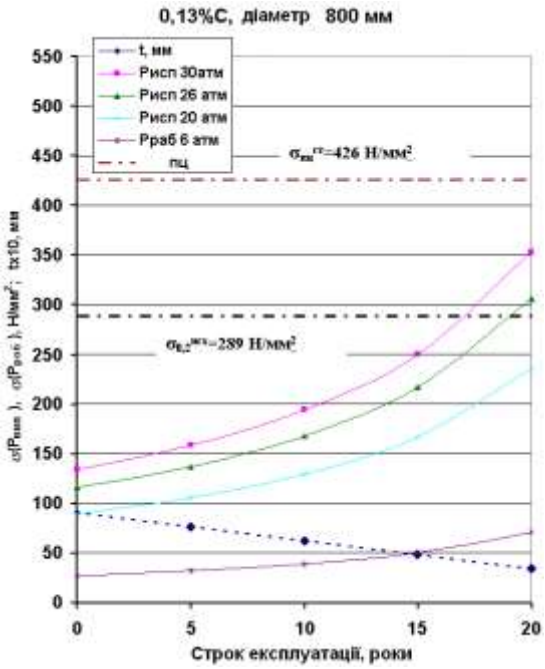


Рисунок 2.14 - Зміна кільцевих напруг при робочих й випробних тисках у результаті зміни товщини стінки труби при тривалій експлуатації для сталі з 0,13% вуглецю (діаметр труби 800 мм, вихідна товщина стінки 9 мм)

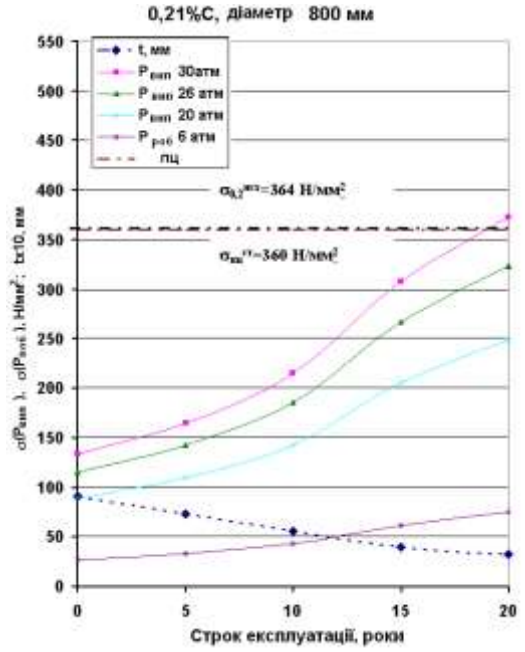


Рисунок 2.15 - Зміна кільцевих напруг при робочих й випробних тисках у результаті зміни товщини стінки труби при тривалій експлуатації для сталі з 0,21% вуглецю (діаметр труби 800 мм, вихідна товщина стінки 9 мм)

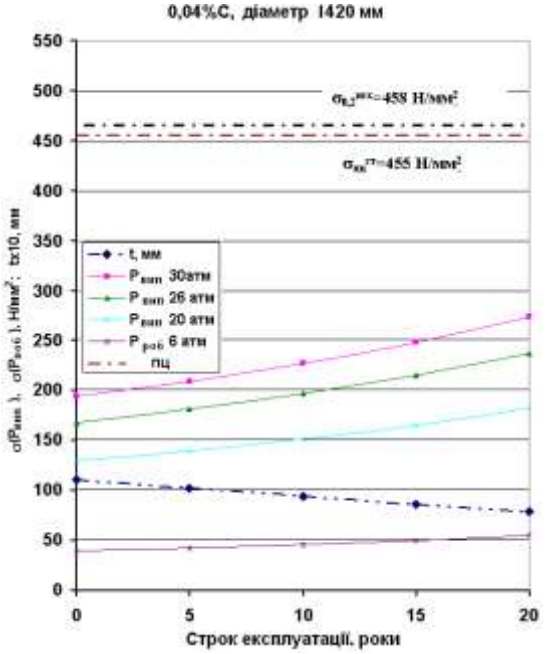


Рисунок 2.16 - Зміна кільцевих напруг при робочих й випробних тисках у результаті зміни товщини стінки труби при тривалій експлуатації для сталі з 0,04% вуглецю (діаметр труби 1420 мм, вихідна товщина стінки 11 мм)

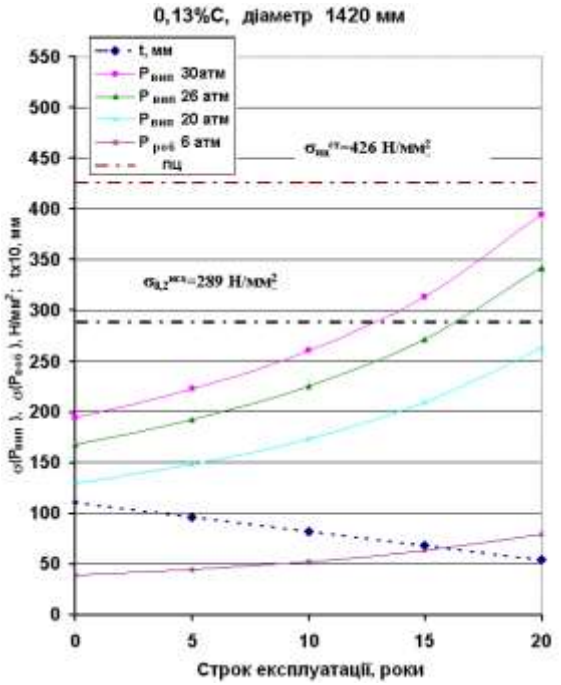


Рисунок 2.17 - Зміна кільцевих напруг при робочих й випробних тисках у результаті зміни товщини стінки труби при тривалій експлуатації для сталі з 0,134% вуглецю (діаметр труби 1420 мм, вихідна товщина стінки 11 мм)

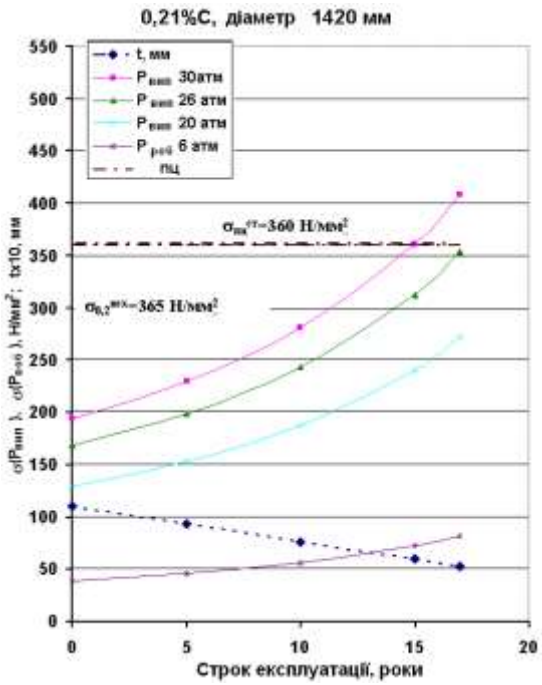


Рисунок 2.18 - Зміна кільцевих напруг при робочих й випробних тисках у результаті зміни товщини стінки труби при тривалій експлуатації для сталі з 0,21% вуглецю (діаметр труби 1420 мм, вихідна товщина стінки 11 мм)

На рисунках 2.7, 2.10, 2.13, 2.16 представлені криві зміни товщини стінки труби й кільцевих напруг при експлуатації для чотирьох рівнів внутрішнього тиску з низьким вмістом вуглецю в сталі 0,04%. Видно, що з розвитком корозійних процесів відбувається ріст кільцевих напруг тем більший, ніж більше діаметр труби. Однак, при всіх досліджених випробних тисках рівень кільцевих напруг навіть після 20 років експлуатації нижче, чим величина межі пропорційності. Для труб малого діаметра (200 мм) вони в 4,5 рази, а для труб великого діаметра (1420 мм) в 1,7 рази нижче, чим межа пропорційності.

Таким чином, для сталі з дуже низьким вмістом вуглецю корозійні процеси й ріст кільцевих напруг, пов'язаних з ними не є основними факторами, що визначають конструктивну міцність.

Збільшення вмісту вуглецю до 0,13% збільшує схильність сталі до корозії (рис. 2.8, 2.11, 2.14, 2.17). Для труб малого діаметра (200 мм) після 15 років експлуатації товщина стінки виявляється тонше на половину. При цьому кіль-

цеві напруги різко зростають, досягаючи при всіх досліджених випробних тисках критичних значень, що приводять до втрати стійкості й руйнуванню труб.

Для труб більшого діаметра (400 мм) із цієї сталі критичне напруження досягається в інтервалі інтервалу 17-20 років експлуатації.

У трубах діаметром 800 і 1420 мм після 20 років експлуатації кільцеві напруги перевищують границю текучості у вихідному стані й близькі до межі пропорційності сталі в зістареному стані. Вони досягають 0,5-0,9 від $\sigma_{пц}^{ст}$, що збільшує небезпеку руйнування.

Нарешті, як поводиться сталь із 0,21% вуглецю в процесі експлуатації, видно з рис. 2.9, 2.12, 2.15, 2.18. Для труб малого діаметра (200 і 400 мм) через 10 років експлуатації товщина стінки може стати на 50% тонше, чим вихідної труби. Це приводить до того, що після 15 років експлуатації кільцеві напруги досягають значення вище межі руйнівного напруження металу, що викликає втрату стійкості й руйнування.

Для труб великого діаметра (800 і 1420 мм) така ситуація наступає після 20 і 15 років експлуатації відповідно (рис. 2.15, 2.18).

Таким чином, установлені наступні основні закономірності впливу корозійних процесів на рівень кільцевих напруг у металі металу труб:

- найменш піддані корозії й отже, до зменшення товщини стінок труб, що приводять до росту зростання кільцевих напруг при експлуатації труби сталі з низьким вмістом вуглецю (≤ 0,10%) і підвищеною міцністю (530 Н/мм^2);

- збільшення вмісту вуглецю до 0,21% збільшує схильність корозії трубної сталі, що викликає більш швидке зменшення товщини стінок труб ріст кільцевих напруг у ході експлуатації аж до критичних;

- рівень кільцевих напруг при гідравлічних випробуваннях труб великого діаметра вище, чим у трубах малого діаметру, однак темпи росту цих напруг для останніх вище;

- кільцеві напруги, що зростають за рахунок протікання корозійних процесів, досягають критичних значень для труб малого діаметра в середньому через 15 років, а для труб великого діаметра через 15-20 років експлуатації.

2.5 Устаткування для процесів хімічного осадження металевих покрить

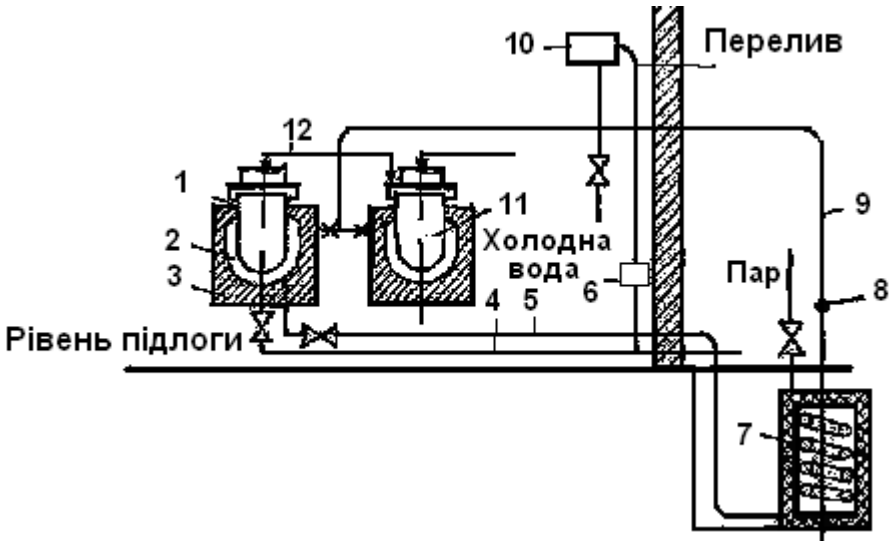
Для проведення процесу хімічного відновлення металів досить істотним є підбор матеріалу ванни. Матеріал повинен відповідати наступним вимогам, бути хімічно стійким до розчинів з кислотністю в межах pH 3-11 і витримувати температуру до 100 °С без зміни фізико-хімічних і механічних властивостей. Тому найбільш прийнятними матеріалами є порцеляна, емалі, скло, полиетілен.

У якості джерела струму застосовують акумулятор або батарею акумуляторів або ж використовують живлення від мережі змінного струму через випрямляч. Анодна щільність струму - 0,004 А/дм^2, катодна щільність струму не повинна перевищувати 25-30 А/дм^2.

Поверхню катода (пластини з корозійностійкої сталі) розраховують виходячи із заданої катодної щільності струму або сили струму, що подають на ванну з корозійностійкої сталі марки Х18Н9Т. Накладенням на металеву конструкцію слабкого анодного струму можна тривалий час підтримувати метал у пасивному стані, гальмуючи вплив на нього агресивного середовища.

Установка для одноразового покриття деталей у непроточному розчині являє собою зварену залізну або порцелянову ванну, поміщену в ємність більшого розміру термостат. Простір між стінками обох ванн заповнюють водою або маслом, які нагрівають електронагрівальними приладами або гострою парою. У ванні встановлюють контактний термометр із терморегулятором для підтримки необхідної температури робочого розчину. При використанні в якості ванн порцелянових казанів, футерованих кобальтовою емаллю, необхідно дотримувати особливої обережності, щоб при зриві деталі з підвіски порцелянова ванна не була ушкоджена.

