

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет
(повне найменування факультету)

Кафедра «Фізичне матеріалознавство»
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

магістра
(ступінь вищої освіти)

на тему «Причини виходу з ладу високотемпературної ємності харчового
підприємства»

Виконав(ла): студент(ка) курсу, групи ІФ-612м

Спеціальності 132 «Матеріалознавство»
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

ПОЛТОРАЦЬКИЙ Ігор Олександрович

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ГЛОТКА Олександр Анатолійович

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент _____

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Інженерно-фізичний

Кафедра Фізичне матеріалознавство

Ступінь вищої освіти магістр

Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Прикладне матеріалознавство

(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри «Фізичне матеріалознавство»

Вадим ОЛЬШАНЕЦЬКИЙ

«_____» _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

ПОЛТОРАЦЬКИЙ Ігор Олександрович

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Причини виходу з ладу високотемпературної ємності харчового підприємства

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доцент ГЛОТКА Олександр Анатолійович,

(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «_____» _____ 20__ року №_____

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) умови експлуатації харчових ємностей при підвищених температурах.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Огляд літературних джерел;

2. Матеріали та методики досліджень;

3. Експериментальний розділ;

4. Охорона праці;

5. Економічний розділ.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів) Харчові ємності для проведення технологічних операцій, Структурна діаграма Fe – Cr – C (стан рівноваги), Зміна границі текучості корозійностійких сталей залежно від легування після різних режимів термічної обробки, Вплив хрому на зміну електрохімічного потенціалу та швидкість корозії в морській воді, Вплив температури нагрівання та швидкого охолодження на МКК сталі 10X17 при повторному нагріванні до 790 °C та повільному охолодженні, Схильність аустенітних сталей до МКК, Корозійне розтріскування, Крихкість корозійностійких сталей, Типові дефекти поверхні харчових ємностей при підвищених температурах.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-3	ГЛОТКА О.А., к.т.н., доцент		
4	КРУГЛІКОВА В.М., к.е.н., доцент		
5	НЕСТЕРОВ О.В., к.т.н., доцент		
н/к			

7. Дата видачі завдання «_____» _____ 20__ року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Ознайомлення із темою дипломного проєкту. Вивчення відповідної літератури	06.10.2023	
2	Розробка вступу та розділу «Літературний огляд»	13.10.2023	
3	Розробка розділу «Матеріали та методики досліджень»	27.10.2023	
4	Розробка розділу «Експериментальний розділ»	03.11.2023	
5	Розробка розділу «Охорона праці»	24.11.2023	
6	Розробка розділу «Економічний розділ»	30.11.2023	
7	Написання висновків та переліку посилань	17.12.2023	

Студент(ка)

_____ Ігор ПОЛТОРАЦЬКИЙ
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи) _____ Олександр ГЛОТКА

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 95 с., 12 табл., 29 рис., 11 дод., 21 джерело.

ХАРЧОВА ЄМНІСТЬ, ПІДВИЩЕНІ ТЕМПЕРАТУРИ РОБОТИ, КОРОЗІЯ, МКК, КОРОЗІЙНЕ РОЗТРИСКУВАННЯ, КРИХКІСТ, ДЕФЕКТИ ПОВЕРХНІ, ЗВАРНИЙ ШОВ

Об'єкт розробки – високотемпературні ємності харчової промисловості.

Мета роботи – ретельне вивчення та аналіз причин виходу з ладу високотемпературних ємностей на харчовому підприємстві з метою вдосконалення технічного обслуговування та розробки ефективних стратегій усунення та попередження технічних неполадок.

Результати роботи – Для виготовлення високотемпературних ємностей у харчовій промисловості оптимальними є феритні або аустенітні сталі. Проблеми, пов'язані з виходом із ладу, в основному виникають через міжкристалічну корозію, яку можна усунути за допомогою зниження вмісту вуглецю та термічної обробки. Важливо забезпечити чистоту поверхні виробу та дотримання технологічних норм для забезпечення ефективної експлуатації та уникнення економічних втрат на харчовому підприємстві.

ЗМІСТ

	C.
Вступ.....	7
1 Огляд літературних джерел.....	8
1.1 Аналіз умов експлуатації ємностей харчової промисловості.....	8
1.2 Корозійностійкі сталі, їх характеристика та особливості.....	11
1.3 Легування та його вплив на структуру та властивості корозійностійких сталей.....	27
1.3.1 Вплив легувальних елементів.....	30
2 Матеріали та методика дослідження.....	35
2.1 Дослідження мікроструктури.....	35
2.1.1 Приготування зразків для досліджень.....	35
2.1.2 Дослідження мікроструктури на оптичному мікроскопі	36
2.2 Ультразвуковий метод контролю.....	38
3 Можливі причини виходу із ладу харчових ємностей, які працюють при підвищених температурах та методи їх усунення.....	40
3.1 Міжкристалітна корозія.....	40
3.2 Корозійне розтріскування.....	46
3.3 Крихкість корозійностійких сталей.....	49
3.4 Типові дефекти поверхні харчових ємностей при підвищених температурах.....	54
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	57
4.1 Аналіз потенційних небезпек.....	57
4.2 Заходи забезпечення безпеки.....	58
4.3 Заходи з виробничої санітарії.....	61
4.4 Заходи з пожежної безпеки.....	63
4.5 Заходи безпеки в умовах НС.....	64
5 Економіко-організаційна частина.....	69

	6
5.1 Актуальність теми з позиції маркетингу.....	69
5.2 Послідовний аналіз.....	70
Висновки.....	79
Перелік джерел посилань.....	80
Додаток А	84

ВСТУП

У сучасних умовах функціонування харчової промисловості, високотемпературні ємності є необхідною складовою технологічного процесу, забезпечуючи оптимальні умови для термічної обробки і зберігання продуктів. Невідомі або непередбачувані виходи з ладу цих важливих технічних засобів можуть суттєво вплинути на хід виробничого процесу, якість продукції та загальну продуктивність підприємства.

Однак, не зважаючи на їх важливість, виникає проблема виходу з ладу високотемпературних ємностей, що вимагає уважного та комплексного дослідження. Відсутність належного розуміння причин і наслідків подібних виходів з ладу може призвести до значних труднощів у плануванні виробничих процесів та може призвести до негативних економічних та технологічних наслідків.

Ця дипломна робота розглядає інтенсивний аналіз причин та наслідків виходу з ладу високотемпературних ємностей на харчовому підприємстві. Проведення детального обстеження технічних, експлуатаційних та інших факторів, які впливають на роботу цих ємностей, має на меті виявлення ключових проблем та розробку ефективних стратегій їх усунення та попередження.

Дипломна робота покликана допомогти вирішити технічні виклики, пов'язані з експлуатацією високотемпературних ємностей у харчовій промисловості, сприяючи оптимізації виробничих процесів та підвищенню їхньої надійності.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Аналіз умов експлуатації ємностей харчової промисловості

Ємності для харчової промисловості використовуються для різноманітних функцій, таких як приготування, зберігання, змішування та транспортування різних продуктів, готової їжі і напоїв. Ці резервуари знаходять своє застосування у квасоварінні, молочній, алкогольній (спирт, лікер, вино, пиво), безалкогольній (соки, мінеральна вода), маслорозливній (маргарин, масло, майонез, кетчуп, соуси), кондитерській (топлене і згущене молоко, глазур, шоколадна маса, джем, праліне, фісташкова паста, сироп, мед), борошномельній, круп'яній, хлібопекарській, крахмалопаточній, цукровій та м'ясній промисловості. Важливо відзначити, що металеві ємності для харчових продуктів здатні ефективно захищати їх вміст від окислення, впливу вологості, цвілі, гризунів, що дозволяє тривалий час зберігати якість продукту [1].

Враховуючи агресивні умови експлуатації ємностей для зберігання та проведення технологічних операцій харчової промисловості (рис.1.1), для їх виготовлення необхідно обирати металеві матеріали, які здатні зберігати тривалий час свої властивості на високому рівні. До таких матеріалів висувають особливі вимоги до гігієни, корозійної стійкості та термостійкості. Нижче наведено деякі основні умови роботи для таких виробів, наприклад ємностей, цистерн, які працюють за підвищених температур.

Матеріали для виготовлення таких виробів мають мати високу корозійну стійкість. Це особливо важливо в харчовій промисловості, де можуть бути присутніми агресивні середовища, такі як кислоти, солі та інші хімічні речовини.

Також поверхня ємностей має легко митися і забезпечувати гладку, непористу поверхню, оскільки для застосування в харчовій промисловості досить важливе дотримання високих стандартів гігієнічності.

Оскільки використання виробів передбачається при підвищених температурах, важливим параметром матеріалу є теплостійкість, при якій повинна зберігатися міцність і стійкість до корозії. У харчовій промисловості

можуть використовуватися різні речовини, наприклад олії, кислоти, луги та інші хімічні сполуки. Вироби мають бути стійкими до впливу цих середовищ.



Рисунок 1.1 – Харчові ємності для проведення технологічних операцій [1]

Вироби мають бути досить міцними, щоб витримувати тиск і механічні навантаження, особливо для цистерн і ємностей, які можуть використовуватися під тиском або в процесах перемішування. Продукція для використання в

харчовій промисловості часто має відповідати суворим стандартам і нормативам, встановленим у галузі, таким як ASTM (American Society for Testing and Materials) або іншим міжнародним організаціям.

Для отримання смачного, високоякісного та корисного харчового продукту важливо дотримуватися технології виробництва та рецептури, а це, в свою чергу, вимагає відповідності обладнання та технологічних ліній стандартам гігієни. Правильний вибір конструкційних матеріалів – це запорука успіху в багатьох напрямках. Саме тому для виготовлення ємностей харчової промисловості, які здатні витримувати підвищені температури, доцільно використовувати корозійностійкі сталі. Вони мають високі показники механічних властивостей, здатні протистояти корозійному впливу агресивних середовищ, мають гарну термостійкість і можуть забезпечувати стабільні властивості за високих температур.

Харчова сталь не повинна виділяти під час контакту з водою іони важких металів металів, а також будь-які інші речовини. Вироби з корозійностійкої сталі мають бути практично інертними, такими, що не вступають у реакції з продуктами за звичайних умов.

Уже зараз існують і, безумовно, будуть посилені в майбутньому суворі обмеження на розчинність важких металів, наявних у матеріалі, з якого виготовлено обладнання, що перебуває в контакті з продуктами. Згідно з європейськими рекомендаціями кількість хрому і нікелю, розчиненого зі сталі під час стандартного тесту за ISO 6486/1, допускається не вище 2 мг/дм². Для аустенітних сталей кількість розчинених нікелю і хрому менше ніж 0,02 мг/дм² або, іншими словами, близько 1% від допустимого значення.

Зазвичай для виробництва обладнання харчової промисловості використовуються марки корозійностійкої сталі AISI 304 (08X18H10 / DIN 1.4301) і 1.4401 (AISI 316L). Важливим фактором є гарна і гладка (без заламів, нерівностей і подряпин) поверхня металу. Стандартний вид оздоблення 2В є достатнім, проте іноді необхідне полірування (електролітичне). Шорсткість (Ra) поверхні зазвичай не перевищує 0,6 мкм [2].

Ємності для харчової промисловості класифікуються за різними параметрами, такими як тип конструкції (відкритий або закритий тип, що працює під тиском), наявність додаткових функцій (з підігрівом або охолодженням), призначенням, формою перетину, розмірами і об'ємом.

Виготовлення ємностей для харчового виробництва має здійснюватися на сучасному обладнанні за використанням корозійностійкої сталі (наприклад, феритної структури марки AISI 430 і аустенітної структури класу AISI 304L, AISI 316L, AISI 321, з титаном і молібденом) і алюмінію. Вибір матеріалу визначається врахуванням класу небезпеки, експлуатаційного навантаження і кліматичних умов використання обладнання. Основні переваги ємностей з алюмінію і корозійностійкої сталі включають міцність і довговічність, абсолютну герметичність, стійкість до корозії, UV-випромінювань і механічних пошкоджень, а також високу переносимість температур, естетичний вигляд та зручність обслуговування. Виготовлення алюмінієвих і сталевих ємностей регламентується ГОСТом, з обов'язковим безперервним контролем якості зварних з'єднань і ретельною обробкою поверхні виробу. У разі потреби резервуар може бути додатково оснащений теплоізоляцією, різними датчиками, вимірювачами, пристроями, механізмами обігріву або охолодження, оглядовими вікнами, люками та пультом управління [3].