Розглянемо кілька апаратурних схем на прикладі хімічного нікелювання. На рисунку 2.19 показана принципова схема установки для хімічного нікелювання деталей у коректуємому непроточному лужному розчині, підігрів якого здійснюють за допомогою циркулюючої по спеціальній системі води, що підігрівається в особливому баку зі змійовиком.

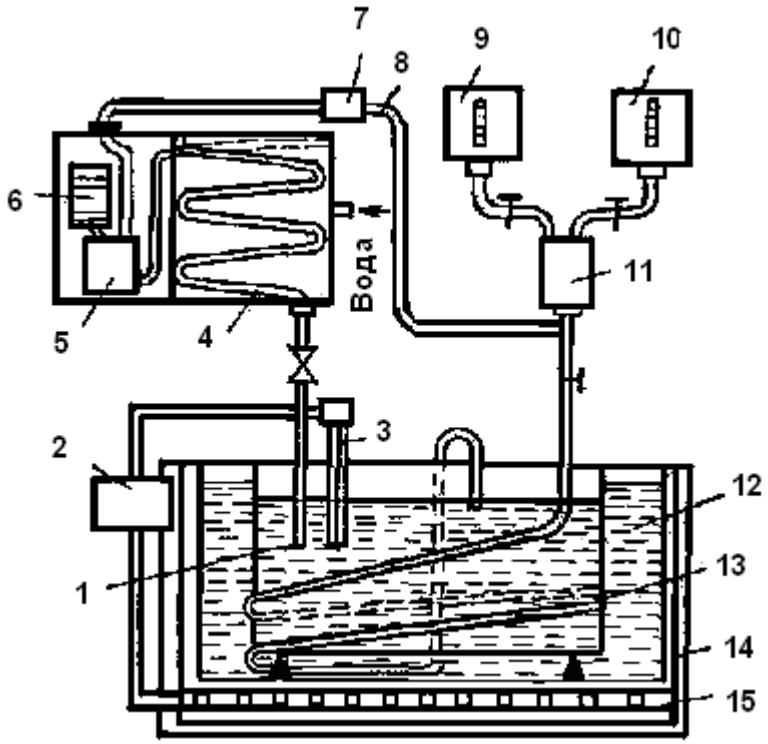


1 - ванна для нікелювання; 2 - обігрівальна сорочка; 3 - термоізоляція; 4 - лінія цехової каналізації; 5 - трубопровід для охолодження води; 6 - бочок для зливу води; 7 - бак для подігріва води; 8 - термометр; 9 - трубопровід з термоізоляцією для гарячої води; 10 - розширювальний бачок; 11 - ванна для коректування; 12 - фільтр

Рисунок 2.19 – Принципова схема установки для хімічного нікелювання в коректуємому непроточному лужному розчині

Установка складається із двох 100-літрових ванн 1 і 11, залізні баки, футеровані кобальтовою емаллю Е-1. Одна ванна призначена для хімічного нікелювання, інша для фільтрування й коректування відпрацьованого розчину. Баки обігріваються циркулюючою по замкненому контуру водою, нагрітої паровим змійовиком до 98 °С. Підігрівник 7 розташований нижче рівня підлоги для забезпечення безперервності циркуляції за рахунок різниці щільностей гарячої й охолодженої води, щоб не використовувати насос. Трубопровід гарячої води 9 і підігрівник мають теплоізоляцію. Фільтрують і коректують розчин один раз у добу на початку робочого дня. Коректувальні розчини містять (г/л): перший - хлористого нікелю 160; хлористого амонію 50; лимоннокислого натрію 45, другий - гіпофосфіта натрію 400-500. Кількість коректувальних розчинів встановлюється аналізом або розрахунковим шляхом, pH 8-9 підтримують додаванням 25 %-ного розчину аміаку. Середня щільності завантаження ванни деталями - 40 дм^2. Деталі завішують на сталевому дроті або в кошику зі склотканини.

Принципова схема установки для хімічного нікелювання в лужному коректуємому проточному розчині показано на рисунку 2.20.

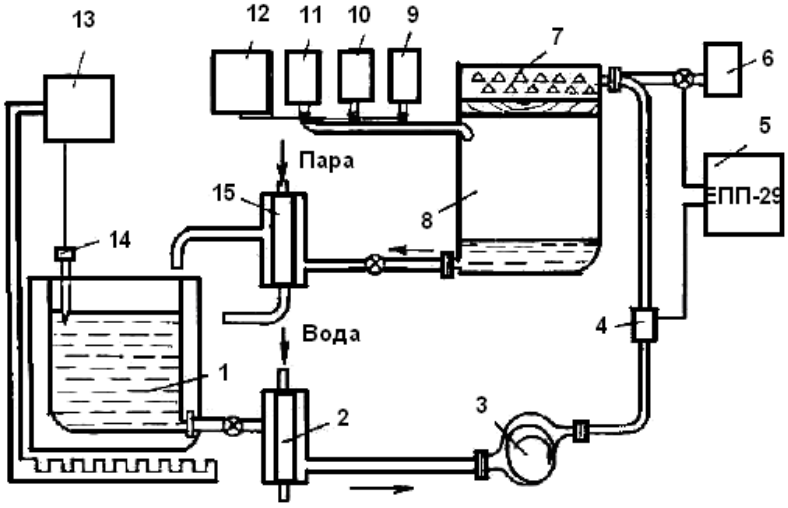


1 - ванна для нікелювання; 2 - термометр; 3 - контактний термометр; 4 - змійовик; 5 - насос; 6 - електродвигун; 7 - фільтр; 8- трубопровід; 9 - коректувальний бак з концентрованим розчином хлористого нікелю й гіпофосфіта натрію; 10 - коректувальний бак з 25% розчином аміаку; 11 - змішувальний бак; 12 - водяна або масляна сорочка; 13 - змійовик; 14 - ванна- термостат; 15 - електронагрівальний елемент

Рисунок 2.20 – Принципова схема установки для хімічного нікелювання деталей у коректуємому проточному лужному розчині

Гарячий розчин з ванни нікелювання 1 безупинно перекачується поршневим насосом 5, проходить через змієвиковий холодильник 4 і фільтр 7 після чого по трубопроводу 8 вертається у ванну. У ванну необхідними порціями з коректувальних баків 9 і 10 подається самопливом розчини хлористого нікелю гіпофосфіта натрію й аміаку. Розчини надходять у змішувальний бак 11, а з нього у ванну нікелювання. Трубопровід 8 з'єднаний з ємністю, наповненою розчином для нікелювання. Коли відпрацьований і відфільтрований розчин змінює забарвлення (стає зеленим, що не відповідає необхідній кислотності), у ванну додається розчин аміаку.

Принципова схема автоматизованої установки для хімічного нікелювання деталей у проточному кислому розчині, що регенерується, показано на рисунку 2.21.



1 - ванна нікелювання; 2 - теплообмінник для охолодження відпрацьованого розчину; 3 –насос; 4 - датчик ДКІ -1; 5 - електронний pH – метр; 6 - коректувальний бачок з розчином гидроксида натрію; 7 – фільтр; 8 - змішувальний бак; 9; 10; 11 - бачки з концентрованими розчинами хлористого нікелю; гіпофосфіта натрію і яблучної кислоти; 12 - автомат програмного коректування; 13 - автоматичний терморегулятор; 14 - контактний термометр; 15 - теплообмінник для нагріву регенерованого розчину

Рисунок 2.21 – Принципова схема автоматизованої установки для хімічного нікелювання деталей у проточному кислому розчині, що регенерується

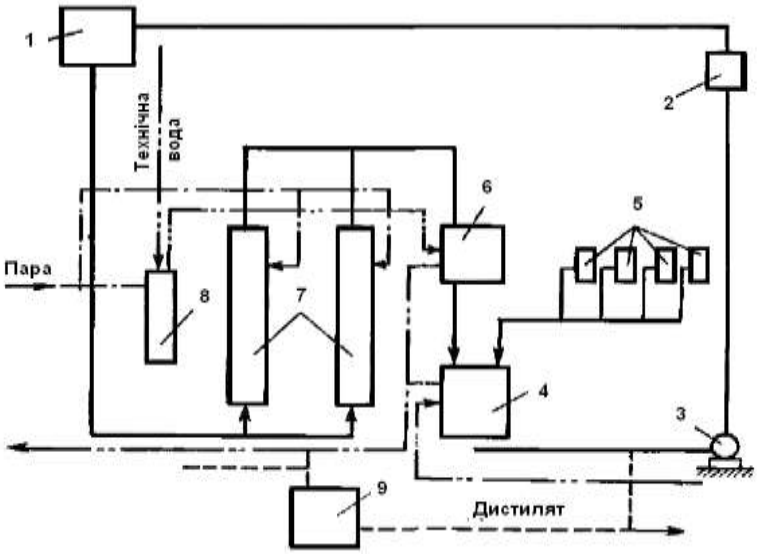
Розчин, нагрітий до 88 °С, надходить із ванни 1 у теплообмінник 2, де охолоджується водою до 55 °С и потім перекачується насосом 3 у змішувальний бак 8 через фільтр 7. За допомогою датчика 4 автоматичного електронного pH-метра 5 і виконавчого механізму відкривається кран коректувального бачка 6 з розчином гидроксида натрію для доведення до заданого значення pH розчину. У бак 8 з бачків 9, 10 і 11 за допомогою автомата програмного коректування 12 надходять визначені порції концентрованих розчинів солей нікелю, гіпофосфіта й буферної добавки. Температура розчину підтримується автоматичним терморегулятором 13 з електронагрівниками, які підігрівають масляну сорочку реактора. Датчиком є контактний ртутний термометр 14. Включення електронагрівників здійснюється магнітним пускачем через проміжне реле. Відфільтрований і відкоректований розчин проходить через теплообмінник 15, де підігрівається до 88-90 °С, після чого надходить у ванну - порцеляновий казан з тубусами. Теплообмінник 2 складається із двох концентрично розташованих посу-

дин. Зовнішня посудина з'єднана з ванною й насосом, по внутрішній посудині протікає водопровідна вода.

Коловратний насос 3 з корозійностійкої сталі або пластмаси має продуктивність 2-6 л/хв. Фільтруючий елемент бязь, коректувальні бачки являють собою порцелянові казани з тубусами. Трубопроводи виготовлені із фторопласта або кислотостійкої гуми. Автоматичний електронний pH - метр дозволяє заміряти pH від 1 до 8. Автомат програмного коректування складу розчину заснований на використанні електронного універсального реле часу. Дозування кількості компонентів, що додаються, задається зміною відповідних опорів, які підключаються в ланцюг при спрацьовуванні реле. Через задані проміжки часу крокoвий шукач включає виконавче реле, а його контакти (магніти виконавчих механізмів) відкривають крани коректувальних бачків.

Технічна характеристика установки: ємність реактора - 35 л; загальний об'єм розчину, що заливається, в установку - 55 л; ємність змішувального бака - 35 л; ємність бачків з розчинами компонентів - 5-7 л, швидкість прокачування розчинів 2-6 л /хв; габаритні розміри установки - 180 Х 700 Х 1250 мм, площа виробів, що одночасно покриваються, - 50 дм^2.

Для хімічного нікелювання виробів різної номенклатури розроблена установка, приведена на рис. 2.22.



1 - напірний бак; 2 - фільтр; 3 - насос; 4 - бак; 5 -коректувальні баки; 6 - ванна-реактор; 7 - нагрівач; 8 - пароводопідігрівач; 7 - ємність для конденсату

Рисунок 2.22 – Принципова схема автоматизованої установки хімічного нікелювання деталей різної номенклатури

Установка складається з бака 4 для приготування й коректування розчину хімічного нікелювання, насоса 3 для перекачування приготовленого й відфільтрованого через фільтр 2 розчину в напірний бак 1, нагрівачів 7 для підігріву розчину, ванни 6 ємністю 100 л для хімічного нікелювання й бачків з коректувальними розчинами 5. Відпрацьований розчин безупинно стікає в бак 4 для приготування й коректування розчину. Установка включає також пароводопідігрівач 8 і ємність для конденсату 9.

Установка має пульт управління й працює по автоматичному циклу. Що стосується матеріалів, з яких зроблені окремі вузли установки, то нагрівач 7 складається із трубчастої камери, що гріє, і емальованих знімних труб, що гріють. Окремі частини нагрівача, що стикаються з розчином мають лакофарбове покриття, що складається із двох шарів клею БФ-2, пигментованого окисом хрому, і двох шарів верств епоксидно-фенольного лаку Точно так само захищені насос, прилади КВП і інші частини. Апаратура, яка стикається з ненагрітим розчином, виконана з вініпласту, сталі, футерованої поліетіленом, корозійностійкої сталі без покрить. Трубопроводи для нагрітого розчину - поліетиленові, вентилі футеровані поліетіленом. Вода для обігріву труб нагрівача може додатково підігріватися парою, що подається в міжтрубний простір камери, що гріє.