1.2 Корозійностійкі сталі, їх характеристика та особливості

Корозією називається руйнування металів і сплавів унаслідок хімічної або електрохімічної взаємодії їх із зовнішнім середовищем. Відповідно до цього розрізняють два типи корозії - хімічну та електрохімічну.

Залежно від властивостей середовища та умов взаємодії розрізняють такі види корозії: газову, атмосферну, підводну, підземну, контактну, біокорозію та ін.; залежно від характеру руйнування - рівномірну, точкову, пітингову, щілинну, міжкристалітну, ножову, вибіркову.

Корозійна стійкість – здатність матеріалу чинити опір корозійному впливу середовища - може визначатися якісно та кількісно: зміною маси зразків; об'ємом водню, що виділився (або поглинутого кисню); зменшенням товщини зразків; зміною показників фізичних чи механічних властивостей; густиною струму корозії; глибиною структурних змін; часом до появи корозійного осередка та ін.

Як критерій корозійної стійкості часто використовують швидкість корозії, виражену глибинним K_g (мм/рік) або масовим K_m (г/м²) показниками, що пов'язані співвідношенням $K_g = 8,76 K_m / \rho$ мм/рік, де ρ - густина металу (г/м³).

На швидкість і механізм корозійних процесів великий вплив можуть чинити зовнішні чинники – температури, тиск середовища, напруга, швидкість потоку рідини або газу, наявність тертя, кавітації, опромінення. Наприклад, під впливом напружень виникають явища корозійного розтріскування (у разі постійних розтягувальних напружень) або корозійної втоми (під впливом змінних навантажень). У разі виникнення кавітації розвивається корозійна кавітація - руйнування внаслідок мікроударного та електрохімічного впливів агресивного середовища. Швидкість корозії конструкційних матеріалів під дією реакторних опромінь може змінюватися з двох причин; внаслідок зміни властивостей самого матеріалу, коли прискорення корозії спостерігається у зв'язку з погіршенням захисних властивостей поверхневих плівок під дією опромінення, та у зв'язку зі зміною властивостей теплоносія, коли, наприклад, унаслідок розкладання води й утворення атомарних кисню та водню змінюється рН середовища і швидкість корозії. Корозійностійкі (корозійностійкі) сталі експлуатують переважно в умовах електрохімічної корозії (хоча в принципі не виключено і протікання хімічної корозії).

Корозійностійкими сталями традиційно називають сталі, що мають високу корозійну стійкість у вологій атмосфері та слабоагресивних водних розчинах. Сталі, призначені для роботи в середовищах підвищеної агресивності, називають корозійностійкими [4].

Залежно від хімічного складу сталі та сплави поділяють на класи за основним складовим елементом: хромисті, хромонікелеві, хромомарганцеві, хромонікельмолібденові тощо. Найпоширенішим є розподіл за структурними

ознаками. Залежно від структури сталі поділяють на класи: феритний, мартенситний, аустенітний, ферито-мартенситний, аустенітно-мартенситний, аустенітно-феритний. В окремий клас зазвичай виділяють корозійностійкі сплави на основі нікелю (нікелю і хрому, нікелю і молібдену).

Зазначимо, що підрозділ сталей на класи за структурними ознаками умовний і проводиться залежно від основної структури, отриманої під час охолодження сталей на повітрі після високотемпературного нагрівання. Склад корозійностійких сталей регламентується ГОСТ 5632 72, а механічні властивості - відповідними ГОСТами на напівфабрикати, наприклад, ГОСТ 7350-77 (товстий лист), ГОСТ 5582-75 (тонкий лист), ГОСТ 5949-75 (сортний прокат) тощо.

Як зазначалося вище, для надання корозійної стійкості в сталь вводять щонайменше 12 % Сг. Залежно від співвідношення вуглецю і хрому (рис. 1.2) сталі можуть мати феритну (08X18Т, 12X17, 15X25Т, 15X28), ферито-мартенситну (08X13, 12X13) і мартенситну (20X13, 30X13, 40X13) структуру. Сталі з більш високим вмістом вуглецю мають у структурі мартенсит і карбіди, залишковий аустеніт і належать до інструментальних.

1. Мартенситні та мартенсито-феритні сталі

Мартенситні та мартенсито-феритні сталі мають гарну корозійну стійкість в атмосферних умовах, у слабоагресивних середовищах (у слабких розчинах солей, кислот) і мають високі механічні властивості. Здебільшого їх використовують для виробів, що працюють на зношення, як ріжучий інструмент, зокрема ножів, для пружних елементів і конструкцій у харчовій і хімічній промисловості, які перебувають у контакті зі слабоагресивними середовищами (наприклад, 4-51%-ва оцтова кислота, фруктові соки та ін.). Ці сталі застосовують після гартування і відпуску на задану твердість.

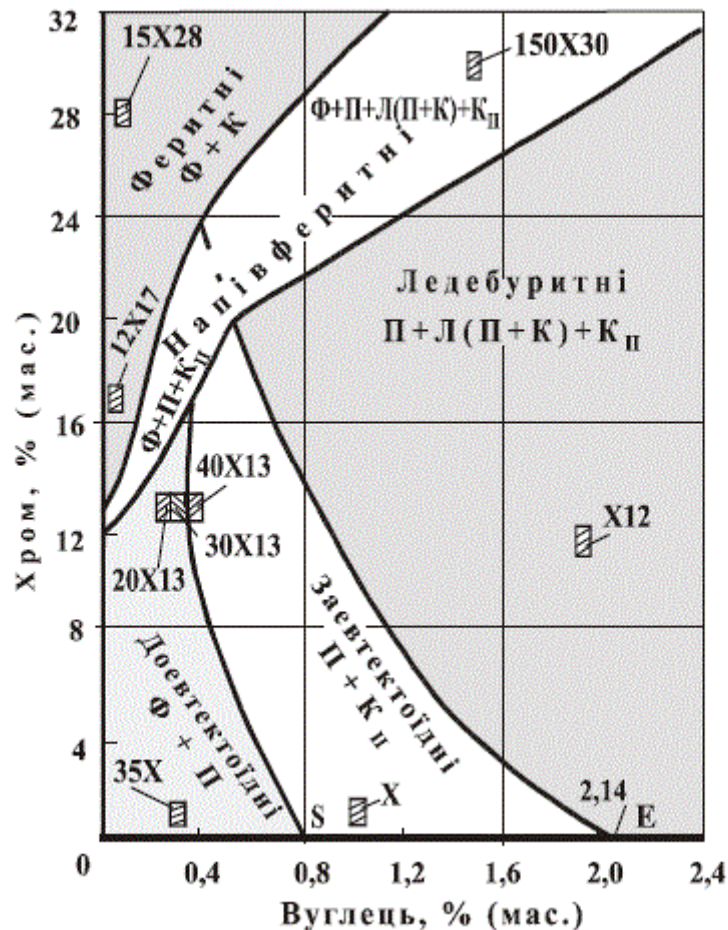


Рисунок 1.2 – Структурна діаграма Fe – Cr – C (стан рівноваги)

Завдяки малій критичній швидкості гартування сталі 30X13, 40X13 гартують на мартенсит під час охолодження на повітрі (рис. 1.3). Гартування виробів із цих сталей проводять від температур 950-1020°C, оскільки тільки вище цих температур відбувається повне розчинення в аустеніті карбідів Cr_{23}C_6 . Після гартування сталі відпускають на необхідну твердість. Так, після гартування сталь 40X13 має твердість HRC 56-58, після відпуску при 200-300 °C HRC 50, а після відпуску при 600 °C HRC 32-34. В інтервалі 480-520 °C спостерігається істотне зниження пластичності та ударної в'язкості сталей через розвиток відпускнуї крихкості.

Після гартування сталі мають високу корозійну стійкість. Відпуск за 200-400 °C проводять для зняття внутрішніх напружень; він не впливає на корозійну стійкість. Під час відпуску вище 500 °C відбувається розпад мартенситу на ферито-карбідну суміш і виділення карбідів типу Me_{23}C_6 , структура сталі стає

гетерогенною, феритна матриця збіднюється хромом, корозійна стійкість різко знижується. Відпуск при більш високих температурах підвищує корозійну стійкість. Чим більше в сталі вуглецю, тим більше виділяється карбідів хрому і тим сильніше знижується корозійна стійкість. У зв'язку з цим у практиці використовують сталі зі змінним вмістом вуглецю і хрому: чим вищий у сталі вміст вуглецю, тим більше потрібно хрому для забезпечення необхідної корозійної стійкості.

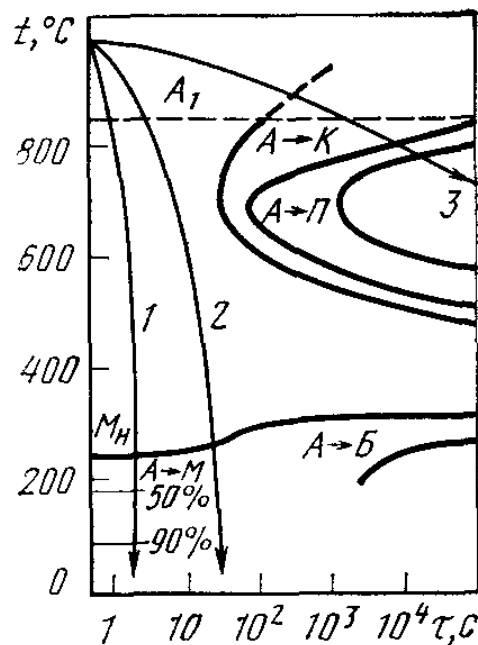


Рисунок 1.3 – Діаграма ізотермічного розпаду переохолодженого аустеніту сталі 40Х13

Сталь 12Х13 належить до ферито-мартенситної і має в структурі 10-15 % δ -фериту. Після гартування від 1030-1050° і відпуску за 680-700 °С структура сталі являє собою ферито-карбідну суміш; комплекс механічних властивостей її високий. У сталі 08Х13 $\alpha \leftrightarrow \gamma$ -перетворення під час нагрівання відбувається тільки частково, тому вона схильна до неповного гартування, а структура сталі після швидкого охолодження складається з фериту і невеликої кількості низьковуглецевого мартенситу, який під час відпуску розпадається на ферито-карбідну суміш. Сталі 12Х13 і 08Х13 мають більш високі пластичні та

технологічні властивості; їх широко застосовують для зварних виробів, що працюють у слабоагресивних середовищах.

2. Феритні сталі

Ці сталі застосовують для виготовлення виробів, що працюють в окислювальних середовищах (наприклад, у розчинах азотної кислоти), для побутових приладів, у харчовій, легкій промисловості та для теплообмінного обладнання в енергомашинобудуванні.

Феритні хромисті сталі мають високу корозійну стійкість в азотній кислоті, водних розчинах аміаку, в амічній селітрі, суміші азотної, фосфорної та фтористоводневої кислот, а також в інших агресивних середовищах.

Корозійна стійкість сталей феритного класу підвищується зі збільшенням вмісту в них хрому, зменшенням вмісту вуглецю й азоту. У інших країнах розроблено сталі з низьким сумарним вмістом вуглецю й азоту (0,025-0,0351%), які містять 18-28% Cr і 2-4% Mo, стабілізовані Ti або Nb. Ці сталі називають суперферитами; вони мають високу стійкість у багатьох агресивних середовищах, стійкі проти корозії під напруженням, пітингової та щілинної корозії. У сталі типу 12X17 при високотемпературному нагріванні можливе утворення аустеніту, кількість якого залежить від вмісту вуглецю. Тільки за $C \leq 0,03\%$ у структурі сталі спостерігається чисто феритна структура. Найбільша кількість аустеніту утворюється при температурі 1000-1100°C, за більш високих температур вміст аустеніту знижується (рис. 1.4).