Технічна характеристика: загальний об'єм розчину - 600 л, швидкість циркуляції розчину - 400 г/л , температура розчину 90-92 °С, ємність ванни - 100 л, поверхня виробів - 200 дм^2, швидкість нікелювання - 15-20 мкм/год продуктивність по масі покриття, що осаджується, - 0,4 кг/год, габаритні розміри – 4,5х1,5х5,5 м.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ХІМІЧНОГО НІКЕЛЮВАННЯ ТА КОБАЛЬТУВАННЯ

3.1 Область застосування й умови утворення Ni - P-покрить

Хімічне нікелювання достатнє широко впроваджується в гальванотехніку завдяки цінним властивостям покриття: високій рівномірності, великій твердості, значній корозійній стійкості й зносостійкості.

Хімічно нанесений нікель має більш високі захисні властивості через меншу пористість, чим електрохімічно нанесений нікель, а також тому, що осади, що містять у своєму хімічному складі фосфор, більш стійкі до агресивних середовищ, ніж чистий нікель.

Внаслідок своїх специфічних властивостей хімічне нікелювання знаходить застосування в багатьох галузях металургії, машинобудування й приладобудування для покриття металевих виробів складного профілю (із глибокими каналами й глухими отворами), для збільшення зносостійкості тертьових поверхонь деталей машин; для підвищення корозійної стійкості в середовищі киплячого лугу й перегрітого пару; для заміни хромового покриття (з наступною термічною обробкою хімічного нікелю), щоб використовувати замість корозійно-стійкої сталі більш дешеву сталь, покриту хімічним нікелем, для нікелювання великогабаритної апаратури, для покриття непровідних матеріалів, пластмас, скла, кераміки й т.п.

Згідно із сучасними представленнями, сумарний процес хімічного нікелювання містить у собі, принаймні, три реакції –

$$NiCl_2+2NaH_2PO_2+2H_2O\rightarrow Ni+2NaH_2PO_3+H_2+2HCl$$

$$2NaH_2PO_2\rightarrow NaH_2PO_3+P+NaOH+1/2H_2$$

$$NaH_2PO_2+ H_2O\rightarrow NaH_2PO_3+H_2.$$

Механізм процесу хімічного нікелювання дуже складний. Згідно з останніми дослідженнями, механізм реакцій при хімічному нікелюванні носить наступний характер.

Першою стадією процесу є реакція взаємодії гіпофосфіта з водою. Ця реакція, що протікає на каталітичній поверхні, полягає в заміні водню зі зв'язку P - H у молекулі гіпофосфіта на групу —OH з води. Реакція, що описує цю взаємодію, виражається рівнянням

$$H_2PO^-_{2адс} + OH^-_{адс} \rightarrow H_2PO^-_3 + H_{адс} + e \qquad (3.1)$$

Електрон і адсорбований атом водню, що утворюються при реакції в умовах кислого й слаболужного середовища взаємодіють із іоном водню по реакції

$$H_{адс} + e + H^+_{адс} \rightarrow H_2$$

Сумарна реакція взаємодії гіпофосфіта з водою відповідає рівнянню

$$H_2PO^-_{2адс} + H_2O_{адс} \rightarrow H_2PO^-_3 + H_2 \qquad (3.2)$$

В умовах лужного середовища електрон і атом водню зі зв'язку P - H, що утворюються при окисненні гіпофосфіту у фосфіт, взаємодіючи з водою, приводять до молізації по типу електрохімічної десорбції:

$$H_{адс} + e + H_2O_{адс} \rightarrow H_2 + OH^- \qquad (3.3)$$

Враховуючи, що друга константа дисоціації іона фосфіту досить велика, можна вважатися, що молізація водню безпосередньо пов'язана з дисоціацією цього іона. У цьому випадку реакція електрохімічної десорбції може бути представлена рівнянням:

$$H_2PO^-_{2адс} + H_{адс} + e \rightarrow HPO^{2-}_3 + H_2 \qquad (3.4)$$

З рівняння наочно видне, що процес окиснення гіпофосфіта водою приводить до зниження pH розчину. Зниження pH розчину може виявитися й результатом безпосередньої нейтралізації іона $H_2PO_3^-$ іоном OH^-.

При наявності в розчині іонів нікелю електрони відновлюють їх до металу:

$$Ni^{2+} + 2\mathring{a} \rightarrow Ni$$

Сумарну реакцію відновлення іонів нікелю гіпофосфітом можна представити у вигляді наступних рівнянь:

$$Ni^{2+} + 2H_2PO^-_{2адс} + 2H_2O \rightarrow Ni + 2H_2PO_3^- + H_2 \quad (3.5)$$

$$Ni^{2+} + 2H_2PO^-_{2адс} + 2OH^- \rightarrow Ni + 2H_2PO_3^- + H_2 \quad (3.6)$$

При протіканні реакцій (3.5) і (3.6) можуть також йти реакції (3.2) - (3.4), які приводять до зниження коефіцієнта використання гіпофосфіта .

Одночасно з відновленням нікелю протікає реакція відновлення гіпофосфіта до елементарного фосфору. Реакція, що приводить до утворення фосфору, пов'язана з розривом зв'язків P — H, P — O и P — OH у молекулі гіпофосфіта. Протікання зазначеної реакції може бути презентовано наступним рівнянням.

$$H_2PO^-_{2адс} + e \rightarrow P + 2OH^- \quad (3.7)$$

Сумарна реакція, включаючи й реакцію взаємодії гіпофосфіта з водою, що поставляє електрони, виразиться рівнянням:

$$H_2PO^-_{2адс} \rightarrow H_2PO_3^- + OH^- + \frac{1}{2}H_2 \quad (3.8)$$

Відповідно до рівняння (3.7) експериментально визначається встановлена залежність вмісту фосфору в покриттях від pH розчину, а саме збільшення кількості фосфору в осаді зі зменшенням величини pH .

Процес утворення Ni - P-покрить починається мимовільно тільки на деяких каталітично активних металах. До них належать нікель, залізо кобальт палладій і алюміній. Однак нікелеве покриття можна нанести й на інші метали (наприклад, на мідь або латунь) якщо їх після занурення в розчин привести в контакт із більш електронегативним металом, чим нікель (наприклад, з алюмінієм). У результаті контактування на поверхні металу, що покривається, за рахунок роботи виникаючого при цьому гальванічного елемента утворюється шар нікелю, на якому далі триває процес відновлення.

Для покриття каталітично неактивних металів (мідь і її сплави) був запропонований інший метод, який полягає в нанесенні на поверхню, що покривається, каталітично активного металу (наприклад, палладія). Палладій наноситься зануренням деталей на кілька секунд у палладієвий розчин. Слід зазначити, що на деяких металах взагалі не вдається одержати нікелевого покриття. До таких металів належить олово, свинець, кадмій, цинк, вісмут і сурма.

Численними дослідженнями встановлене, що кислі розчини мають деякі переваги в порівнянні з лужними, більшу стійкість до високої температури, більш високу швидкість протікання процесу й кращу якість покрить. Однак і лужні аміачні розчини становлять інтерес у деяких випадках.

Кислі розчини. Одним з основних факторів, що визначають процес нікелювання є температура. Установлене, що при низьких температурах процес не буде проходити. З рисунка 3.1 видне, що відновлення нікелю зростає з підвищенням температури й у розчинах, нагрітих до 98-99 °С, досягає максимальних значень.

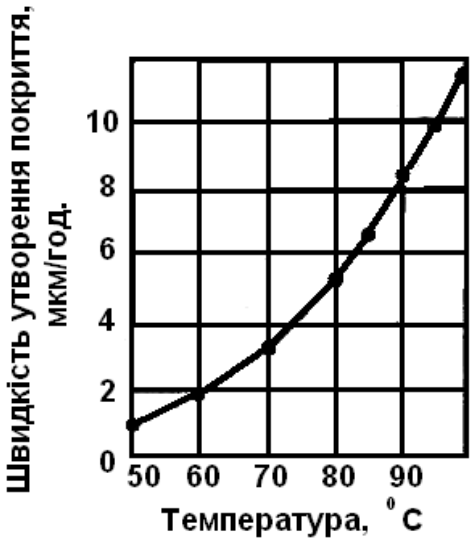


Рисунок 3.1 – Вплив температури на швидкість утворення покриття

Значний вплив на процес відновлення хімічного нікелю виявляє кислотність розчину. У процесі нікелювання відбувається самочинне підкислення розчину. Найкращі результати відносно швидкості відновлення нікелю і якості покриття виходять при pH 4.5-5.0 [35]. При зниженні кислотності розчину до pH 6.0-6.5 швидкість осадження нікелю збільшується, однак підтримка pH на цьому рівні утруднене, тому що в ході процесу утворюються малорозчинні нікелеві з'єднання (рис. 3.2).

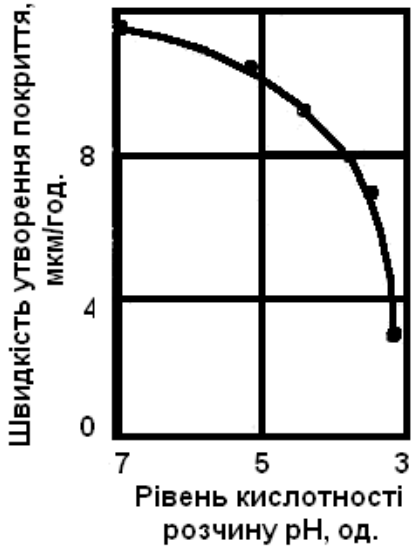


Рисунок 3.2 – Вплив кислотності розчину на швидкість утворення покриття

При збільшенні концентрації гіпофосфіта від 5 до 10 г/л швидкість утворення покриття трохи зростає, але при концентрації гіпофосфіта 30 г/л швидкість утворення покриття знижується (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Вплив концентрації гіпофосфіту натрію
на швидкість утворення покриття

При дослідженні розчинів для нікелювання з низьким вмістом встановлене, що зміна концентрації нікелевої солі мало відбивається на швидкості процесу (рис. 3.4). Солі органічних кислот (гликолевої, оцтової й лимонної) дуже впливають на процес відновлення, тому що підтримують pH при оптимальному значенні й впливають на швидкість відновлення нікелю.



Рисунок 3.4 – Вплив концентрації хлористого нікелю
на швидкість утворення покриття

Деякі дослідники пропонують застосовувати в якості буферних з'єднань солі органічних двохосновних насичених кислот (бурштинової, малонової і глутарової). Багато робіт показують, що швидкість відновлення нікелю, а також

і якість покриття залежать значною мірою від концентрації й природи буферного з'єднання.

У силу каталітичної природи процесу незначні домішки в розчині можуть значно впливати на його перебіг. Сторонні речовини попадають у розчин у вигляді домішок до основних реагентів, і при коректуванні розчину концентрація цих домішок може бути настільки значною, що шкідливо відіб'ється на процесі. Дані дослідження показують, що незначні кількості іонів роданида й хлористого свинцю (0,1 г/л) повністю припиняють процес як у кислих, так і в лужних нікелевих розчинах. Шкідливий вплив на процес виявляють солі кадмію, причому в лужних нікелевих розчинах більшою мірою, ніж в кислих нікелевих. Присутність у кислому розчині хлористих солей цинку, магнію, алюмінію, заліза й натрію (до 0,1 г/л) не виявляє помітного впливу на процес. При підвищенні концентрації хлористого заліза до 3 г/л швидкість процесу сильно знижується.

Крім того, на процес нікелювання можуть впливати речовини, що утворюються в результаті окисно-відновних реакцій (фосфіт і кислота). Так, іони фосфіту утворюють нерозчинне з'єднання - фосфіт нікелю. Випадання осаду погано відбивається на швидкості процесу і якості покриття й утрудняє коректування розчину. Випаданню фосфіту нікелю сприяють висока температура й мала кислотність розчину.

Для запобігання випадання осадів фосфіту нікелю необхідно вводити в розчини речовини, здатні утворювати з нікелем комплексні з'єднання, що й не виявляють негативного впливу на реакцію відновлення.

Найбільш ефективними комплексоутворювачами є гліцин і лимоннокислий натрій. Уведення в розчин гліцину перешкоджає випаданню фосфіту, однак невисока швидкість осадження нікелю в даних умовах викликає необхідність комбінації цієї добавки з іншими речовинами (наприклад, з отцтокислим натрієм).

Нагромадження фосфітів у розчині вповільнюється при використанні не тільки гліцину, але й інших амінокислот, α-амінопропіонової, амінобутілової, аміноянтарної, амінодіотцтової .

Стабілізаторами розчинів можуть бути сульфід свинцю, тіомочевина, тіосульфат натрію, хромат свинцю, сульфід вісмуту. Дія стабілізаторів заснована

на тому, що вони ізолюють фосфіти від взаємодії з розчином. Стабілізатори адсорбуються переважно на частках, що утворюються в ході реакції, колоїдного розміру, перешкоджаючи їх перетворенню в центри кристалізації, на яких би осаджувався нікель, тим самим запобігаючи розкладанню розчину. Стабілізатори підвищують швидкість осадження покрить і скорочують витрату гіпофосфіта.

Лужні розчини. Основним недоліком лужних ванн є їхня нестійкість, пов'язана зі зникненням аміаку при високій температурі. Крім того, відзначається знижена швидкість відновлення нікелю в порівнянні з кислими розчинами. Однак при наявності в складі лужних розчинів таких комплексоутворювачів, як лимоннокислий натрій і аміак полегшує коректування розчину, що дозволяє здійснювати тривале ведення процесу.

Установлене, що зміна концентрації нікелевої солі в широких межах не відбивається помітно на швидкості відновлення нікелю, у той час як зміна концентрації гіпофосфіта значно впливає на процес нікелювання. Однак не рекомендується використовувати розчини з високою концентрацією гіпофосфіта (понад 25-30 г/л) через можливість протікання процесу в об'ємі розчину з утворенням порошкоподібного нікелю. Висока концентрація нікелевих солей (понад 50-60 г/л) приводить до погіршення якості покрить (появі шорсткості). Зниження концентрації солей нікелю (нижче 20 г/л) і підвищення її (понад 70 г/л) знижують швидкість осадження нікелю.

Так само як і в кислих розчинах, великий вплив на ведення процесу виявляє температура розчину. Найбільша швидкість утворення покриття досягається при високій температурі.

Максимум швидкості нікелювання отриманий при концентрації хлористого амонію 25 г/л. Зміна його концентрації менш 20 г/л або більш 75 г/л знижує швидкість нікелювання, а покриття утворюються темними. Аналогічно впливає зміна концентрації лимоннокислого натрію. При відсутності лимоннокислого натрію осадження покриття припиняється.

У лужних і кислих розчинах при молярному відношенні солі нікелю до гіпофосфіту, рівному 0,5, швидкість нікелювання за інших рівних умов суттєво зростає. Для підтримки процесу на постійному рівні рекомендується періодич-

но додавати до розчину компоненти, що витрачаються (у вигляді концентрованих розчинів) - сіль нікелю й гіпофосфіт. Підтримка оптимальної концентрації компонентів лужного розчину дозволяє тривалий час зберігати максимальну швидкість нікелювання на практично постійному рівні.

3.2 Структура й фізико-хімічні властивості Ni - P - покрить

Осади нікелю, одержувані з кислих розчинів, мають гладку блискучу поверхню. Покриття, що осаджуються з лужних розчинів, мають менш блискучу поверхню. Додавання в розчини блискутворюючих речовин підвищує блиск і відбивну здатність покрить. Так, при додаванні солей кобальту в лужний розчин блиск покрить стосовно срібного дзеркала становить 40 %, а без добавки кобальту 5%.

Структура. Установлене, що крім фази твердого розчину фосфору в нікелі (гексагональне щільне пакування) існує ряд хімічних сполук складу Ni_3P Ni_5P_2 і Ni_2P. Хімічно відновлений нікель має аморфну структуру. При нагріванні аморфний осад переходить у кристалічний стан. Так, у процесі нагрівання у вакуумі при температурі понад 300 °С відбувається перетворення вихідної структури у двофазну, що складається з фази Ni_3P і фази твердого розчину (впровадження) фосфору в β - Ni із гранєцентрованою кубічною решіткою (ГЦК). Зі збільшенням температури нагрівання кількість фази Ni_3P зростає за рахунок розпаду твердого розчину. Процес розпаду β - Ni - раствора й утворення Ni_3P незворотній.

У вихідному стані спостерігається шаруватість покриття. Питання про природу шаруватості пояснюється зміною концентрації фосфору по товщині шару осаду.

У міру підвищення температури й тривалості нагрівання частки хімічної сполуки Ni_3P коагулюють і стають ще більш помітними. Після нагрівання до 700 ^{0}С і більше шаруватість в осадах зникає, відбувається подальше укрупнення розмірів часток Ni_3P.

При тривалій експлуатації Ni - P-покрить в умовах високих температур спостерігається утворення різних зон по перетину осаду: верхня, середня й нижня зона, що прилягає до основного металу. Так, після витримки протягом 500-3000 год при температурі 600°С спостерігаються коагуляція часток надлишкової фази й зменшення їх числа у верхній зоні, у той час як у середній зоні виявляються дрібнодисперсні частки Ni_3P. У результаті розпаду й одночасного виділення надлишку фосфору із твердого розчину й з фази Ni_3P може утворюватися більш багата фосфором фаза Ni_2P_5, яка також виявляється в середній зоні.

Міцність зчеплення покриття з основним металом. Міцність зчеплення нікель-фосфорного покриття з основою безпосередньо після осадження порівняно невелика. На адгезію покриття впливає не тільки підготовка поверхні, а й сам розчин. Покриття з лужного розчину більш міцно пов'язані з основою, чим з кислого. Однак навіть в оптимальних умовах деталі, покриті хімічним нікелем, не повинні зазнавати силових навантажень при експлуатації.

Термообробка нікельованих деталей сприяє підвищенню адгезії покриття з основою внаслідок дифузії нікелю й фосфору в основний метал з утворенням перехідного дифузійного шару. Максимальна міцність зчеплення досягається в результаті нагрівання покриття при температурі 400-500 °С протягом 1 год.

Природа матеріалу основи впливає на міцність зчеплення його з покриттям. При однакових умовах термообробки адгезія на зразках з легованих сталей трохи нижче, чим на зразках з вуглецевої сталі. Задовільна міцність нікель-фосфорного покриття з алюмінієвими й мідними сплавами забезпечується термообробкою при температурі 350 °С с мінімальною витримкою ~30 хв.

Пористість. Основною характеристикою, що визначає захисні властивості катодних покрить, є їхня пористість. У зв'язку з тим, що Ni - P - покриття - катодні стосовно багатьох матеріалів (таких, як сталь, алюмінієві сплави й ін.), дослідники приділяють велику увагу пористості нікелевого покриття, обложеного хімічно. Установлене, що хімічні Ni - P - покриття менш пористі, ніж покриття тієї ж товщини, але отримані електрохімічним способом. При визначенні пористості нікелевих покрить різної товщини було виявлено, що хімічно від-

новлені нікелеві покриття товщиною 8-10 мм по пористості відповідали електролітичним осадам товщиною 20 мкм.

Захисні властивості. Захисні властивості Ni - P - покриття визначаються не тільки власною хімічною стійкістю металу, що осаджується, але й особливостями його будови, а також наявністю тріщин, пор і інших дефектів, що змінюють сплошность покриття.

У зв'язку з тим, що Ni - P-покриття містить деяку кількість фосфору, хімічні властивості Ni - P-покриття повинні відрізнятися від характеристик чистого нікелю. Як ми вже відзначали раніше, фосфор у цих осадах перебуває у вигляді фосфіду нікелю, що є в осаді поряд із чистим нікелем або твердим розчином фосфору в нікелі.

Присутність декількох фаз у хімічно обложеному нікелі пов'язане з можливістю їх різного розподілу в осаді, а розподіл сполук осідання залежить від умов проведення процесу й наступної термічної обробки. Захисні властивості покрить, отриманих хімічним відновленням з кислих розчинів, вище ніж осадів з лужних розчинів.

Важливе практичне значення має здатність Ni - P - покрить захищати від корозії основний матеріал в умовах високих температур (560-625 °C) і тисків 1250 МПа в повітряній і паровій середовищах. І в цих випадках захисна здатність Ni - P-покрить визначається їхньою товщиною й вмістом у них фосфору. Захисні властивості покрить з 6-12 % вмістом фосфору практично однакові, і приріст ваги таких зразків майже в 90 раз менше, чим без покрить. Недостатньо надійно в даних умовах експлуатації захищають метал основи покриття з 3,8-4.2 % вмістом фосфору. На них уже після 500 год експлуатації утворюється сітка дрібних тріщин, у яких незабаром виявляються продукти корозії основного металу (сталі) і покриття відшаровується від основи. Це, очевидно, пов'язане з підвищеною пористістю покрить утримуючих невеликі кількості фосфору. Такі покриття, одержувані з лужних ванн недоцільно використовувати для захисту деталей, що працюють в умовах газової корозії.

Мікротвердість нікель-фосфорних покрить. Однією з найважливіших експлуатаційних характеристик є твердість нікель-фосфорних покрить. Твер-

дість хімічно відновленого нікелю вище твердості електрохімічно обложеного нікелю. Відразу після осадження мікротвердість нікель-фосфорних покрить рівна 4500- 5000 МПа , що приблизно в 1,5-2 рази вище твердості електролітичних нікелевих покрить.

Залежність коефіцієнтів тертя від величини навантаження при терті сталі по бронзі, нікель-фосфорному й хромовому покриттях наведено на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 – Залежність коефіцієнта тертя μ сталі при терті по бронзі 1, хромовому 2 і нікель-фосфорному покриттю 3 від питомого навантаження при змащенні маслом АМГ 10

Як видне з наведених кривих, зростання коефіцієнта тертя для нікель-фосфорних покрить спостерігається при підвищенні навантаження понад 6,0, а для хромових покрить після 6,5 МПа. Досить низькі коефіцієнти тертя нікель - фосфорних покрить пояснюються, зокрема, їх гарною припрацьовуваністю. Застосування мастильного матеріалу суттєво знижує силу тертя. Важливе значення має визначення максимальних навантажень до заїдання, що витримуються нікель-фосфорними покриттями.

Магнітні властивості. Наявність фосфору в нікелевому покритті сильно позначається на магнітних властивостях покриття. Магнітні властивості осадів нікелю, отриманих з кислих і лужних розчинів, визначаються технологією їх одержання, хімічним складом і структурним станом. Наприклад, магнітні властивості покриття з 3 % вмістом фосфору наближаються до магнітних властивостей електролітичного нікелю в той час як покриття з 11 % вмістом його немагнітно. Термооброблені покриття за інших рівних умов більш магнітні, ніж нетермооброблені.

Температура, при якій здійснюється термічна обробка, має великий вплив на магнітні властивості покриття.

3.3 Технологічні процеси осадження Ni-P-покриттів

При нанесенні покрить хімічним способом висувають підвищені вимоги до підготовки поверхні деталей, що покриваються. Поверхня деталей перед хімічним нанесенням покриття підготовляють тими ж способами, що й при нанесенні гальванічних покрить. Деталі знежирюють в органічних розчинниках і лужних розчинах; травлення здійснюють у кислотах у присутності інгібіторів корозії так само, як і активування. Склади розчинів для хімічного нікелювання наведено в ГОСТ 9047-75. Однак у виробничих умовах застосовують більш різноманітний асортименти складів.

Основні показники ефективності розчинів - швидкість утворення покрить при тій або іншій щільності завантаження; маса покриття, отриманого з 1 л розчину (тобто вихід металу), стабільність, залежність цих величин від різних факторів (кислотності, температури і т.д.).

Кислі розчини (pH 4,0-6,5) застосовують при нанесенні покрить на деталі із чорних і деяких кольорових металів (мідь, латунь і ін.), особливо коли їх робочі поверхні повинні мати високі твердість, зносостійкість і корозійно - захисні властивості.

Із часом швидкість нікелювання в кислих розчинах поступово зменшується й через 6 год роботи процес утворення покрить майже припиняється. При цьому кислотність розчинів зростає, вони каламутніють, на дно ванни випадає нерозчинний осад. Перегрів розчинів і зміна оптимальної концентрації компонентів приводять до саморозряду й утворенню нікелю в об'ємі ванни. Практично встановлено, що розчини з янтарнокислим натрієм дозволяють одержувати за тей ж час більш товстий шар покриття чим розчини з уксусно- або лимоннокислим натрієм. Крім того, чим більше щільність завантаження ванни, тем менше швидкість осадження покриття за рівний проміжок часу.

Необхідно мати на увазі, що підтримка в ході реакції оптимальної величини pH, наприклад, гідроксилом натрію, мало підвищує швидкість осадження хімічного нікелю, що пояснюється порушенням оптимальної концентрації його основних компонентів, а також нагромадженням у розчині побічних продуктів реакції.

Періодичне коректування кислих розчинів гіпофосфітом сприяє збільшенню виходу нікелю на 6-12 %. Одночасне коректування кислих розчинів солями нікелю й гіпофосфітом не дає істотного підвищення виходу нікелю в порівнянні з коректуванням одним гіпофосфітом.

На рисунку 3.6 показана залежність швидкості осадження покриття від тривалості нікелювання в кислому некоректуємому і коректуємому розчинах із сульфідом свинцю як стабілізатора.



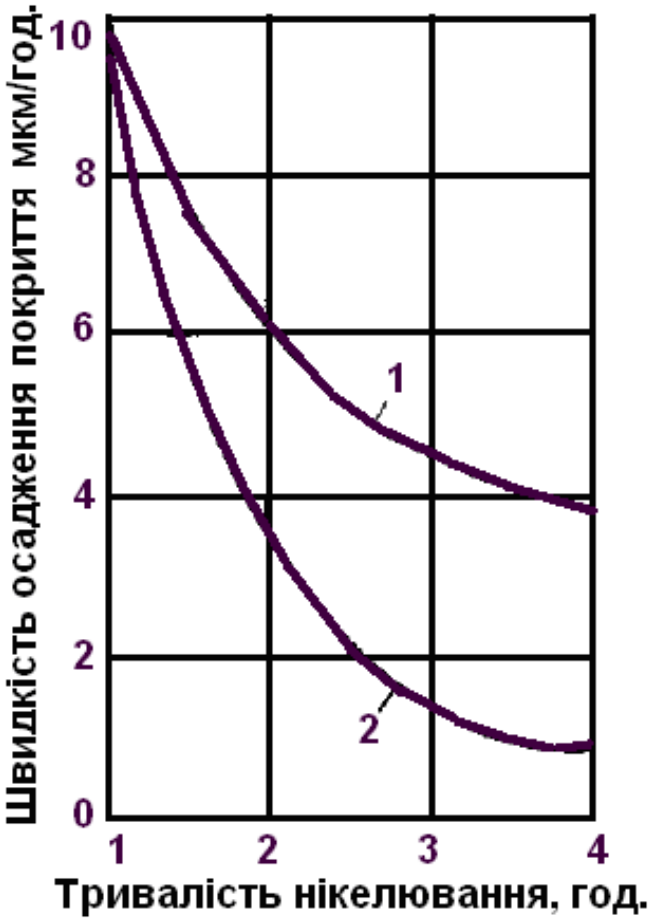
1 - з 15 мг/л сульфіду свинцю й коректуванням; 2 - те ж, без коректування;
3 - з 15 мг/л аллилчепа й коректуванням; 4 - те ж, без коректування

Рисунок 3.6 – Залежність швидкості осадження покриття від тривалості нікелювання в кислому розчині

Для цих цілей застосовують розчин наступного складу (г/л), хлористий нікель 21, гіпофосфіт натрію 24, уксуснокислий натрій 10, pH 5,2, температура 97-98 °С, щільність завантаження 1 дм^2/л. В обох випадках початкова швидкість нікелювання у свіжоприготовлених розчинах становить близько 60 мкм/год, однак некоректуємий розчин уже після 1 год роботи майже повністю

виробився й осадження нікелю в ньому припинилося. У коректуємому розчині, коли концентрація компонентів і pH підтримувалися на оптимальному рівні, така швидкість нікелювання зберігається тривалий час. При використанні в тому ж розчині в якості стабілізатора 15 м/л аллилчепа (замість сульфіду свинцю) швидкість нікелювання знижується на 20-22 % у порівнянні з першим випадком, однак і тоді за допомогою коректування можна використовувати розчин тривалий час. Застосування в кислих розчинах зазначених стабілізаторів дозволяє вести процес при максимальній температурі й на найбільшій швидкості. При цьому можливо багаторазове коректування розчинів, що є надзвичайно важливим фактором у виробничій практиці так само, як зростання виходу металу з кислих розчинів до 50 %.