Утворення аустеніту в сталях цього типу небажане, оскільки під час охолодження відбувається мартенситне перетворення, що підвищує твердість, знижує пластичність сталей, викликає схильність до МКК. Для запобігання цьому явищу зменшують вміст вуглецю або вводять титан, ніобій, молібден (сталі 08X18T, 015X18M2Б), що сприяють отриманню однофазної структури, а утворення карбідів титану і ніобію знижує схильність до зростання зерна і покращує корозійну стійкість, зокрема, зварних швів.

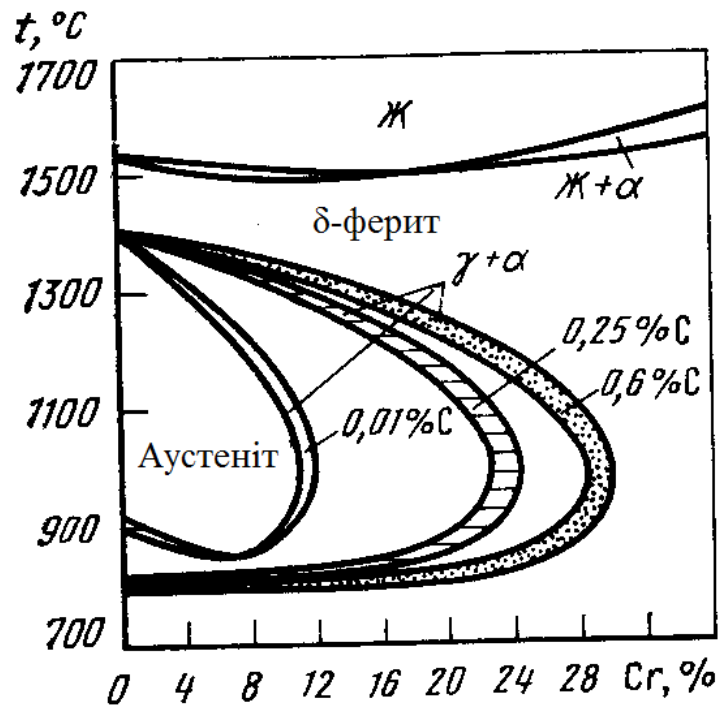


Рисунок 1.4 – Вплив вуглецю на положення області $\alpha \leftrightarrow \gamma$ перетворення в системі Fe–Cr–C [4]

Хромисті сталі феритного класу можна використовувати під час роботи в агресивних середовищах в інтервалі температур 100-350°C, який обмежений, з одного боку, холодноламкістю, а з іншого - початком розвитку крихкості 475°C.

Недоліками хромистих сталей феритного класу є: схильність до зростання зерна під час нагрівання; крихкість за 475 °C або внаслідок виділення σ -фази; порівняно невисокі характеристики міцності та жароміцності; обмежені технологічні можливості по гарячій обробці у зв'язку з вимогою забезпечення порівняно дрібного зерна і, отже, низької температури закінчення деформації; труднощі в забезпеченні зварюваності та корозійної стійкості зварних швів.

3. Аустенітні сталі.

Хромонікелеві сталі. Введення в сталь нікелю сильно розширює γ -область, знижує температуру мартенситного перетворення, і за 8% Ni сталь із 18 % Cr і 0,1 % C переходить у клас аустенітних. Мартенситна точка M_s при охолодженні для цих сталей лежить дещо нижче кімнатної температури, а мартенситна точка при деформації M_d – вище.

Точне положення M_n сталей типу 18-8 визначається співвідношенням хрому, вуглецю, нікелю і домішок у сталі та змінюється в широких межах від 0 до $(-180) - (-190) ^\circ\text{C}$.

Мартенсит може бути отриманий пластичною деформацією або обробкою холодом. Важливо відзначити, що склад 18% Cr – 8% Ni за 0,1% C потребує мінімальної кількості нікелю для забезпечення аустенітної структури, тобто є найбільш економічно вигідним, що і визначило поширеність сталей цього типу.

Основною перевагою сталей аустенітного класу є їхні високі експлуатаційні характеристики (міцність, пластичність, корозійна стійкість у більшості робочих середовищ) і хороша технологічність. Тому аустенітні корозійностійкі сталі знайшли широке застосування як конструкційний матеріал у різних галузях машинобудування.

У хромонікелевих аустенітних сталях промислових плавів можливі такі фазові перетворення: 1) утворення карбідних, карбонітридних фаз і σ -фази під час нагрівання в інтервалі $650-850^\circ\text{C}$; 2) розчинення цих фаз під час нагрівання до вищих температур ($1100-1200^\circ\text{C}$); 3) утворення δ -фериту під час високотемпературного нагрівання; 4) утворення α - та ϵ -мартенситних фаз у процесі охолодження та пластичної деформації.

Ніобій і титан, перебуваючи у твердому розчині (аустеніті), знижують температуру мартенситного перетворення, а в разі виділення їх у карбонітридних фазах відбувається збідніння аустеніту вуглецем і азотом, і мартенситна точка підвищується.

Присутність δ -фериту знижує мартенситну точку, оскільки при його утворенні відбувається перерозподіл легувальних елементів і γ -фаза збагачується аустенітоутворювальними елементами.

Метою термічної обробки є отримання аустенітної структури, зняття внутрішніх напружень і встановлення стійкості до МКК, яка виникає при зварюванні, гарячій обробці тиском або інших технологічних операціях.

Термічна обробка нестабілізованих титаном і ніобієм хромонікелевих аустенітних сталей (наприклад, 12X18H9) полягає в гартуванні з однофазної аустенітної області (від $1000 ^\circ\text{C}$) у воду (гартування без поліморфного

перетворення). Вважається, що гартування слід проводити від температур дещо вищих за температуру розчинення хромистих карбідів (T_p), причому чим вищий вміст вуглецю в сталі, тим від більш високих температур проводять гартування.

Сталі, стабілізовані титаном або ніобієм, гартують із двофазної області аустеніту і спеціальних карбідів TiC (або NbC), причому температура гартування не залежить від вмісту вуглецю і становить зазвичай $1000-1100^{\circ}C$, найчастіше $1050^{\circ}C$. Більш високі температури недоцільні через можливе зростання зерна і початок розчинення спеціальних карбідів. Після гартування сталі набувають оптимального поєднання характеристик механічних властивостей і корозійної стійкості.

Недоліком гартування є необхідність нагріву до високих температур, швидкого охолодження, що часто, важко технологічно здійснити і спричиняє викривлення конструкції. Стабілізуючий відпал для сталей без титану і ніобію має на меті підвищення концентрації хрому на границі аустеніт - карбід, що приводить сталь до стану високого опору МКК. Незважаючи на присутність карбідів хрому в сталях після відпалу за $850-950^{\circ}C$, вони не схильні до МКК.

Для сталей, легованих титаном і ніобієм, у процесі відпалу можливе перетворення карбідів хрому на спеціальні карбіди TiC або NbC , що також усуває схильність до МКК. Температура стабілізуючого відпалу зазвичай становить $850-950^{\circ}C$. Відпал допускає більш повільне охолодження, зазвичай на повітрі, і більш ефективний для стабілізованих сталей.

Хромомарганцевонікелеві та хромомарганцеві сталі. Марганець, як і нікель, є аустенітоутворювальним елементом, проте він має менш сильну дію на стабілізацію аустеніту. З рис. 1.5 видно, що аустенітну структуру в $Cr-Mn$ сталях можна отримати тільки за вмісту $>15\% Mn$ і $<15\% Cr$. За інших співвідношень легувальних елементів структура сталей стає двофазною (аустеніт+ферит або мартенсит, або σ -фаза). Тому під час заміни нікелю марганцем доводиться знижувати вміст хрому або замінювати нікель частково, або додатково легувати сталі таким сильним аустенітоутворювальним елементом, як азот. Прикладом таких матеріалів може бути хромомарганцева сталь з азотом $10X14AG15$ ($0,15-0,25\% N$) і хромомарганцевонікелева сталь $10X14G14H4T$, що знайшли

застосування в промисловості (переважно в торговельному і харчовому машинобудуванні). Крім цих сталей, застосовують також сталі 20X13H4Г9, 12X17Г9АН4 тощо.

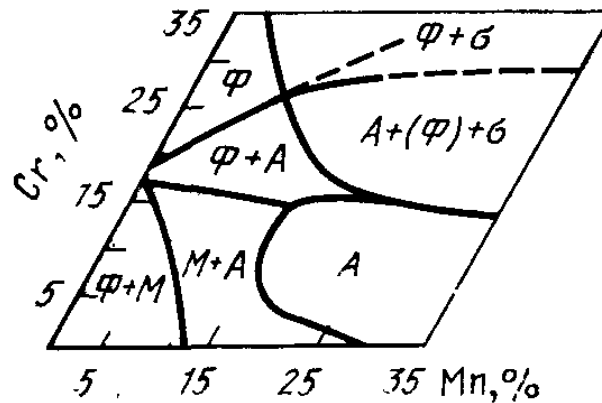


Рисунок 1.5 – Структурна діаграма системи Fe–Cr–Mn після гартування від 1100 °С

Корозійна стійкість хромомарганцевих і хромо-марганцевонікелевих сталей у багатьох агресивних середовищах досить висока, проте в середовищах високої агресивності (наприклад, азотна кислота, середовища з галогенами, сульфатами, сульфідами) марганець негативно впливає на опір корозії. Тому корозійностійкі хромомарганцеві сталі слід застосовувати тільки після ретельних випробувань на корозійну стійкість у робочому середовищі.

Під час нагрівання цих сталей (550-800 °С) у них по границях зерен виділяються карбіди типу Cr_{23}C_6 , при цьому швидкість процесів виділення визначається вмістом вуглецю. За наявності в сталях азоту стабілізація титаном не усуває схильності до МКК, оскільки можуть утворюватися нітриди титану. Тому для запобігання схильності до МКК у цих сталях потрібно знижувати вміст вуглецю (0,03 %).

Хромомарганцеві сталі мають вищі властивості міцності, ніж хромонікелеві, і більшу схильність до утворення мартенситу під час деформації. Слід зазначити, що хромомарганцеві аустенітні сталі сильніше зміцнюються під час пластичної деформації, ніж хромонікелеві, навіть без урахування мартенситу

деформації, тобто під час деформації, вищої за M_d . Це зазвичай пов'язують з імовірністю утворення і величиною енергії дефектів упаковки: нікель підвищує, а марганець знижує ймовірність утворення дефектів упаковки в аустеніті.

Термічна обробка цих сталей полягає в гартуванні від 1000-1100°C з метою забезпечення аустенітної структури, зняття попереднього наклепу й усунення схильності до МКК. Витримка під гартування хромомарганцевих сталей має бути мінімальною, тому що марганець має тенденцію до вибіркового окислення за високих температур, внаслідок чого поверхневі шари збіднюються марганцем і можуть набувати ферито-аустенітної структури, що є небажаним явищем. Ці сталі застосовують як замітники хромонікелевих сталей у середовищах середньої агресивності, їх використовують у широких діапазонах температур.

4 Аустеніто-феритні та аустеніто-мартенситні сталі

Аустеніто-феритні сталі. Перевага сталей цієї групи - підвищена границя плинності порівняно з аустенітними однофазними сталями, відсутність схильності до зростання зерна при збереженні двофазної структури, менший вміст гостродефіцитного нікелю і хороша зварюваність, менша схильність до МКК.

Підвищений опір МКК пояснюють більш дрібнозернистою структурою двофазних сталей, що призводить до меншої концентрації карбідних фаз на границях (виділенням карбідів типу $Me_{23}C_6$ на границі δ - γ -фаз). Оскільки умови прояву МКК у цих фазах різні, то концентрація хрому в приграничних ділянках не опускається нижче допустимого рівня. Оскільки концентрація вуглецю в аустеніті вища, ніж у фериті, карбіди виділяються по границях, не утворюючи безперервної сітки.

Аустеніто-феритні сталі знаходять широке застосування в різних галузях сучасної техніки, особливо в хімічному машинобудуванні, суднобудуванні, авіації.

Принципова відмінність сталей аустеніто-феритного класу в тому, що завдяки вищому вмісту в них хрому аустеніт стає стійкішим щодо мартенситного перетворення, хоча повністю виключити можливість утворення мартенситу в цих сталях не завжди вдається.

Аустенітно-феритні сталі вельми складні за хімічним складом, можуть мати в структурі різне співвідношення аустенітної та феритної фаз. У них можуть відбуватися такі основні фазові перетворення:

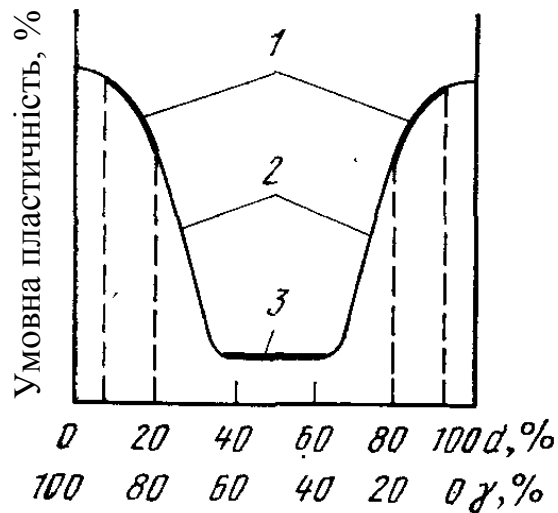
1. Зміна кількості аустеніту і фериту залежно від температури нагрівання (відповідно до положення ліній на діаграмі стану).
2. Розпад δ -фериту з утворенням σ -фази та вторинного аустеніту.
3. Виділення карбідних, нітридних та інтерметалідних фаз, яке може відбуватися як з аустеніту, так і з фериту.
4. Мартенситні $\gamma \rightarrow \alpha_m$ – перетворення при охолодженні або при деформації.
5. Процеси окрихчування феритної фази, пов'язані з явищами впорядкування і розшарування ("крихкість 475 °C"),

Можливість протікання в аустенітно-феритних сталях складних фазових перетворень у різних інтервалах температур надає істотні обмеження на режими їхньої технології виробництва та сфери застосування.

Присутність δ -фериту різко погіршує пластичність сталей під час гарячої обробки тиском, особливо під час прокатки та прошивання труб, що пов'язують із різним опором фериту й аустеніту деформації, з різною швидкістю рекристалізації: зерна фериту, які є менш міцними та швидко рекристалізуються, призводять до локалізації в них пластичної деформації та концентрації напружень.

На рис. 1.6 наведено залежність технологічної пластичності двофазних сталей від кількісного співвідношення α і γ фаз. Видно, що найбільш пластичні однофазні сплави, проте можна підібрати такий режим прокатки, за якого пластичність двофазних сталей буде цілком достатньою для виробництва.

На аустенітно-феритних сталях проявляється ефект надпластичності, який полягає в дуже високій пластичності (до 300-600 %) цих сталей без наклепу в певних інтервалах температур і швидкостей деформації та пояснюється утворенням особливої дрібнозернистої двофазної структури (величина зерна 2-3 мкм), що отримала в літературі назву мікродуплекс.



1 – хороша; 2 – понижена; 3 – погана

Рисунок 1.6 – Вплив співвідношення α і γ -фаз на технологічну пластичність сталей при високих температурах

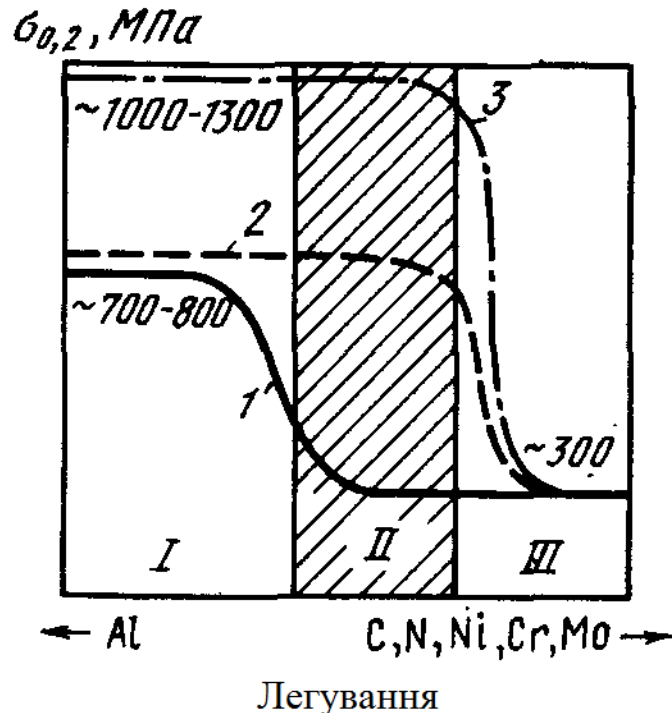
Проміжну термічну обробку сталей цього класу проводять зазвичай для зняття наклепу при виробництві тонкого листа або дроту. При цьому після пом'якшувальної термічної обробки або гарячої деформації охолодження від 900-1000 °С повинне бути прискореним, щоб запобігти окрихчуванню.

Температуру гартування цих сталей вибирають залежно від складу і призначення деталі; вона зазвичай становить 900-1100°С. Сталі, призначені для зварних деталей, піддають відпуску для зняття напруження, причому температури і час відпуску обирають з урахуванням запобігання крихкості сталі в інтервалі "крихкості 475°С" і крихкості внаслідок сигматизації сталей в інтервалі 650-850°С.

Аустеніто-мартенситні сталі. Потреби нових галузей сучасної техніки в корозійностійких сталях підвищеної міцності та технологічності привели до розроблення сталей аустеніто-мартенситного (перехідного) класу.

Структура цих сталей після гартування уявляє нестійкий (метастабільний) аустеніт, який може зазнавати мартенситного $\gamma \rightarrow \alpha_m$ -перетворення внаслідок обробки холодом або пластичної деформації нижче M_p . Властивості

визначаються співвідношенням кількості аустеніту й мартенситу в структурі. Зміни властивостей міцності залежно від вмісту легувальних елементів у сталях мартенситного (I), перехідного (II) і аустенітного (III) класів наведено на рис. 1.7.



1 – гартування; 2 – гартування і обробка холодом; 3 – гартування, обробка холодом і старіння. I – мартенситний клас; II – аустеніто-мартенситний клас; III – аустенітний клас

Рисунок 1.7 – Зміна границі текучості корозійностійких сталей залежно від легування після різних режимів термічної обробки

Температура M_n у цих сталях повинна бути нижче кімнатної, але не настільки низько, щоб сталь була стабільною під час обробки холодом. В аустеніто-мартенситних сталях може утворюватися певна кількість δ -фериту, проте його присутність у структурі обмежують через можливе окрихчення сталей і зниження рівня міцності.

Склад сталей цього типу доводиться суворо контролювати для підтримання збалансованого вмісту ферито- і аустенітоутворювальних елементів і заданої температури мартенситного перетворення. У таблиці 1.1 показано

вплив легувальних елементів на кількість δ -ферриту і положення мартенситної точки сталей перехідного класу.

Таблиця 1.1 – Вплив легувальних елементів на кількість δ -ферриту та температури M_p

Легувальний елемент	N	C	Ni	Co	Cu	Mn
Зміна δ -ферриту на 1% л.е.	-200	-180	-10	-6	-3	-1
Зміна M_p , °C на 1% л.е.	-450	-450	-20	+10	-35	-30
Легувальний елемент	W	Si	Mo	Cr	V	Al
Зміна δ -ферриту на 1% л.е.	+8	+8	+11	+15	+19	+38
Зміна M_p , °C на 1% л.е.	-36	-50	-45	-20	-46	+53

Додаткове зміцнення цих сталей може бути отримано в результаті дисперсійного твердіння мартенситу за температур 400-500 °C. Для цього в сталі вводять такі елементи як алюміній, мідь, титан. У цьому разі в сталях можливе виділення інтерметалідної фази NiAl, когерентної з ОЦК-матрицею, і NiTi або Ni(Al, Ti), які також мають ОЦК структуру; при введенні міді утворюються комплекси, дуже багаті на мідь (імовірно твердий розчин нікелю в міді).

У процесі відпуску в сталях виділяються карбонітриди молібдену і ванадію, що також підвищує міцність. Однак унаслідок старіння падають характеристики пластичності, тому під час легування сталей прагнуть до максимального виграшу в міцності за заданих характеристик пластичності.

Експериментально встановлено, що оптимальне поєднання міцності та пластичності забезпечує легування молібденом і алюмінієм, що пояснює найбільше поширення сталей відповідних композицій.

5. Сплави на залізонікелевій і нікелевій основі

Під час виготовлення хімічної апаратури, особливо для роботи в сірчаній і соляній кислотах, необхідно застосовувати сплави з більш високою корозійною стійкістю, ніж аустенітні сталі. Для цих цілей використовують сплави на залізонікелевій основі типу 04ХН40МДТЮ та сплави на нікельмолібденовій основі Н70МФ на хромонікелевій основі ХН58В і хромонікельмолібденовій основі ХН65МВ, ХН60МБ.

Структура сплаву 04ХН40МДТЮ після гартування – аустеніт із включеннями карбонітридів титану. Після старіння в сплаві спостерігається до 14% інтерметалідної γ' -фази типу $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$, що супроводжується значним зміцненням. Сплави цього типу можуть працювати в контакті з агресивними середовищами (наприклад, розчини сірчистої та фосфорної кислот) за наявності значних механічних напружень.

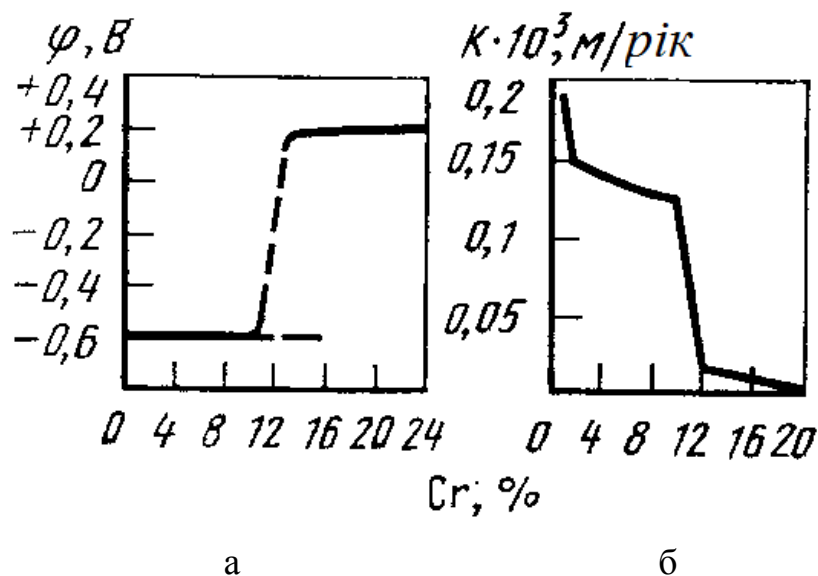
Структура сплаву Н70МФ після гартування від 1070-1100 °С – α -твердий розчин молібдену в нікелі та деяка кількість спеціальних карбідів Mo_6C і VC . Нагрівання сплаву за 600-800 °С негативно позначається на його корозійній стійкості та опорі МКК через виділення на границях зерен карбідів Mo_{12}C та інтерметалідних фаз типу Ni_4Mo і Ni_3Mo . Сплав застосовують для роботи в органічних кислотах, солянокислих середовищах і концентрованих розчинах сірчаної та фосфорної кислот. Структура сплавів ХН58, ХН6ГМВ після гартування від оптимальних температур – α -твердий розчин із первинними карбідами типу Me_6C .