На рисунку 3.7 показана залежність швидкості осадження покриття від тривалості нікелювання в розчині з малеіновим ангідридом і без нього.



1 - з малєіновим ангідридом (1,5-2,0 г/л), 2 - без малєінового ангідриду

Рисунок 3.7 – Залежність швидкості осадження покриття від тривалості нікелювання у водяному розчині

З рисунка видно, що в розчині наступного складу (г/л), сірчанокислий нікель 21, гіпофосфіт натрію 24, уксуснокислий натрій 10, pH 5.0-5,2 і температура 82-84 °С, при щільності завантаження 1 $дм^2$/л, що містить 1.5-2 г/л малеінового ангідриду, швидкість покриття на четвертій годині роботи ванни майже в чотири рази вище, чим без цього стабілізатора.

3.4 Хімічне нікелювання металів

Хімічне нікелювання металів і сплавів проводиться в кислому гостированному розчині наступного складу (г/л) і режимі осадження:

Сірчанокислий або хлористий нікель (кристалогідрат)	20-25
Гіпофосфіт натрію	25-30
Ангідрид малеіновий	1,5-2,0
Сірчанокислий амоній	45-50
Оцтова кислота, мол/л	20-25
pH	5,0-5,5
Щільність завантаження $дм^2$/л	1.0
Температура, °С	90-95
Швидкість осадження, мкм/год	18-25

Хімічне нікелювання металів і сплавів проводиться в лужному розчині наступного складу (г/л) і режимі осадження:

Сірчанокислий або хлористий нікель (кристалогідрат)	20-50
Гіпофосфіт натрію	10-25
Хлористий амоній	35-55
Лимоннокислий натрій	35-55
pH	7,5-9,0
Щільність завантаження, $дм^2$/л	1-2
Температура, °С	78-88
Швидкість осадження, мкм/год	8-12

Після нанесення покриття деталі піддають термічній обробці при 200-220 °С протягом 1-2 год для зняття внутрішніх напружень. Для підвищення твердості покриття деталі нагрівають при температурі 400 °С протягом 1 год.

Зняття недоброякісного нікелевого покриття роблять у розчині наступного складу:

Сірчана кислота (щільність 1,84), частини за обсягом	1
Азотна кислота (щільність 1,4), частини за обсягом	2
Сірчанокисле залізо (окісне), г/л .	5-10
Щільність завантаження, $дм^2/л$	1
Температура розчину -	кімнатна.

Для зняття недоброякісних покрить можна застосовувати розчин, що складається з 7 частин за обсягом азотної кислоти (щільність 1.4) і 3 частин за обсягом оцтової кислоти (98 %-ний).

3.5 Структура й властивості хімічних Co-P-покриттів

У зв'язку з підвищеними вимогами сучасної техніки до матеріалів різних приладів і механізмів виникли нові вимоги відносно властивостей покрить, зокрема магнітних властивостей. Ці вимоги в якійсь мірі можуть бути задовільнені за допомогою нанесення покрить хімічним способом з розчинів, що містять кобальт.

На відміну від процесу хімічного нікелювання, що відбувається як у кислому, так і в лужному середовищі, сприятливим для відновлення кобальту є тільки лужне середовище. Крім солі кобальту й гіпофосфіта в розчин уводиться комплексутворююча речовина для запобігання випадання гідроокису кобальту, а також буферне з'єднання для підтримки постійного значення pH.

Відновлення кобальту з достатньою швидкістю, як при відновленні нікелю, протікає при підвищених температурах (90-95 °С). Включення фосфору в покриття кобальтом впливають на структуру й властивості покриття, на їхні магнітні характеристики. Властивості Co-P-покриттів залежать від фізико-

хімічних параметрів процесу його одержання, таких, як значення pH, склад розчину, температура й ін.

Згідно із сучасними представленнями сумарний процес хімічного кобальтування включає дві реакції:

$$CoCl_2 + 2NaH_2PO_2 + 2H_2O \rightarrow Co + 2NaH_2PO_3 + H_2 + 2HCl \quad (3.9)$$

$$2NaH_2PO_2 \rightarrow NaH_2PO_3 + P + NaOH + 1/2H_2 \quad (3.10)$$

Одночасно з відновленням кобальту завжди відбуваються реакція відновлення гіпофосфіта до елементарного фосфору (докладно механізм цього процесу розібраний у процесі хімічного нікелювання).

Для встановлення оптимальних умов проведення процесу осадження Co-P-покрить необхідно знати залежність швидкості процесу від температури pH, концентрації компонентів і ін. Зростання швидкості Q осадження перебуває в експонентній залежності від зростання температури, подібної залежності при протіканні процесу хімічного нікелювання (рис. 3.8).

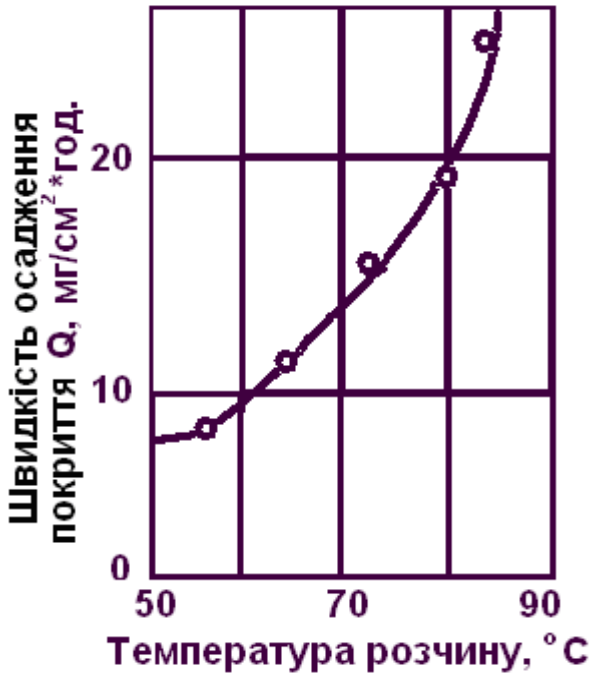


Рисунок 3.8 – Залежність швидкості осадження Co-P-покрить від температури розчину (pH 8,02)

Дослідження реакції відновлення кобальту гіпофосфітом показало, що й у лужних розчинах зміна pH впливає як на швидкість процесу, так і на властивості покрить, що утворюються. Таким чином, збільшення pH розчину від 8 до 10 приводило не тільки до підвищення швидкості відновлення кобальту від 0,5 до 7,0 мкм/год, але й до поліпшення зовнішнього вигляду покриття.

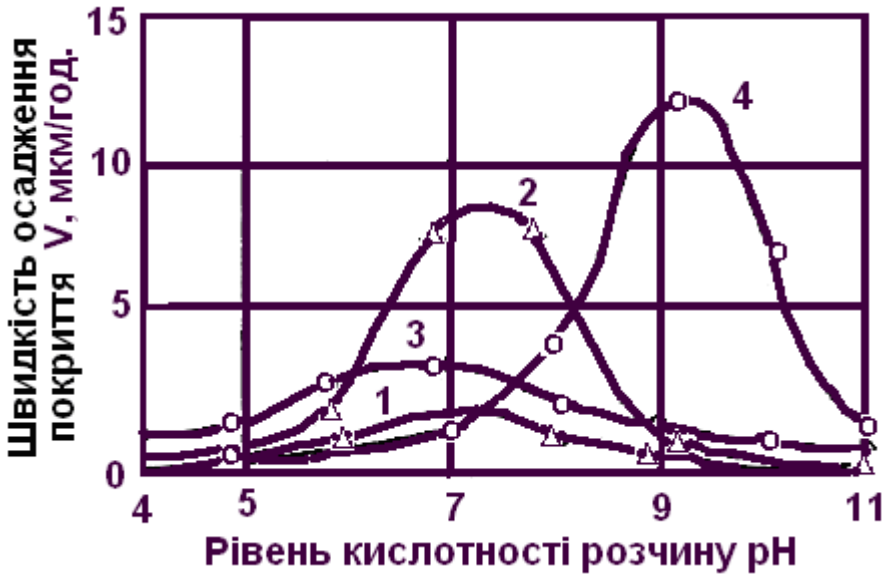
При подальшому підвищенні pH > 10.5 швидкість відновлення кобальту падає, а при pH 12 процес припиняється. Підвищення pH приводить до зменшення фосфору в покритті. На оптимальне значення pH розчину, відповідне до максимальної швидкості покриття, впливає концентрація й природа буферної сполуки.

Склад розчину хімічного кобальтування. Для відновлення хімічного кобальту в лужних розчинах потрібно більш висока концентрація гіпофосфіта, чим при хімічному нікелюванні.

Дослідження показують, що залежність процесу від концентрації гіпофосфіта проходить через максимум, а величина максимальної швидкості й відповідної їй концентрації гіпофосфіта є залежною від складу застосовуваного розчину й умов проведення процесу. Найбільша швидкість процесу спостерігалася в тартратних розчинах, що містять борну кислоту; у цитратних розчинах швидкість виявилася меншою.

Величина максимальної швидкості й відповідна їй концентрація гіпофосфіта є залежною від складу застосовуваного розчину й умов проведення процесу. При збільшенні концентрації кобальту швидкість процесу проходить через максимум, положення якого змінюється залежно від складу вихідного розчину (рис. 3.9).

Для запобігання випадання гідроокису кобальту при хімічному осадженні Co-P-покрить були підібрані речовини, здатні за рахунок утворення комплексу знизити концентрацію вільних іонів кобальту до значень, при яких у даному розчині подальше підвищення вмісту комплексутворюючого з'єднання не виявляє істотного впливу на швидкість.



1 - цитратний розчин без добавки H_3B_3; 2 - цитратний розчин з 0,5 моль/л H_3B_3; 3 - тартратний розчин без добавки H_3B_3; 4 - тартратний розчин з 0,5 моль/л H_3B_3

Рисунок 3.9 – Вплив pH розчину на швидкість осадження Co-P-покриттів

Солі амонію виконують не тільки функцію буферної добавки, але й роль комплексутворюючого з'єднання. Борна кислота в присутності солі лимонної або винної кислот утворює змішані комплекси з кобальтом, до складу яких входять аніони органічної й борної кислот. Солі амонію в кобальтових розчинах, на противагу їх дії в лужних розчинах для нікелювання, приводять до зниження швидкості покриття. Оптимальна концентрація солей амонію перебуває в межах 25-50 г/л . Використання солей амонію як буферних добавок має деякі недоліки - летючість аміаку при високих температурах, а також утворення у розчинах дуже стабільних комплексів з іонами Co^{2+}. Було також установлене, що борна кислота прискорює перебіг процесу в лужних розчинах, що містять лимонну або винну кислоту, що пояснюється її високою буферною здатністю, що забезпечує тривалу підтримку pH на постійному рівні. Очевидно, дія борної кислоти не обмежується її буферною здатністю, а пов'язане з її впливом на комплексутворення кобальту в цитратних або тартратних розчинах.

Процес хімічного кобальтування більш чутливий до домішок, чим процес хімічного нікелювання.

Структура Co-P-покрить. Co-P-покриття, одержувані при хімічному кобальтуванні за допомогою відновлення гіпофосфітом, помітно відрізняються по

своїй фазовій будові від будови Co-P-сплавів, отриманих термічним способом (у вигляді об'ємної фази).

Рентгеноструктурним і електронографічним методами аналізу встановлене, що Co-P-покриття при вмісті в них фосфору не більш 6 (масові частки, %) мають кристалічну будову і являють собою твердий розчин заміщення фосфору в гексагональному α- кобальті.

У Co-P-покриттях виявляється переважна орієнтація кристалів текстура й ступінь досконалості якої залежать від умов їх одержання й вмісту в них фосфору. При поперечному зрізі покрить спостерігають чітку стовпчасту структуру, перпендикулярну поверхні основи, а також шаруватість, характерну й для Ni-P-покритть.