Під час нагрівання в інтервалі 800-1000 °С у них можуть виділятися карбіди та інтерметаліди (Me_{23}C_6 , μ -фаза типу $(\text{Ni}, \text{Cr})_7(\text{Mo}, \text{W})_6$), що негативно позначається на їхніх корозійних властивостях. Ці сплави призначені для виготовлення ємностей і трубопроводів у хімічному машинобудуванні, для роботи за підвищених температур, у середовищах високої агресивності (солянокислі, сірчанокислі середовища, хлор, оцтова кислота тощо).

1.3 Легування та його вплив на структуру та властивості корозійностійких сталей

Корозійностійкі (неіржавіючі) сталі застосовують для виготовлення деталей машин і устаткування та конструктивних елементів (переважно зварних), що працюють у різних агресивних середовищах (волога атмосфера, морська вода, кислоти, розчини солей, лугів, розплави металів та ін.). Легування корозійностійких сталей і сплавів має на меті досягнення високої корозійної стійкості в робочому середовищі та забезпечення заданого комплексу фізико-механічних характеристик.

Металами, що легко пасивуються, є алюміній, хром, нікель, титан, вольфрам, молібден. Легування ними металів, що слабо пасивуються, наприклад заліза, надає сплавам схильність до пасивації за умови утворення твердих розчинів. Під час переходу в пасивний стан спостерігається підвищення електродного потенціалу, який стає більш електропозитивним (рис. 1.8,а).



а – зміна електрохімічного потенціалу φ залізо-хромистих сталей з 0,1% С в нормальному розчині сульфату заліза, б – швидкість корозії К в морській воді

Рисунок 1.8 – Вплив хрому на зміну електрохімічного потенціалу та швидкість корозії в морській воді [4]

Такий стан для заліза настає при вмісті хрому в твердому розчині понад 12 %, швидкість корозії знижується (рис. 1.8, б), при цьому стійкість пасивного стану залежить від складу корозійного середовища. Так, сталь 08X13 стійка в розчинах азотної кислоти, але кородує в сірчистій і сірчаній кислотах.

Зсув електродного потенціалу сплаву в позитивний бік відбувається і при добавках міді, платини, паладію, введення яких називається катодним легуванням, що також може полегшити пасивування сталей і сплавів. Це дає змогу значно підвищити корозійну стійкість корозійностійких сталей у багатьох агресивних середовищах (рис. 1.9).

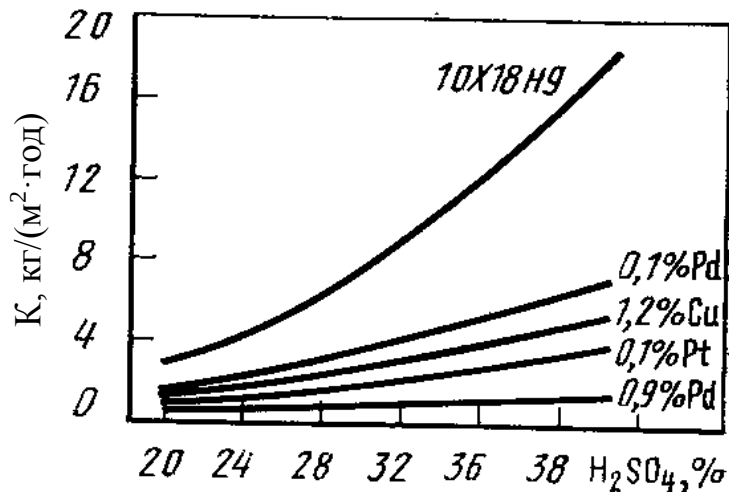


Рисунок 1.9 – Вплив катодних присадок на швидкість корозії K сталі 10X18H9 в сірчаній кислоті різних концентрацій при випробуванні впродовж 300 год [4]

Основний легувальний елемент корозійностійких сталей – хром. У складі застосовуваних нині сталей вміст хрому зазвичай перебуває в межах від 11 до 30%. Нікель у сплавах із залізом підвищує корозійну стійкість у слабоокисних або неокисних розчинах хімічних речовин, а також, як відомо, стабілізує аустенітну структуру і дає змогу створити аустенітні хромонікелеві сталі з високою корозійною стійкістю. Використання нікелю як основи дає змогу отримати сплави з високою корозійною стійкістю в сильних агресивних кислотах

(соляній, сірчаній). При створенні корозійностійких сталей для отримання необхідної структури, властивостей і забезпечення максимальної корозійної стійкості використовують у різних поєднаннях також інші легувальні елементи: феритоутворювачі (Si, Al, Mo, W, Nb, Ti, V) та аустенітоутворювачі (Ni, Mn, Co, Cu). Вуглець, що входить до багатьох корозійностійких, особливо до інструментальних корозійностійких сталей, істотно розширює сферу існування аустеніту (див. рис. 1.4). Так, 0,6 % C забезпечує існування аустеніту до вмісту в сталі 28 % Cr. До елементів, що розширюють область γ -твердих розчинів, належать нікель і марганець, проте дія марганцю істотно відрізняється від дії нікелю.

Марганець може забезпечити аустенітну структуру сталі тільки за вмісту до 15 % Cr, а за більш високого вмісту хрому низьковуглецеві сталі мають двофазну ($\alpha + \gamma$) або трифазну ($\alpha + \gamma + \sigma$) структуру. Тому за необхідності мати в сталях високий вміст хрому для забезпечення необхідної корозійної стійкості потрібно поряд з марганцем вводити інші аустенітоутворювальні елементи або замінювати нікель марганцем лише частково.

Найпоширеніші в техніці та вивчені нині корозійностійкі сталі аустенітного, аустенітно-феритного та аустенітно-мартенситного класів мають у своїй основі різні комбінації систем Fe - Cr - Ni, Fe - Cr - Ni - Mn з додатковим легуванням різними елементами. При одночасному введенні феритоутворювальних і аустенітоутворювальних елементів у сталях можуть спостерігатися різні структурні та фазові співвідношення [4].

Для полегшення визначення фазового складу сталей існують структурні діаграми, з яких найпоширенішою є діаграма А. Шеффлера, побудована спочатку для металу зварних швів (рис. 1.10). За лініями, наведеними на малюнку, підраховуються еквіваленти, які враховують аустенітоутворювальну і феритоутворювальну дію різних елементів. Аустенітоутворювальну дію порівнюють із нікелем, а феритоутворювальну - з хромом. Підрахунок еквівалентів (E_{Ni} і E_{Cr}) дає змогу отримати точку на діаграмі, що потрапляє в ту чи іншу фазову область.

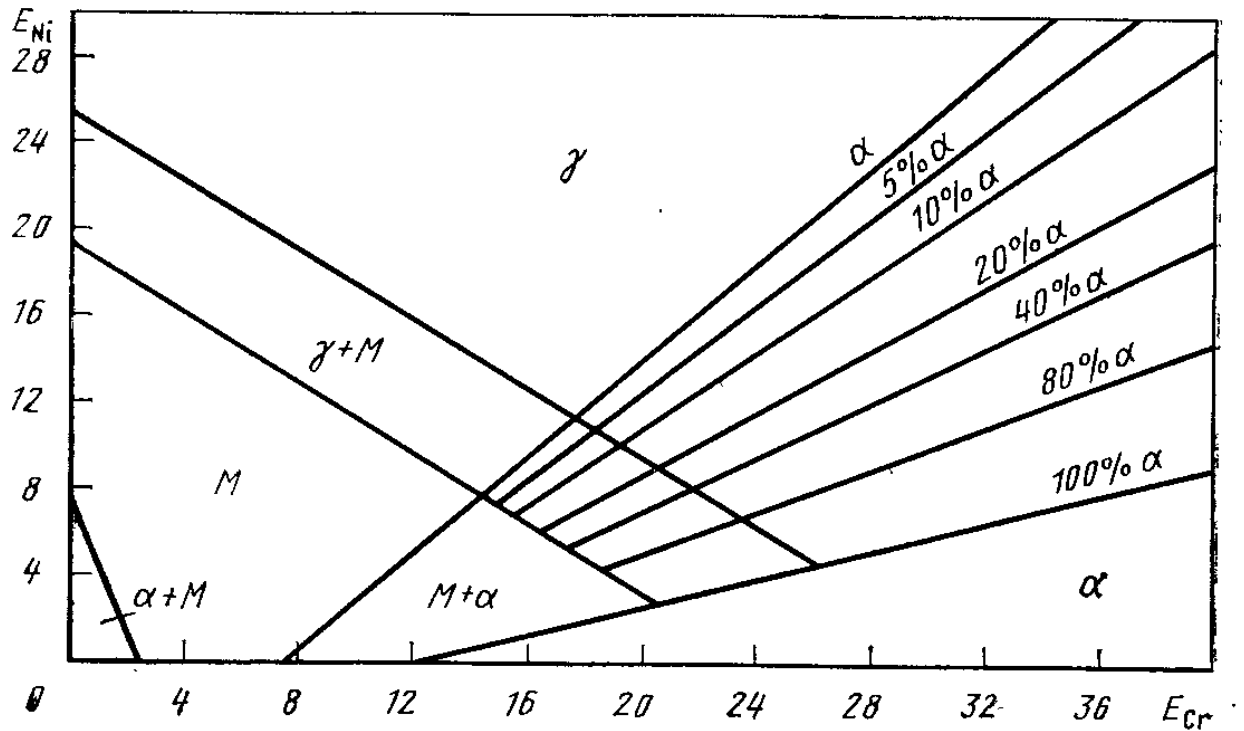


Рисунок 1.10 – Структурна діаграма для корозійностійких, литих хромонікелевих сталей (А. Шефлер) [4]

1.3.1 Вплив легувальних елементів

Різні легувальні елементи мають специфічний вплив на властивості корозійностійкої сталі. Саме комбінований вплив всіх легувальних елементів, термічної обробки і, в деякій мірі, домішок визначає профіль властивостей певної марки сталі. Для того, щоб зрозуміти, чому різні марки мають різний склад, наведемо короткий огляд основних легувальних елементів та їх вплив на мікроструктуру і властивості. Слід зазначити, що вплив легувальних елементів відрізняється в деяких аспектах між різними категоріями корозійностійких сталей [5].

1. Хром (Cr)

Це найважливіший легувальний елемент, який надає корозійностійким сталям основну корозійну стійкість. Всі корозійностійкі сталі мають вміст хрому

не менше 10,5%, і корозійна стійкість зростає зі збільшенням вмісту хрому. Хром також підвищує стійкість до окислення при високих температурах і сприяє формуванню феритної мікроструктури.

2. Нікель (Ni)

Основною причиною додавання нікелю є сприяння створенню аустенітної мікроструктури. Нікель, як правило, підвищує пластичність і в'язкість. Він також знижує швидкість корозії в активному стані і, таким чином, має переваги в кислотних середовищах. У сталях, що піддаються старінню, нікель також використовується для утворення інтерметалідних сполук, які використовуються для підвищення міцності. У мартенситних марках додавання нікелю в поєднанні зі зниженим вмістом вуглецю покращує зварюваність.

3. Молібден (Mo)

Молібден значно підвищує стійкість як до рівномірної, так і до локальної корозії. Він дещо підвищує механічну міцність і сильно сприяє формуванню феритної мікроструктури. Однак молібден також підвищує ризик утворення вторинних фаз у феритних, дуплексних та аустенітних сталях. У мартенситних сталях він підвищує твердість при більш високих температурах відпуску через вплив на утворення карбідів.

4. Мідь (Cu)

Мідь підвищує корозійну стійкість в певних кислотах і сприяє утворенню аустенітної мікроструктури. Вона також може бути додана для зменшення твердості в марках для поліпшення оброблюваності. Вона також може бути додана для поліпшення формувальних властивостей.

5. Марганець (Mn)

Марганець зазвичай використовується в нержавіючих сталях для поліпшення гарячої пластичності. Його вплив на баланс ферит/аустеніт залежить від температури: при низьких температурах марганець є стабілізатором аустеніту, але при високих температурах він стабілізує ферит. Марганець підвищує розчинність азоту і використовується для отримання високого вмісту азоту в дуплексних і аустенітних нержавіючих сталях. Марганець, як утворювач аустеніту, також може замінити частину нікелю в корозійностійкій сталі.

6. Кремній (Si)

Кремній підвищує стійкість до окислення, як при високих температурах, так і в сильно сильно активних окисних розчинах при більш низьких температурах. Він сприяє формуванню феритної мікроструктури і підвищує міцність.

7. Вуглець (C)

Вуглець є сильним стабілізатором аустеніту, який також значно підвищує механічну міцність. Однак він також знижує стійкість до міжкристалічної корозії, спричиненої утворенням карбідів, що було проблемою для ранніх нержавіючих сталей. Сучасні марки не страждають від міжкристалічної корозії через низький вміст вуглецю. У феритних нержавіючих сталях вуглець сильно знижує як в'язкість, так і корозійну стійкість. У мартенситних сталях вуглець підвищує твердість і міцність, але знижує в'язкість.

8. Азот (N)

Азот є дуже сильним стабілізатором аустеніту, який також значно підвищує механічну міцність. Азот підвищує стійкість до локальної корозії, особливо в поєднанні з молібденом.

У феритних нержавіючих сталях азот сильно знижує в'язкість і корозійну стійкість. У мартенситних сталях азот підвищує твердість і міцність, але знижує в'язкість.

9. Титан (Ti)

Титан є сильним феритоутворювачем і сильним карбідоутворювачем, таким чином знижуючи ефективний вміст вуглецю і сприяючи утворенню феритної структури двома способами. В аустенітних сталях з підвищеним вмістом вуглецю він додається для підвищення стійкості до міжкристалічної корозії (стабілізовані марки), а також підвищує механічні властивості при високих температурах. У феритних нержавіючих сталях титан додають для підвищення в'язкості, формостійкості та корозійної стійкості. У мартенситних сталях титан знижує твердість мартенситу, поєднуючись з вуглецем, і підвищує стійкість до відпуску. У сталях, що піддають старінню, титан використовується

для утворення інтерметалідних сполук, які використовуються для підвищення міцності.

10. Ніобій (Nb)

Ніобій є сильним феритом і карбідоутворювачем. Як і титан, він сприяє утворенню феритної структури. В аустенітних сталях його додають для підвищення стійкості до міжкристалічної корозії (стабілізовані марки), але він також покращує механічні властивості при високих температурах. У феритні нержавіючі сталі ніобій та/або титан іноді додають для підвищення в'язкості і для мінімізації ризику міжкристалічної корозії. У мартенситних сталях ніобій знижує твердість і підвищує стійкість до відпуску.

11. Алюміній (Al)

Алюміній покращує стійкість до окислення, якщо додається в значних кількостях. З цією метою він використовується в деяких жароміцних марках сталі. У сталях, що піддають старінню, алюміній використовується для утворення інтерметалідних сполук, які підвищують міцність у зістареному стані.

12. Кобальт (Co)

Кобальт використовується як легувальний елемент у мартенситних сталях, де він підвищує твердість і стійкість до відпуску, особливо при високих температурах.

13. Ванадій (V)

Ванадій утворює карбіди і нітриди при більш низьких температурах, сприяє утворенню фериту в мікроструктурі і підвищує в'язкість. Він підвищує твердість мартенситних сталей завдяки своєму впливу на тип присутнього карбіду. Також підвищує стійкість до відпуску. Застосовується тільки в нержавіючих сталях, що піддаються гартуванню.

14. Вольфрам (W)

Вольфрам присутній як домішка в більшості нержавіючих сталей, хоча деякі спеціальні марки мають добавки для підвищення стійкості до точкової корозії, наприклад, супердуплексна марка 4501.

15. Сірка (S)

Сірка додається до певних марок нержавіючої сталі, що не піддаються механічній обробці, для того, щоб підвищити оброблюваність. При додаванні сірки в цих марках вона дещо знижує корозійну стійкість, пластичність, зварюваність і оброблюваність тиском. Більш низькі рівні сірки можуть бути додані для зменшення загартовування в марках для поліпшення оброблюваності тиском. Дещо підвищений вміст сірки також покращує зварюваність сталі.

16. Церій (Ce)

Церій є одним з рідкоземельних металів (РЗМ) і додається в невеликих кількостях до деяких жароміцних марок для підвищення стійкості до окислення при високій температурі [5].

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Дослідження мікроструктури

2.1.1 Приготування зразків для досліджень

Підготовка металографічних шліфів зазвичай включає наступні етапи: вирізання зразка і підготовку його поверхні, проведення шліфування, полірування та травлення.

Шліфування розпочинається застосуванням абразивної обробки. Цей процес полягає в видаленні нерівностей поверхні за допомогою абразивних частинок; виконання обробки передбачає кілька етапів, поступово зменшуючи зернистість абразивних частинок.

Початкове шліфування проводиться за допомогою паперу з більшим абразивним зерном (№ 60), після чого переходять до шліфування папером з меншим зерном і завершують на папері № 220 ... 280. Зразок шліфують, натискаючи його на шліфувальний диск. При кожному переході на більш тонкий папір зразок очищають від наждачного пилу, повертаючи його на 90 градусів, і шліфують до повного видалення слідів попередньої обробки.

Після тонкої шліфовки зразок промивають струменем води для видалення залишків абразиву і виконують полірування. Механічне полірування виконують на спеціальному полірувальному верстаті, диск якого обтягнутий фетром або сукном. Диск змочують полірувальною рідиною, складеною з води та частинок полірувального порошку (оксид алюмінію або оксид хрому), які перебувають у підвішеному стані. Зразок не повинен сильно натискатися на диск. Полірування триває 8 ... 10 хвилин, іноді трошки більше, в залежності від стану поверхні перед поліруванням, властивостей сплаву і поліруючої рідини.

Процес полірування завершується, коли мікрошліф набуває дзеркального вигляду. Потім шліф промивають водою, витирають фільтрувальним папером і ретельно досліджують під мікроскопом збільшенням від 100 до 150 разів. На полірованому шліфі чудово видно неметалеві включення, мікропори, тріщини та

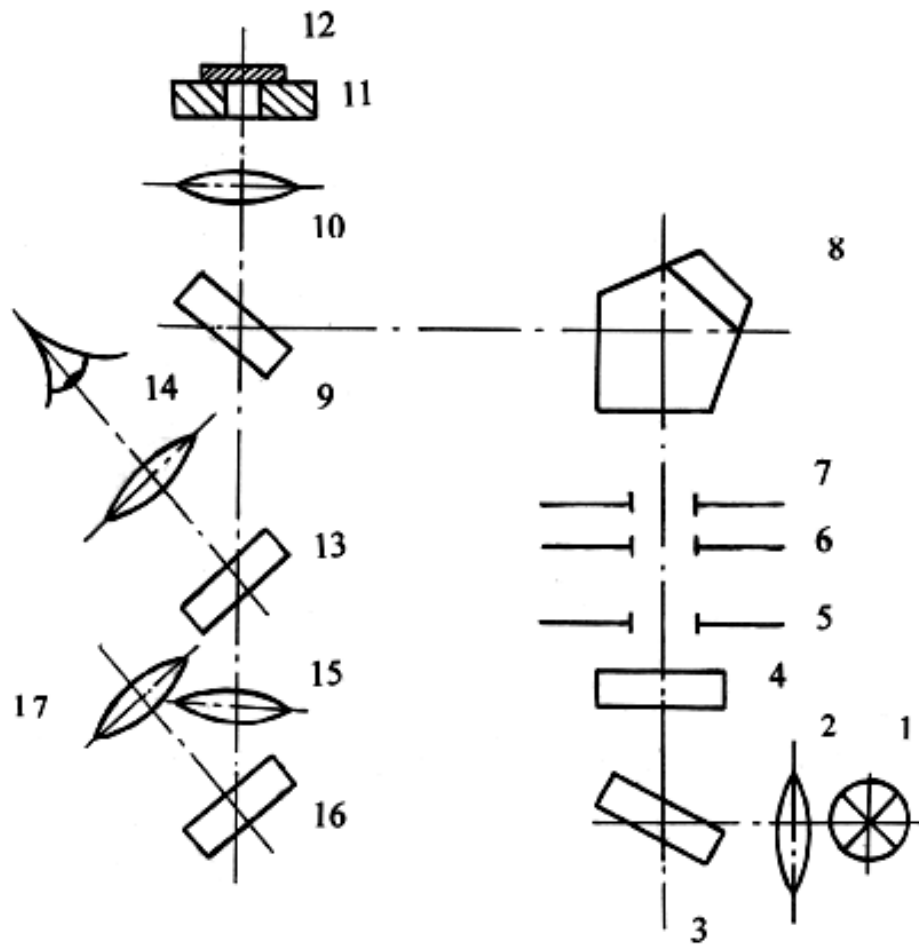
фази, твердість яких значно відрізняється від твердості основного структурного компонента [7].

2.1.2 Дослідження мікроструктури на оптичному мікроскопі

Металографічний мікроскоп МІМ-7 використовує оптичну мікроскопію, що базується на використанні білого світла, оптичних лінз, призм, і забезпечує збільшення до 1440 і 1350 разів при візуальному спостереженні та до 2000 разів при фотографуванні. Мікроскоп є вертикальним оптичним і складається з оптичної системи з фотографічною апаратурою, освітлювального обладнання і механічної системи.

Оптична система включає об'єктив, окуляр, дзеркала і призми. Об'єктив і окуляр складаються зі складної системи лінз, розміщених в одній оправі. Об'єктив, спрямований на об'єкт дослідження, формує зворотне, збільшене дійсне зображення. Окуляр, спрямований на око спостерігача, створює віртуальне, збільшене зображення, отримане об'єктивом, не покращуючи роздільну здатність мікроскопа. Його вибирають так, щоб деталі структури, збільшені об'єктивом, були чіткими.

На схемі металографічного мікроскопа МІМ-7 (рис. 2.1) видно, що від джерела світла промені проходять через колектор, відбивне дзеркало, світлофільтри, апертурну діафрагму, фотозатвор, польову діафрагму і поворотну призму, потім направляються на плоскопаралельну пластину. Частина світлового потоку проходить через неї, а частина відбивається нагору від пластини через об'єктив і потрапляє на шліф. Відбиті промені знову проходять через об'єктив, плоскопаралельну пластину і, відбившись від дзеркала, потрапляють через окуляр в око спостерігача або через фотоокуляр у фотокамеру.