Найбільше чітко шаруватість виявляється при проведенні процесу в розчинах з високою концентрацією гіпофосфіта й високою швидкістю осадження (12 мкм/год), а при більш низьких концентраціях гіпофосфіта й більш низькій швидкості осадження (~3 мкм/год) шаруватість виражена нечітко. Властивості Co-P-покрить визначаються їх структурно-фазовою будовою як у вихідному стані, так і після термічної обробки. Щоб одержати сплави із заданими властивостями, необхідно знати структуру й склад фаз і взаємозв'язок їх із властивостями осадів, а також режим термічної обробки покрить. Установлене, що до 100 ^{o}C ніяких змін у структурі осадів не відбувається. Але в області температур 200-350 ^{o}C відбувається процес розпаду твердого розчину з наступним виділенням фази інтерметалевого з'єднання Co_2P. А в області температур 350- 550 °C іде процес модифікаційного переходу α-твердого розчину в β-твердий розчин, який являє собою твердий розчин заміщення фосфору в решітці гранецентрированного β-кобальту, причому швидкість цього переходу значно вище швидкості виділення фази Co_2P особливо в початковий момент переходу.

При 550-600 ^{o}C процеси розпаду α- і β- твердих розчинів і виділення фосфіду Co_2P завершуються, і структура Co- P-покрить являє собою трифазну систему, що складається із з'єднання Co_2P и α- і β- твердих розчинів з рівноважною концентрацією в них фосфору.

У зв'язку з розвитком обчислювальної, інформаційної техніки й мікроелектроніки виникають питання, пов'язані з одержанням тонких феромагнітних плівок з певними магнітними характеристиками. При хімічному кобальтуванні можна одержувати Co-P плівки як магнітотверді, так і магнітом’які.

3.6 Осадження Ni-Co-P-покриттів

Для вирішення ряду технологічних завдань необхідно розширити діапазон експлуатаційних властивостей Ni - P і Co - P - покрить, легуючи їх іншими металами.

Найбільший інтерес із потрійних сплавів представляє система Ni - Co - P яка набула широкого застосування в промисловості. Одержання осадів, що включають одночасно нікель і кобальт, можливо в лужних аміачних розчинах розчинні солі, що містять, як той, так і інший метал.

Приведемо один зі складів розчинів, у якому можна осаджувати Ni—Co—P-покриття (г/л):

Хлористий нікель (кристалогідрат)	25
Хлористий кобальт (кристалогідрат)	25
Гіпофосфіт натрію	24
Хлористий амоній	30
Лимоннокислий натрій	45
Аміак (25 %-й), мол/л	50-60
pH	8,3-8,5

Осадження проводиться при температурі 90-92°C. Швидкість осадження Ni—Co—P-покриття порівняна зі швидкістю осадження Ni - P - покриття. Швидкість утворення сплаву зростає експоненційно зі збільшенням температури; вміст кобальту при цьому збільшується. Помітний вплив на склад Ni—Co—P-покрить виявляє зміна концентрації аміаку в розчині; з ростом концентрації аміаку відбувається збагачення сплаву кобальтом.

У літературі відзначається, що застосування сульфатів нікелю й кобальту переважніше, чим хлоридів, оскільки швидкість утворення покриття в першому випадку вище, а самі осади утворюються більш блискучими.

На рисунку 3.10 наведена залежність швидкості осадження й складу сплаву від вмісту гіпофосфіта.

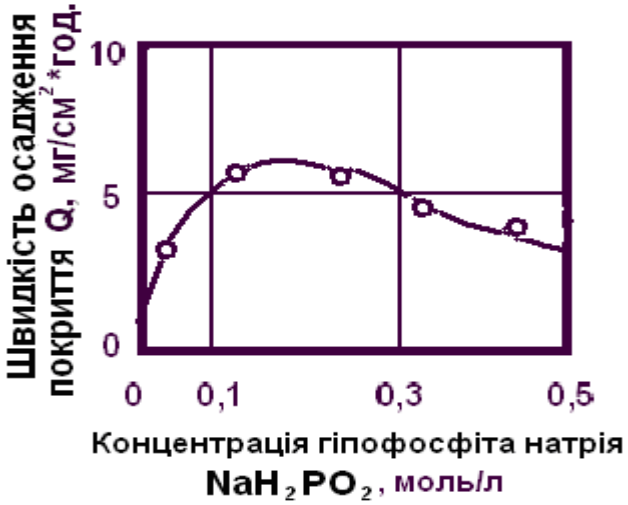


Рисунок 3.10 – Залежність швидкості осадження Ni—Co—P - покриття від концентрації гіпофосфіта натрію в розчині

Застосування борної кислоти на відміну від хлористого амонію дозволяє одержувати Ni—Co—P - покриття з достатньою швидкістю (10-15 мкм/год) і з високим вмістом (масова частка %) 60-80 кобальту. Швидкість утворення Ni—Co—P - покриття лінійно зростає зі збільшенням концентрації сірчанокислого амонію (до 40 г/л). Склади розчинів, що застосовувалися для цієї мети, представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Склади розчинів для одержання Ni—Co—P - покрить у вигляді тонких плівок

Номер розчину	Температура, °С							
	Сульфат кобальту	сульфат нікелю	Хлорид кобальту	Хлорид нікелю	Гипофосфит натрію	Лимоннокислий натрій	Хлорид амонію	Аміак
1	0,05	0,05			0,2	0,2		
2			0,004	0,004	0,1-0,2		0,2	0,2

Швидкість утворення покрить значно збільшується зі збільшенням концентрацій гіпофосфіта, однак у цих умовах можливе відновлення сплаву в об'ємі розчину. Саморозкладання розчину запобігає насиченням його киснем або введенням тіомочевини.

Безпосередньо після осадження Ni—Co—P-покриття мають малу твердість і слабке зчеплення з основним металом. Але їх твердість і адгезія підвищуються після годинного нагрівання. При 350-400 °С - для сталевих і мідних деталей і при 200 - 220 °С - для алюмінієвих У вихідному стані твердість покрить не залежить від хімічного складу осаду й становить 5000-5500 МПа. З підвищенням температури відпалу твердість цих сплавів росте, досягаючи максимального значення 5500 МПа після відпалу при 300-350 °С. При подальшому відпалі твердість покрить зменшується.

Розчин коректується тими ж методами, що й для Ni - P - покрить. Ni—Co—P - покриття можна осаджувати на деталі із залізних, мідних і алюмінієвих сплавів, а також з неметалів. Покриття блискучі, світлі зі сріблистим відтінком, типова для нікелевих опадів жовтизна відсутня.

Магнітні властивості. Деякі галузі приладобудування потребують покриття з найрізноманітнішими магнітними властивостями. Ці вимоги в ряді випадків можуть бути задоволені шляхом використання Ni—Co—P - покрить, які залежно від умов їх одержання, складу й структури здатні проявляти властивості як магнітомяких, так і магнітотвердих матеріалів. Перші знаходять застосування для елементів оперативної пам'яті електронно-лічильних пристроїв, а другі використовуються для запису звуку. Для елементів оперативної пам'яті ЕОМ використовують Ni—Co—P - покриття в тонких шарах.

Великий вплив на магнітні властивості Ni—Co—P - плівок виявляють природа й характер підготовки поверхні, на яку наносяться покриття.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційно шкідливих і небезпечних чинників у гальванічному цеху

Гальванічний цех характеризується наявністю значної кількості шкідливих речовин для людського організму, газів і парів. Крім того, численність промивних ванн у приміщенні створює підвищену вологість.

Рівень механізації праці в цеху можна визначити з таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Показники рівня механізації праці робітників цеху

№ п/п	Професія робітників	Штат робітників, чол.	Кількість відпрацьованих людино-годин на добу			% механизованої праці
			вручну	за допомогою машин	усього	
1	Гальваник 5 р	4	12	12	24	50
2	Гальваник 6 р	4	24	0	24	0
3	Травильник 4 р	4	12	12	24	50
4	Травильник 5 р	4	18	6	24	25

З розрахунку рівня механізації праці робітників цеху видне, що відсоток механізованої праці досягає 25-50%, тобто більшість робіт виконується робітниками вручну.

Відповідно до класифікації переважними в гальванічному цеху є наступні небезпечні й шкідливі фактори:

1) фізичні:

механізми, що рухаються, машини й рухливі частини виробничого встаткування, що пересуваються, вироби, заготовки, матеріали; підвищене запилення і загазованість повітря робочої зони; підвищена або знижена температура поверхонь устаткування, матеріалів; підвищена або знижена температура повітря робочої зони; підвищена або знижена вологість повітря;

2) хімічні:

токсичні; дратівні;

3) психофізіологічні:

фізичні перевантаження (статичні; динамічні).

У гальванічному цеху здійснюється покриття металопродукції нікелем, кобальтом, міддю й іншими металами. Найбільш шкідливими в обігу речовинами являються:

НАТР ЇДКИЙ (NaOH)

При влученні розчину або пилу на шкіру утворюється м'який струп. Виникають виразки, екземи, особливо в суглобних складках пальців. Небезпечне влучення навіть найменших кількостей NaOH в очі; уражається не тільки роговиця, але й у наслідку швидкого проникнення NaOH у глиб страждають і глибокі частини ока. Результатом може бути сліпота.

СОДА КАЛЬЦИНОВАНА (Na_2CO_3)

При роботі із содою кальцинованої спостерігаються виявлення слизуватої носа, що подібно виникають при дії з'єднань хрому. Вдихання пилу може викликати роздратування дихальних шляхів, кон’юктивит. При тривалій роботі з розчинами можливі: екземи, подразнення шкіри. Концентрований розчин Na_2CO_3 викликає опік, некроз, а надалі помутніння роговиці.

СОЛЯНА КИСЛОТА (HCl)

При високих концентраціях - подразнення слизуватих, особливо носа, помутніння роговиці, поколювання в груди, нежить, кашель, хронічне отруєння викликає катари дихальних шляхів , руйнування зубів, зміну слизуватої носа; шлунково-кишкові розлади, можливі запальні захворювання шкіри. Звичайно причина отруєнь не газоподібний HCl, а туман HCl, що утворюється при взаємодії газу з водяними парами повітря.

У таблиці 4.2 представлена оцінка факторів виробничого середовища й трудового процесу на робочому місці гальваніка.

Відповідно до показників і критерієв умов роботи гальваніка, пов'язаних з негативним впливом на здоров'я, надаються щорічні додаткові відпустки працівникам тривалістю до 8 днів.

Таблиця 4.2 – Оцінка факторів виробничого середовища й трудового процесу на робочому місці гальваніка

Фактори виробничого середовища й праці	Нормативне значення ПДК, ПДР	Фактичне значення	Шкідливі й небезпечні умови й характер праці			Час дії фактору, %
			I кл	IIкл	IIIкл.	
1. Шкідливі хім. речовини, г/м^3 *II клас* Натр їдкий Сода кальцинована Кислота соляна	 0,5 2,0 5,0	 1,5 6,0 10,2		 4 4 4		 80 80 80
2. Пил переважно фіброгенної дії	4	6	2			80
3. Шум, дБ	80	67				100
4. Мікроклімат у приміщенні в теплый період: - t^{0}C повітря; - швидкість руху повітря; - відносна вологість повітря;	 21 0,2 75	 25 0,3 95	 1 1 1			 90 90 90
5. Статичне навантаження. Величина навантаження за зміну за участю м'язів тулуба й ніг	130000	252956	252956			
6. Робоча поза Нахили корпуса, переміщення в просторі	101	Вимушені нахили св.30^0 240	Вимушені нахили 240			

Робота гальваніка в цеху по енерговитратах належить до категорії IIб - середньої важкості.

4.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища

Основними вимогами є автоматизація й герметизація процесів - джерел небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Заходи, передбачені в проекті для безпеки ведення процесу:

-механізовані процеси підготовки й нанесення покрить, для виконання цих операцій застосовуються автооператорні лінії;

-кожна гальванічна ділянка, забезпечується майданчиком обслуговування;

-ванни, де відбувається виділення газів і парів обладнані бортовими відсосами;

-автоматизовані контроль і регулювання основних технологічних параметрів.

У справі боротьби з виробничими нещасними випадками особливо велике значення має організація інструктажу й навчання роботи (особливо на режимних установках) і інженерно-технічних працівників заводу. Інструктаж робітників по безпечних методах роботи проводиться по наступним чотирьом видам:

Вступний - проводиться інженером по техніці безпеки.

Первинний - на робочому місці проводиться майстром, механіком, старшим електриком цеху.

Періодичний повторний інструктаж - проводиться майстром у строки, установлені розпорядженням головного інженера.

Позаплановий - проводиться тими ж майстрами ділянок при зміні технологічного процесу, при порушенні робочим правил особистої безпеки або при травмі, викликаною недостатністю знань по безпечному веденню робіт.

Первинний інструктаж на робочому місці повинен показувати правильні трудові прийоми. Незалежно від наявності в цеху первинного інструктажу, усі знову прийняті робітники залежно від складності професії й специфіки робіт повинні на строк 6 -10 змін прикріплені до досвідченого робітника для стажування. До самостійної роботи на режимних установках допускаються особи після 1-3 місяців навчання й здачі іспиту у кваліфікаційній комісії.

4.3 Заходи з електробезпеки

Устаткування обране відповідно до ПУЕ залежно від характеристики приміщення. По застосуванню електроустаткування приміщення відносяться до класу П 1, тому що в цеху стаціонарно встановлені машини, що не іскрять і без частин, що іскрять.