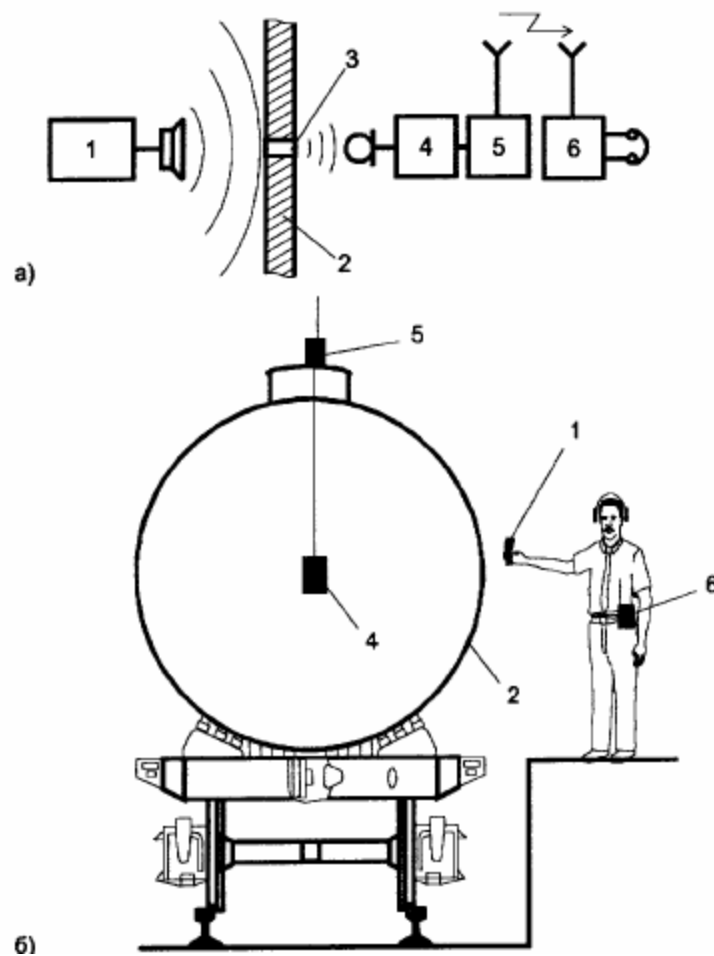
1 – лампа; 2 – колектор; 3 – дзеркало; 4 – світлофільтр; 5 – апертурна діафрагма; 6 – лінза; 7 – фотозатвор; 8 – польова діафрагма; 9 – пентапризма; 10 – лінза; 11 – відбивна пластина; 12 – об'єктив; 13 – предметний столик; 14 – ахроматична лінза; 15 – окуляр; 16 – дзеркало; 17 – фотопластинка

Рисунок 2.1 – Оптична схема мікроскопа МІМ-7

З травленням полірованої поверхні зразка виявляють мікроструктуру, дозволяючи дослідити полікристалічну будову та структурні складові сплавів. Травлення здійснюється розчином азотної кислоти в спирті, а після цього зразок промивають і просушують.

2.2 Ультразвуковий метод контролю

Безконтактний ультразвуковий метод надає можливість виявлення внутрішніх дефектів котла та цистерни, переважно у металевих матеріалах і зварних швах, а також визначення герметичності випускного пристрою. Схему проведення контролю можна побачити на рисунку 1.



а – функціональна схема дефектоскопа; б – розміщення його блоків при контролі: 1 – акустичний передавач; 2 – стінка котла; 3 – наскрізний отвір (дефект); 4 – акустичний приймач; 5 – радіопередавач; 6 – радіоприймач

Рисунок 2.2 – Функціональна схема дефектоскопа і розміщення його блоків при контролі [9]

За допомогою акустичного передавача, який створює ультразвуковий промінь в тілесному куті приблизно 15 градусів, дефектоскопіст проводить сканування поверхні котла. Процес сканування включає в себе рухи та повороти акустичного передавача в просторі.

Під час сканування, якщо ультразвуковий промінь зіштовхується з наскрізним дефектом, він проникає всередину котла, досягає акустичного приймача і перетворюється в електричний сигнал. Якщо сигнал перевищує встановлений поріг, формується сигнал про дефект - тональні імпульсні посилки. Ці посилки передаються дефектоскопісту за допомогою радіопередавача і радіоприймача.

Процес сканування поверхні котла виконується по лініях сканування, де лінією сканування називається траєкторія руху точки перетину осі випромінювача з контрольованою поверхнею. Під час цього процесу важливо, щоб відстань від центру дзеркала передавача до точки перетину не перевищувала 10 см. Найбільш часто дефекти оболонки спостерігаються в зварних швах і нижній частині котла. Лінії сканування навколо зварних швів зображені на рисунку 2.3.

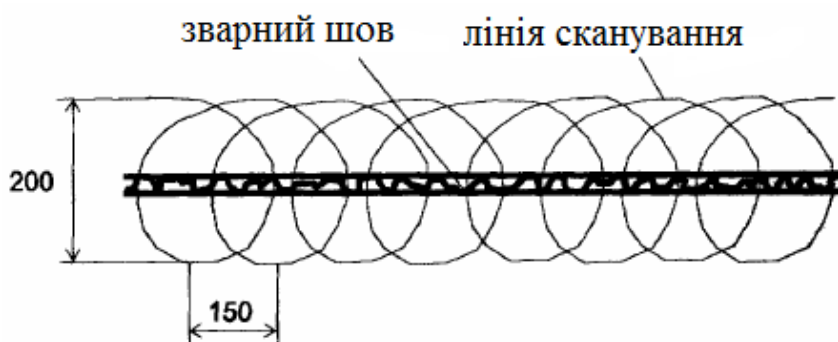


Рисунок 2.3 – Лінії сканування зварних швів і наколошовної зони [9]

3 МОЖЛИВІ ПРИЧИНИ ВИХОДУ ІЗ ЛАДУ ХАРЧОВИХ ЄМНОСТЕЙ, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ ПРИ ПІДВИЩЕНИХ ТЕМПЕРАТУРАХ ТА МЕТОДИ ЇХ УСУНЕННЯ

3.1 Міжкристалітна корозія

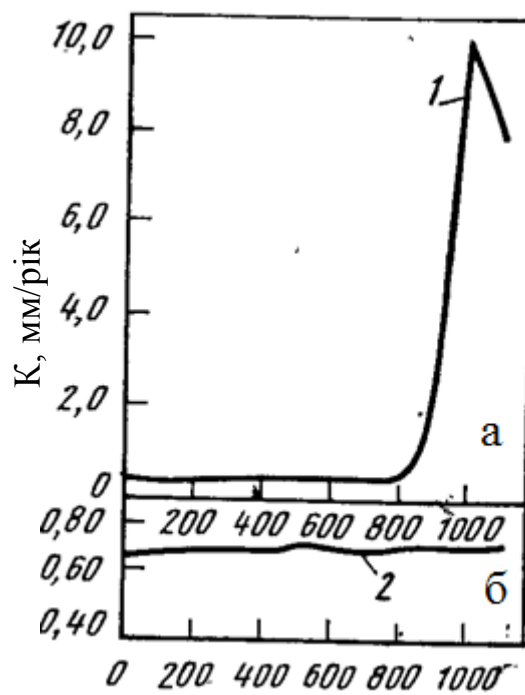
Міжкристалітна корозія (МКК) – один із найнебезпечніших і найпоширеніших видів місцевої корозії. МКК проявляється переважно в руйнуванні сталей і сплавів по межах зерен, що призводить до різкого зниження міцності та пластичності й може спричинити передчасне руйнування конструкції. Корозія цього виду спостерігається у хромистих і хромонікелевих сталях, сплавах на основі нікелю, міді, алюмінію тощо. Причиною розвитку МКК є хімічна гетерогенність між приграничними зонами та об'ємом зерен.

У корозійностійких сталях і сплавах на основі нікелю можна виділити три основні типи механізмів міжкристалітної корозії: 1) корозія, пов'язана зі збідненням приграничних ділянок зерен елементами, що зумовлюють стійкість матеріалу в даному середовищі; 2) корозія, пов'язана з низькою хімічною стійкістю фаз, що виділяються на границях зерен; 3) корозія, спричинена сегрегацією на границях зерен поверхнево-активних елементів, що знижують стійкість основи в даному середовищі.

Зазначені механізми розвитку МКК можуть діяти в різних сталях одночасно, але зазвичай вдається виділити механізм, що чинить найсильніший, визначальний вплив на швидкість МКК [4].

У хромистих сталях феритного класу МКК проявляється після нагрівання вище 1000 °C і швидкого охолодження, наприклад, такі умови можуть бути під час зварювання. Саме зварювання застосовують для отримання цілісних ємностей харчової промисловості. Схильність таких сталей до МКК усувається відпалом за температур в інтервалі 750-800 °C (рис. 3.1). Найімовірнішим механізмом МКК є перший - збіднення прикордонних ділянок хромом під час виділення багатих на хром карбідів, що відбувається навіть за швидкого охолодження сталей. Навколо карбідів створюються зони, збіднені за хромом, в

яких концентрація хрому знижується до рівня, що не забезпечує корозійну стійкість матеріалу в цьому середовищі.



а – швидке охолодження; б – повільне охолодження в 65% киплячій азотній кислоті

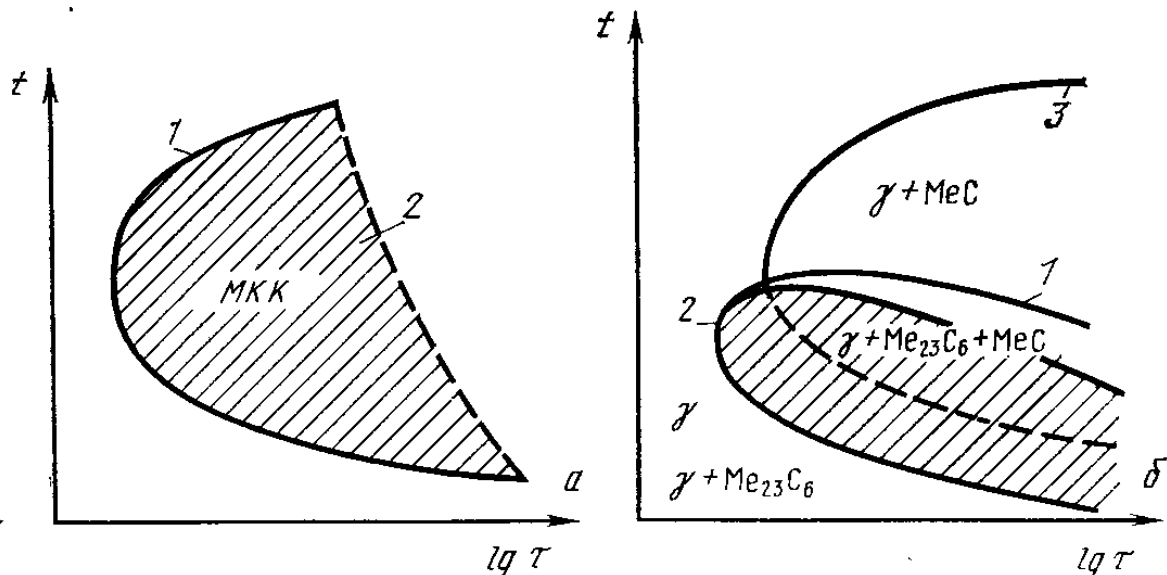
Рисунок 3.1 – Вплив температури нагрівання та швидкого охолодження на МКК сталі 10X17 при повторному нагріванні до 790 °C та повільному охолодженні

Позитивний вплив подальшого відпалу пояснюється створенням умов для дифузії та вирівнювання складу за хромом у тілі зерна і в приграничному об'ємі.

Встановлено, що сталі, які мають дуже низький вміст вуглецю й азоту (сумарно нижче 0,01-0,015 %) і підвищений вміст хрому, менш схильні до МКК. Позитивний вплив має стабілізація феритних сталей сильними карбідоутворювальними елементами (титан, ніобій, ванадій, тантал), які, утворюючи спеціальні карбіди та нітриди, зв'язують вуглець та азот, знижують їхній вміст у твердому розчині, перешкоджаючи утворенню хромистих сполук.

В аустенітних корозійностійких сталях схильність до МКК після швидкого охолодження від температур, що забезпечують досить повне розчинення карбідних фаз і перехід вуглецю в γ -твердий розчин, може і не проявлятися, тому що швидке охолодження практично пригнічує виділення карбідів. Повторне нагрівання, створюючи умови для виділення карбідів, що містять хром, сприяє прояву МКК. Ці умови створюються в певному температурно-часовому інтервалі. Термокінетичні параметри процесу карбідоутворення стають, таким чином, найважливішим фактором у формуванні корозійної стійкості [4, 5].

На рис. 3.2, а показано схему розвитку схильності сталей до МКК. Крива 1 показує час, протягом якого сталь ще не схильна до МКК, крива 2 – час, достатній для того, щоб МКК вже не проявлялася. Температурний інтервал, у якому лежить область міжкристалітної корозії, для аустенітних сталей становить 450-850 °С. Крива 1 має характерну для кінетики виділення карбідів С-подібну форму, а час, необхідний для перебігу дифузії хрому до меж зерен і придушення схильності до МКК (крива 2), тим менший, чим нижча температура.