У цеху знаходяться силові електричні установки постійного й перемінного струму. Постійний струм застосовується для живлення гальванічних ванн, напруга 6В, а перемінний струм застосовується при освітленні, а також для роботи деякого підйомно-транспортного встаткування: 110В, 220В. Найнебезпечнішим для людини є перемінний струм частотою 50-60 Гц, силою струму 0.1А, напругою понад 250В. Усі корпуси електроустаткування заземлені за допомогою нульового проводу.

4.4 Заходи пожежної безпеки

Проектований цех належить до категорії "Д" [51], тому що пов'язаний з обробкою негорючих речовин і матеріалів у холодному стані. Будівля відноситься до II ступеню вогнестійкості, тому що несучі конструкції, що й обгороджують, із природніх або штучних кам'яних матеріалів.

Для евакуації людей у випадку виникнення пожежі передбачені евакуаційні шляхи. Швидкість руху людей при змушеній евакуації рівна 16 м/хв. Припустима довжина шляхів евакуації не більш 50 м в одноповерхових виробничих будинках I й II ступенів вогнестійкості з виробництвами категорії А и не більше 100 м категорії Б и В. Сумарна ширина шляхів евакуації й евакуаційних виходів визначається з розрахунку 0,6 ширини на 100 чоловік, що евакуюються.

Проектоване число виходів не менше двох (по можливості в протилежних сторонах приміщення).

4.5 Технічні рішення виробничої санітарії

Проектування цеху ведеться відповідно до правил безпеки в промисловому виробництві. Конструктивно будівлі цехів не відрізняються від типових. Стіни будівель виконуються із цегельної кладки або збірного залізобетону. Світлові прорізи по довжині будівлі виконані в 2-3 ряди. Вікна й прорізи розташовуються у верхній частині будівель на висоті не менш 1,2 метра від рівня підкранових колій.

4.5.1 Опалення та вентиляція цеху

Внаслідок великого випаровування реагентів у цеху потрібен значний повітрообмін, особливо в літню пору.

У всіх відділеннях гальванічного цеху повинні здійснюватися механічна приточна й місцева витяжна вентиляції. Мінімальна кратність повітрообміну в приміщеннях повинна бути не менше 5год$^{-1}$, а в приміщеннях для допоміжного устаткування не менше 4год$^{-1}$. У приміщеннях для зберігання й розфасовки хімікатів необхідно передбачати витяжну вентиляцію. Витяжна вентиляція служить для видалення із приміщення забрудненого повітря, приточна для подачі в приміщення чистого повітря. Свіже повітря через нерухливі ґрати встановлювані в зовнішніх стінах, надходить у камери, де розташовані калорифери. Калорифери призначені для нагрівання повітря в зимовий час. З камери повітря розподіляється по приміщенню за допомогою відцентрових вентиляторів.

У цеху система опалення, у зимовий час, калориферна. Температура в цеху повинна бути 18 ^{0}С.

При підвищеній вологості повітря й температури в цеху порушується терморегуляція, продуктивність праці знижується. Тому температура в цеху повинна підтримуватися в холодний і перехідний період 18-20^{0}С, у теплий період 21-23 ^{0}С, відносна вологість 50%, швидкість руху повітря не більше 0.2 м/с. Припустимі норми параметрів мікроклімату: температура 17-23^{0}С, а відносна вологість 75 %, швидкість руху до 0,3 м/с.

4.5.2 Освітлення виробничих приміщень

У гальванічному цеху передбачене природне й штучне освітлення.

Для створення природнього освітлення в будівлі цеху є світлові прольоти в стінах. Площа віконних прольотів становить 20 % стосовно площі підлоги. Нормативне значення коефіцієнта природної освітленості становить 1%.

За недостатності природного освітлення застосовують штучне освітлення з нормою найменшої освітленості 300лк згідно з нормами освітленості штуч-

ним світлом. У якості штучного освітлення застосовують лампи розжарювання типу НБ потужністю 60 і 100 Вт, НГ потужністю 500 Вт. Світлова віддача ламп підвищується зі збільшенням їх потужності, але не перевищує 18лм/Вт; термін служби ламп більшості типів 1000 годин.

Освітленість території прийнята до 5 лк. Електропостачання освітлювальних установок намічається від проектованих джерел 380/220В цеху. Коефіцієнт запасу світильників залежно від запилення рівний 1,7.

Вибираємо IV розряд зорових робіт, що характеризується середнім ступенем точності. Найменший розмір об'єкта відмінності 0.5-1.0 мм. У вечірній час у цеху передбачене загальне штучне освітлення. Для IV розряду робіт норма освітлення рівна 250 лк.(КЕО $е^{III}_{н}$ при природньому освітленні, при верхньому або при верхньому й бічному освітленні = 4%)

У цеху передбачене аварійне освітлення, тому що відключення по яким - або причинам робочого освітлення може викликати порушення технологічного процесів. Аварійне освітлення включається автоматично. Найменша освітленість робочих поверхонь при аварійному режимі повинна становити менше 2 лк усередині будівлі. Аварійне освітлення для евакуації людей застосовується в основних проходах і на сходах.

4.5.3 Санітарно-побутові приміщення

Велике значення для нормалізації роботи персоналу має раціональний режим праці й відпочинку, що включає регламентований відпочинок, обладнання кімнат відпочинку з подачею кондиціонованного повітря, а також водні процедури - напівдуші, обмивання, обтирання.

Для запобігання перенапруги організму внаслідок комбінації впливу фізичнох, теплових і нервово-емоційних навантажень, необхідна регламентація праці й відпочинку робітників, зокрема , гальваніків.

Для забезпечення адаптації до умов гальванічного цеху в перші 2-3 тижні молоді робітники, а також робітники після перенесених захворювань і після ві-

дпустки повинні виконувати роботу легкої й середньої ваги важкості з поступовим збільшенням навантаження. Обов'язкові 8-10 хв. перерви на відпочинок.

Кімнати відпочинку обладнаються в герметичному, звукоізольованому (рівень шуму не більше 50 дБ) приміщенні з кондиціюванням повітря, установками - автоматами ОМ-1 для проведення оксигенопрофілактики, напівдушем, кріслами для прийняття зручної для розслаблення м'язів пози.

4.5.4 Виробничий шум

Шум у цеху виникає в результаті роботи двигунів, насосів, мішалок. Шум і вібрація шкідливо діє на людський організм. При тривалому впливі шуму не тільки знижується гострота слуху, але й змінюється кров'яний тиск, послабляється увага, погіршується зір. При одночасній роботі двигуни, насоси, мішалки не перевищують припустимий рівень звуку на робочих місцях 80 дБ, тому немає необхідності застосовувати заходи для звукоізоляції. Щоб послабити розповсюдження вібрації по конструкції будівлі, викликувані роботою вентиляторів і насосів, під їхню основу закладають пружні матеріали.

4.5.5 Засоби індивідуального захисту

Робітники гальванічного цеху забезпечуються спеціальним одягом халатами, фартухами, чоботами. У цеху передбачена аптечка, що містить бинт, вату, розчин йоду, борну кислоту, вазелін, марганцево-кислий калій, питну соду. У цеху передбачені крани з гарячою й холодною водою для промивання очей, обличчя, рук при влученні на них кислот і лугів.

У тих випадках, коли безпека робіт не може бути забезпечена конструкцією встаткування й іншими заходами, застосовують індивідуальні засоби захисту:

- Спеціальний одяг служить для запобігання тіла від бризів реагентів, добре захищають сукняні тканини. Від ураження струмом добре охороняє прогумований одяг і діелектричний рукавички або рукавиці.

- Спеціальне взуття служить для захисту ніг працівників від впливу небезпечних виробничих факторів. Спецвзуття виготовляють зі шкіри зі спеціальним сталевим носком, що витримують удар 20 кг для захисту стопи. Для захисту від електроструму застосовують спеціальні прогумовані боти.
- Захисні окуляри й щітки призначені для захисту очей і обличчя від впливу на них твердих часток, бризів, ультрафіолетового, і інфрачервоного випромінювання.
- Захисні засоби органів подиху бувають двох груп: фільтруючі (протипилові респіратори й протигази), й що ізолюють (шлангові респіратори, пневмокостюми). У цеху застосовують безклапанні респіратори марки ШБ і клапанні респіраторы типів КЗМ, РН-16,Ф-46 і інші, а також фільтруючі протигази.
- Захисні засоби від електроструму: ізолюючі штанги використовують при проведенні робіт під напругою з роз'єднувачами високої напруги, і при застосуванні тимчасових заземлювачів; ізолюючі кліщі для включення запобіжника; діелектричні килимки зі спеціальної гуми товщиною 3-5 мм для установок до 1000 В и 7-8 мм понад 1000 В.

4.6 Розрахунок передувки над травильною ванною

Основним устаткуванням для хімічної обробки поверхні металів є ванни. Згідно із санітарними правилами ефективна вентиляція травильної ванни передувкою можлива тільки в тому випадку, якщо відстань від дзеркала до верхнього краю ванни достатня для розміщення пакета травленого матеріалу.

Необхідно розрахувати передув над ванною періодичного травлення заготовок у розчині сірчаної кислоти. Концентрація розчину 15 %, температура 80 ^{0}С. Розміри травильної ванни: ширина 2 м, довжина 10 м, висота 2,5 м. Травленню піддаютьсяилисти металу, об'єднані в пакет висотою 1 м. Об'єм водню, що виділяється, 2,5 г/с.

Висоту приточної щілини рекомендується приймати b_0 = 0,01÷0,03 м. Приймаємо b_0 = 0,02 м.

При співвісності приточної і витяжної щілин кут нахилу струменя β=0. Для запобігання підтікання повітря до струменя з боків торцеві стінки ванни необхідно підняти на висоту h_1

$$h_1=0,1+0,22\ b_0;$$

де h_1 - висота стінок ванни, необхідна для запобігання підтікання повітря до струменя з бортів;

b_0 - висота приточної щілини.

$$h_1=0,1+0,22 \cdot 2,0=0,54\ м.$$

Визначаємо мінімальну висоту h_2 розташування приточної щілини над поверхнею розчину.

$$h_2= h+0,5\ b_0+0,2B$$

де h_2 - мінімальна висота розташування приточної щілини над поверхнею розчину;

h - висота пакета листів, що піддаються травленню;

B - ширина травильної ванни.

$$h_2= 1+0,5\cdot0,02+0,22\cdot2,0=1,45\ м.$$

Швидкість $v_м$, необхідна для ефективної передувки

$$v'_{min}= v_{min}(h_2/B)^{1/3}=4(1,45/2)^{1/3}=3,8\ м/с;$$

де v_{min} - мінімально припустима швидкість.

$$v'_{min}= 4(1,45/2)^{1/3}=3,8\ м/с.$$

Отриману швидкість перевіряють за умовою вибухонебезпечності:

$$v'_{min}=25\cdot2,5/(2\cdot10\cdot3,4)=0,92\ м/с.$$

Витрата повітря в колекторі передувки

$$L_o=0,37\cdot3,8\cdot(2\cdot0,02)^{1/2}\cdot10\cdot3600=10000\ м^3/ч.$$

Витрата повітря, що віддаляється

$$L_{отс}=10000(0,6+0,32(2/0,02)^{1/2})=38200\ м^3/год.$$

Швидкість повітря в усмоктувальному отворі бортового отсоса рекомендується приймати рівною 2 v_{min}

$$V_{отс}=2\cdot3,8=7,6\ м/с.$$

Висота витяжного прорізу

$$A_{отс}= L_{отс}/3600lv_{отс}=38200/(3600\cdot10\cdot7,6)=0,14\ м,$$

де $L_{отс}$ - витрата повітря, що віддаляється;

l - довжина ванни;

$v_{отс}$ - швидкість повітря в усмоктувальному отворі бортового отсоса.

$$A_{отс}= 38200/(3600\cdot10\cdot7,6)=0,14\ м.$$

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуті основні методи нанесення металевих покрить хімічним методом та механізми процесів. Запропоновані різні способи підготовки металевих і неметалевих покрить до нанесення хімічним, або електрохімічним способами. Проведений аналіз і перераховані області застосування різних типів металевих покрить.

Для найпоширеніших у промисловості процесів хімічного нанесення металевих покрить - нікелювання й кобальтування - докладно розглянуті застосування даного типу покрить, структура й механічні властивості покрить, деякі технологічні аспекти. Запропоновані кислі й лужні розчини нікелювання. Рекомендовані склади лужних і кислих розчинів для нанесення покрить на металеві й склади розчинів для зняття покрить, також перераховані склади розчинів нікелювання для основних типів металевих поверхонь. Перераховані основні недоліки процесів нікелювання й способи їх усунення. Для процесу кобальтування на підставі літературних даних запропонований лужний розчин. Для розглянутих процесів наведені оптимальні склади розчинів нанесення покрить, температури процесу, значення pH середовища й часу ведення процесу.

Розглянуті деякі комбіновані металеві покриття, визначені їхні основні властивості й дані рекомендації щодо їхнього нанесення й експлуатації.

1. Проведений комплексний аналіз впливу швидкості корозії на зміну конструктивної міцності й установлені кінетичні залежності впливу цих змін на рівень напруг.

2. Визначений вплив прикладеної напруги на кінетичні процеси корозії низьколегованої сталі. Показане, що напруга близька до границі текучості, підвищує швидкість корозії низьколегованої сталі.

3. Показане, що збільшення вмісту вуглецю в сталі підвищує швидкість корозії, що приводить до росту напруг за рахунок зменшення товщини металу й може негативно позначатися на розвитку деградаційних процесів у металі.

4. Схильність сталей до корозії залежить від структурного стану, найбільш сприятливим з погляду опору корозії є термомеханічно зміцнений прокат з наступним прискореним охолодженням із прокатного нагрівання.

5. Проведений комплексний аналіз впливу корозії металу на рівень напруг у стінці труби при робочих і випробних тисках, і виявлені критичні значення напруг у стінці труби залежно від діаметра труб, вмісту вуглецю в сталі, тривалості експлуатації й ступеню деградаційних і корозійних процесів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Choong-Nyeon Park, Min-Ho Chang. Effects of nickel coating on the properties of metal hydride electrodes. *J. of Alloys and compounds*. 1995. №231. pp. 846-851.

2. Основи металургійного виробництва металів і сплавів : підручник для металург. спец. вищ. навч. закл. / Д. Ф. Чернега, В. С. Богушевський, Ю. Я. Готвянський [та ін.] ; за ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського. Київ : Вища школа, 2006. 503 с.

3. Дурягіна З. А., Лизун О. Я., Пілюшенко В. Л. Сплави з особливими властивостями : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів. Львів : Львівська політехніка, 2007. 236 с.

4. Теорія будови рідкого, аморфного і кристалічного стану (об'єм поверхні та поверхня в об'ємі) : монографія / М.М. Бережний та ін. Кривий Ріг : «Мінерал», 2007. 291 с.

5. Смірнов О. М., Макуров С. Л., Сафонов В. М. Виробництво зливків сталі та промислових сплавів : навч. посіб. Донецьк : Ноулідж, 2013. 405 с.

6. Попович В. В., Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Львів : Світ, 2006. 624 с.

7. Атаманюк В. В. Технологія конструкційних матеріалів. Київ : Кондор, 2006. 528 с.

8. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва : навч. посіб. / А. М. Верховлюк, А. В. Нарівський, В. Г. Могилатенко. За ред. академіка НАН України В. Л. Найдека. Київ : Видавничий дім "Вініченко", 2016. 224 с.

9. Збожна О. М. Основи технологій : навч. посіб. Тернопіль : Картбланш, 2002. С. 30–58.

10. Смирнов В. О., Білецький В. С. Фізичні та хімічні основи виробництва. Київ : Наука, 2005. С. 45−48.

11. Афтанділянц Є. Г., Зазимко О. В., Лопатько К. Г., Поліщук А. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Конспект лекцій в 2-х книгах. Київ: НУБіП України, 2016. 125 с.

12. Сологуб М. А., Рожнецький І. О., Некоз О. І. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство. Київ : Техніка, 2002. С. 374.

13. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга І. Львів. 2000. С. 264.

14. Попович В., Голубець В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга ІІ. Суми : Університетська книга, 2002. С.259.

15. Державні санітарні правила «Підприємства чорної металургії» ДСП 3.3.1.038-99.

16. Наказ МОЗ від 14.07.2020 № 1596 «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони».

17. Наказ МОЗ України «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони» 14.07.2020 № 1596.

ДОДАТОК А

ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий
інститут ім. Ю. М. Потебні

ІНЖЕНЕРНІ ІННОВАЦІЇ ТА РОЗБУДОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ

Матеріали
І Міжнародної науково-практичної конференції
Інженерного навчально-наукового інституту
ім. Ю. М. Потебні

09–10 травня 2024 року

Видавничий дім
«Гельветика»
2024

УДК 001.895:62+330.341.1(477)(062.552)
І-62

Редакційна колегія:

В. В. Храпкіна, доктор економічних наук, професор, професор кафедри маркетингу та управління бізнесом, Національний університет «Києво-Могилянська академія» (м. Київ);

О. Г. Вагонова, доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної економіки, підприємництва та публічного управління, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро)

Рекомендовано до друку
Рішенням Вченої ради Запорізького національного університету
(протокол № 14 від 27 червня 2024 року)

І-62 **Інженерні інновації та розбудова національної економіки** : матеріали І Міжнародної науково-практичної конференції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю. М. Потебні (09–10 травня 2024 року, м. Запоріжжя) / наук. ред. Н. Г. Метеленко ; Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні Запорізького національного університету. – Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2024. – 1020 с.

ISBN 978-617-554-288-0

У виданні представлені тези доповідей учасників І Міжнародної науково-практичної конференції «Інженерні інновації та розбудова національної економіки» (09–10 травня 2024 року), підготовлені за такими базовими тематичними напрямами, як: Цифрова трансформація економіки України: Industry 4.0, інноваційне підприємництво, національна безпека; Європейські інтеграційні процеси розбудови національної економіки: фінанси, оподаткування, страхування; Фізична електроніка та біоінженерія: тренди розвитку; Інженерна екологія. Сучасні технології кольорової та чорної металургії; Інновації в інженерії програмного забезпечення; Електрична інженерія: відновлювані джерела енергії, «зелена» воднева енергетика, інтеграція в енергетичну інфраструктуру Європи; Архітектура та будівництво: фундатор сучасних будівельних технологій; Механічна інженерія: сучасне обладнання та новітні технології в промисловості; Філософія управління та адміністрування: ризик-менеджмент і цифровізація на макро- і мікрорівнях; Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка: сучасні виклики.

УДК 001.895:62+330.341.1(477)(062.552)

© Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні
Запорізького національного університету, 2024
© Автори статей, 2024

ISBN 978-617-554-288-0

УДК 669.056.9

Яшніков Сергій Володимирович
здобувач вищої освіти другого освітнього рівня, 1 курс,
кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки,
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні
Запорізького національного університету

Кириченко Олексій Геннадійович
к. т. н., доцент, доцент кафедри металургійних технологій,
екології та техногенної безпеки,
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні
Запорізького національного університету

ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ МЕТАЛОПРОДУКЦІЇ НАНЕСЕННЯМ ХІМІЧНИХ ПОКРИТЬ

Актуальність. У світі корозія щорічно призводить до мільярдних збитків, причому основний збиток, що заподіюється нею, полягає не у втраті металу як такого (у світі до 20 % металу в рік йде саме в корозійні відходи), а в руйнуванні дорогих виробів і обладнання. Ще більшої шкоди завдають побічні втрати при простоях обладнання при заміні зруйнованих деталей і вузлів, витік нафти і газу, порушення технологічних процесів.

Збитки від корозії, таким чином, не можна зводити лише до прямих втрат – вартості зруйнованих конструкцій, заміни обладнання і витрат на захист від корозії. У США збитки від корозії, включаю витрати на боротьбу з нею, складають 3,1 % ВВП ($276 млрд на рік), в Німеччині – 2,8 % ВВП. У межах 2–4 % ВВП знаходиться цей показник і в інших розвинених країнах. При цьому втрати металу складають 10–20 % річного виробництва сталі. У нашій країні немає офіційної статистики, яка б відображала економічні збитки від корозії, але, за нашими оцінками, він становить не менше 5 % від ВВП.

Аналіз останніх досліджень. Найбільш повно інформація щодо використання коксу представлена у роботах [1; 2].

Мета. Розробити основні технології нанесення покрить для захисту металу від корозії, запропоновати перспективи старих методів і вивчити успіхи нових.

Основний текст. Світове виробництво металопрокату, особливо листового, в останнє десятиліття неухильно росте.

Промисловість України має більш 20 000 підприємств з різноманітними технологіями виробництва. Устаткування для них виготовляють

на основі сплавів чорних і кольорових металів, а також з природних або штучних хімічно стійких матеріалів. Згодом воно старіє або руйнується внаслідок корозії.

Це приносить не тільки великі економічні втрати, а й призводить до глобальних екологічних катастроф. Економічної та екологічної шкоди, що завдаються нашій планеті корозією металевих виробів, обладнання і конструкцій, величезні.

В останні роки, наприклад, тільки в Сполучених Штатах Америки щорічні втрати від корозії склали 300 мільярдів доларів, що відповідає 6 % національного доходу всієї країни. В Україні щорічні втрати металів через їх корозію складають до 12 % загальної маси металофонду, що відповідає втраті до 30 % виробленого металу.

Крім настільки величезних пов'язаних з корозією прямих втрат, існують ще більші непрямі втрати. До них відносяться витрати, обумовлені втратою потужності металевого обладнання, його вимушеними простоями через аварії, а також витрати на ліквідацію наслідків аварій, що часто носять характер екологічних катастроф.

Як правило, металевий вироб, що прийшов в непридатність внаслідок корозійного руйнування, відправляють на переплавку. У цьому випадку загальні втрати будуть включати безповоротні втрати металу, який перейшов в продукти корозії, вартість виготовлення металевих виробів і непрямі втрати. За стати-стичного даними безповоротні втрати становлять 8–12 % від початкової маси металу. Вартість виготовлення металевих конструкцій найчастіше перевершує вартість самого металу. До непрямих втрат відносять витрати, пов'язані з відмовою в роботі металевого обладнання, з його простоями і ремонтом.

Сумарно в більшості країн втрати від корозії становлять 4–6 % національного доходу. Зростанню втрат від корозії сприяє постійний інтенсивний розвиток найбільш металомістких галузей промисловості, наприклад, енергетики (теплової та атомної), транспорту (в тому числі трубопровідного), металургії, хімічної, нафтової та нафтохімічної промисловості та ін., а також посилення умов експлуатації металу як у промисловості, так і в міському господарстві.

В даний час загальний металофонд України становить близько 1,0 млрд т. При цьому 40–50 % машин і споруд працює в агресивних середовищах, 30 % – в слабо агресивних, і тільки близько 10 % не вимагає активного антикорозійного захисту. Ступінь задоволеності країни основними засобами захисту метал-локонструкцій істотно нижче необхідної. Зокрема, потреба в лако-фарбових покриттях та інгібіторах задовольняється на половину, а в захисті готового металопрокату, наприклад, в трубах з покриттями – менш ніж на 30 %. Найбільші втрати від корозії несуть паливно-енергетичний комплекс (ПЕК), сільське

господарство, хімія і нафтохімія. Так, втрати металу від корозії складають: в ПЕК-30 %, хімії і нафтохімії – 20 %, сільському господарстві – 15 %, металообробці – 5 %.

В даний час проблема корозії посилюється різким старінням основного металофонду, фізичним і моральним зносом, абсолютно недостатнім ступенем реновації (реконструкції, ремонту). Велика частина потенційно небезпечних зварних конструкцій відпрацювала свій ресурс на 50–70 %. Значна частина споруд вичерпала свій плановий ресурс і вступає в період інтенсифікації відмов.

Для знаходження шляхів практичного вирішення тих чи інших завдань, що виникають в результаті корозійного руйнування різних металевих об'єктів, необхідно, в першу чергу, знання законів такого руйнування, тобто теорії корозії металів. Це вимагає розгляду загальних питань, до яких, крім механізму корозії металів, слід віднести такі розділи, як:

– діагностика конструкцій і обладнання потенційно небезпечних виробництв і об'єктів;
– оцінка міцності і залишкового ресурсу експлуатованих конструкцій і обладнання об'єктів підвищеної небезпеки;
– розробка ресурсозберігаючих технологій зварювання і суміжних процесів для підвищення надійності роботи конструкцій;
– сертифікація та нормування, як основа забезпечення якості обладнання; екологічні та соціально-економічні проблеми забезпечення надійності експлуатації потенційно небезпечних об'єктів.

Сучасний захист металів від корозії базується на наступних методах:

– підвищення хімічного опору конструкційних матеріалів,
– ізоляція поверхні металу від агресивного середовища,
– зниження агресивності виробничого середовища,
– зниження корозії накладенням зовнішнього струму (електрохімічний захист).

Створення нових режимів захисту має особливо важливе значення для захисту готових виробів, що піддаються корозійному руйнуванню.

Широко застосовуються наступні основні рішення захисту металевих конструкцій від корозії:

– захисні покриття;
– обробка корозійного середовища з метою зниження корозійної активності. Прикладами такої обробки можуть служити: нейтралізація або знекиснення корозійних середовищ, а також застосування різного роду інгібіторів корозії;
– електрохімічний захист металів;
– розробка й виробництво нових металевих конструкційних матеріалів підвищеної корозійної стійкості шляхом усунення з металу або

сплаву домішок, що прискорюють корозійний процес (усунення заліза з магнієвих або алюмінієвих сплавів, сірки із залізних сплавів і т. д.), або введення в сплав нових компонентів, що сильно підвищують корозійну стійкість (наприклад хрому в залізо, марганцю в магнієві сплави, нікелю в залізні сплави, міді в нікелеві сплави і т. д.);

– перехід у ряді конструкцій від металевих до хімічно стійких матеріалів (пластичні високополімерні матеріали, скло, кераміка й ін.);

– раціональне конструювання й експлуатація металевих споруд і деталей (виключення несприятливих металевих контактів або їх ізоляція, усунення щілин і зазорів у конструкції, усунення зон застою вологи, ударної дії струменів і різких змін швидкостей потоку в конструкції й ін.).

Висновки. Розглянуті основні методи нанесення металевих покрить хімічним методом та механізми процесів. Запропоновані різні способи підготовки металевих і неметалевих покрить до нанесення хімічним, або електрохімічним способами. Проведений аналіз і перераховані області застосування різних типів металевих покрить.

Список використаних джерел

1. Стоєв П. І., Литовченко С. В., Гірка І. О., Грицина В. Т. Хімічна корозія та захист металів : навчальний посібник. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2019. 216 с.
2. Нестеренко С. В. Конспект лекцій з дисциплін «Електрохімія і захист від корозії. Харків : Нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. 104 с.