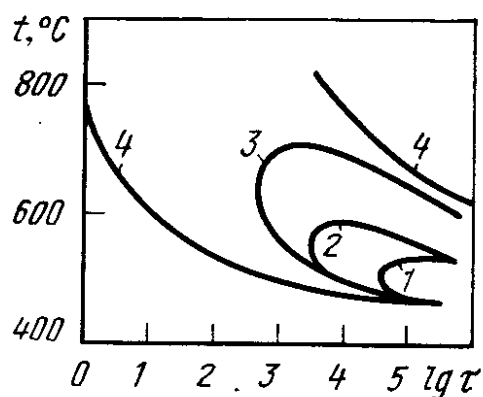
а – схема для нестабілізованих сталей; б – схема для стабілізованих сталей

Рисунок 3.2 – Температурно-часова область схильності аустенітних сталей до МКК [4]

Сталі, леговані сильними карбідоутворювальними елементами (титан, ніобій), називаються стабілізованими. У цьому випадку температурний інтервал виділення карбідів умовно можна розділити на дві області (рис. 3.2, б). Крива 1 обмежує область виділення карбідів, багатих хромом, крива 3 – область виділення карбідів типу MeC. Крива 2 обмежує область схильності до МКК. Суттєво, що в ділянці виділення тільки карбідів MeC схильність до МКК не проявляється.

Збіднення меж зерен хромом може бути наслідком виділення не тільки карбідів, а й нітридів хрому, а також σ -фази. Оскільки корозійну стійкість сталей пов'язують з карбідними реакціями, очевидно, що вміст вуглецю і його термодинамічна активність в аустеніті визначають схильність сталей до МКК. Елементи, що підвищують активність вуглецю (нікель, кобальт, крем, ній), сприяють розвитку МКК. Елементи, що знижують активність вуглецю (марганець, молібден, вольфрам, ванадій, ніобій), перешкоджають розвитку МКК [5].

МКК в аустенітних корозійностійких сталях може проявлятися і за дуже малого вмісту вуглецю (0,003 %), а за збільшення його вмісту схильність сталі до МКК посилюється (рис. 158). Зрозуміло, що наявність вуглецю в сталі типу X18H12 у кількості 0,084 % створює температурно-часовий інтервал абсолютної схильності сталі до МКК (вище 700 °C, крива 4).



C, %: 1 – 0,006; 2 – 0,012; 3 – 0,021; 4 – 0,084

Рисунок 3.3 – Вплив вмісту вуглецю на схильність сталі типу X18H12 до МКК [4]

Встановлено, що на схильність корозійностійких сталей до МКК значний вплив чинить величина зерна: грубозерниста структура є більш схильною до міжкристалітної корозії, що, очевидно, пов'язано з більшим збіднінням приграничних ділянок хромом [6].

Другий із механізмів МКК, що полягає в низькій хімічній стійкості фаз, що виділяються на границях зерен, діє, наприклад, у сталях, коли високий потенціал корозії в цьому середовищі (вище 0,7 В). У сталях типу 18-10 стійкість карбідів хрому може стати нижчою, ніж стійкість аустенітної матриці, що спричиняє їх переважне розчинення і розвиток МКК.

Третій із механізмів МКК не пов'язаний із виділенням фаз і діє як утворення сегрегацій домішок у приграничних зонах. На рис. 3.4 показано вплив фосфору, кремнію і бору на схильність до МКК аустенітної сталі 12Х18Н10Т у загартованому стані. Незважаючи на відсутність карбідних реакцій, сталь схильна до МКК після досягнення певної величини вмісту домішок. Вміст домішок у технічних сплавах відповідає заштрихованій області концентрацій. Надати загартованим сталям схильність до МКК можуть й інші домішки.

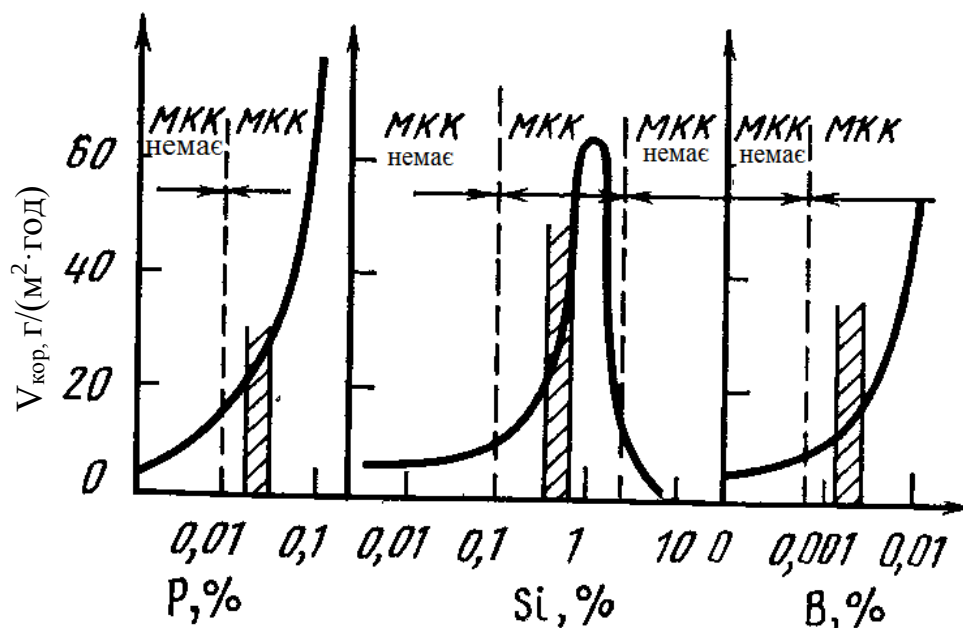


Рисунок 3.4 – Вплив фосфору, кремнію та бору на схильність сталі 12Х18Н10Т до МКК

Сучасні методи виробництва сталі, і особливо використання АКЗ (аргонокисневе зневуглицювання), дозволило знизити вміст вуглецю, і, таким чином, міжкристалічна корозія сьогодні рідко є проблемою. Тим не менш, міжкристалічна корозія може виникнути, якщо нержавіючі сталі піддаються впливу температур в діапазоні 550-850 °С. Карбіди з дуже високим вмістом хрому можуть скупчуватись вздовж границь зерен, що призводить до збіднення хромом і таким чином, стає менш стійким до корозії, як зазначалось раніше. Корозійностійка сталь, яка пройшла термообробку, має меншу корозійну стійкість, оскільки утворює такі сполуки на границях зерен і прилеглих до них зонах, збіднених хромом і називається сенсibilізованою. Сенсibilізація може бути результатом зварювання або гарячого формування при невідповідній температурі.

У корозійному середовищі зони, збіднені хромом, можуть піддаватися корозії, а несприятливе співвідношення площі поверхні анода і катода прискорює руйнування вздовж границь зерен, рис. 3.5.

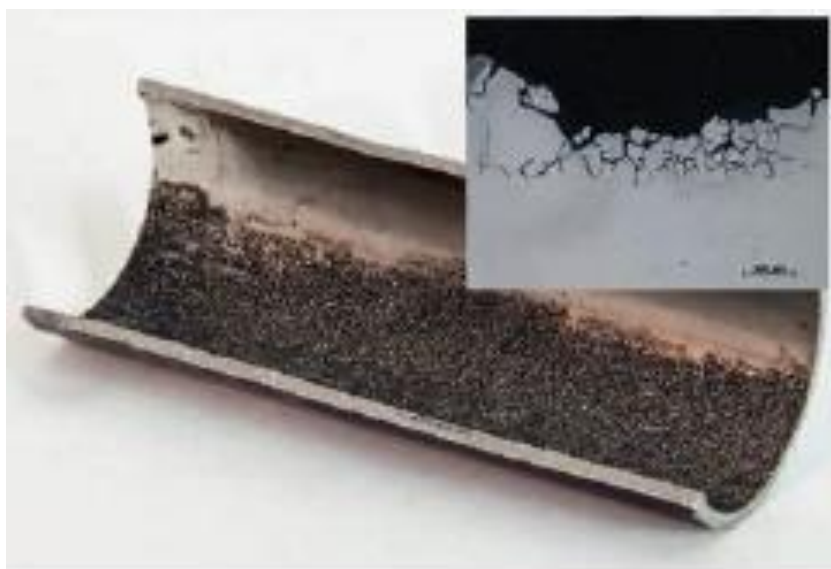


Рисунок 3.5 – Міжкристалічна корозія на трубі з корозійностійкої сталі.

Мікрофотографія показує поперечний переріз ураженої ділянки [3]

Для виникнення міжкристалічної талічної атаки. Однак сенсibilізація може також підвищити чутливість до інших форм корозії, наприклад, пітингової, щілинної корозії та корозії під напруженням, корозійним розтріскуванням.

Заходи боротьби з міжкристалітною корозією аустенітних сталей такі:

1. Зниження в сталях вмісту вуглецю, що унеможлиблює утворення хромистих карбідів;

2. Введення в сталь стабілізуючих добавок (титан, ніобій), що викликає зв'язування вуглецю в спеціальні карбіди TiC , NbC і унеможлиблює збіднення прикордонних ділянок за хромом.

Вміст титану при цьому визначають зі співвідношення $0,7 \leq \%Ti \leq 5 (\% C - 0,02)$, а вміст ніобію – зі співвідношення $\%Nb \geq 8(\% C - 0,02)$;

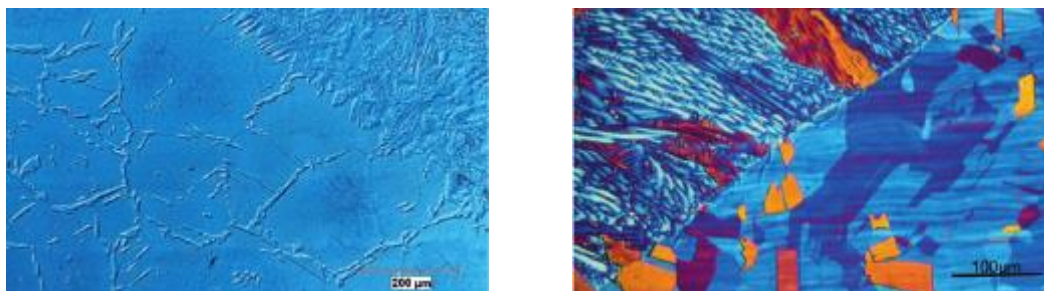
3. Гартування сталей від температур $1050-1110^{\circ}C$, що забезпечує переведення хрому і вуглецю в твердий розчин;

4. Відпал, який для нестабілізованих сталей має на меті вирівнювання складу аустеніту і ліквідацію збіднених хромом ділянок, а для стабілізованих сталей - переведення вуглецю з карбідів хрому в спеціальні карбіди титану або ніобію і звільнення хрому для створення необхідного рівня корозійної стійкості.

3.2 Корозійне розтріскування

Корозійне розтріскування - руйнування під дією напружень, що розтягують, і корозійноактивного середовища - поширений у практиці вид руйнування корозійно-стійких сталей. До такого руйнування схильні трубопроводи, випарні апарати, автоклави та інші деталі хімічного та енергетичного обладнання. Наявність розтягувальних напружень є необхідною умовою корозійного розтріскування. Ці напруження можуть виникати як унаслідок експлуатаційних навантажень, так і в процесі виготовлення конструкції (під час згинання, зварювання, термічної або механічної обробки). При правильно проведеному зварюванні, яке часто використовується як

технологічна операція в процесі створення харчових ємностей буде утворюватись мікроструктура, що наведена на рис. 3.6.



а

б

а – феритна сталь; б – аустенітна сталь

Рисунок 3.6 – Мікроструктура корозійностійких сталей в місці зварювання

Корозійне середовище може сприяти утворенню і розвитку тріщини (рис.3.7) внаслідок анодного розчинення сталі в початку тріщини або внаслідок адсорбції водню та його дифузії в сталь. В останньому випадку корозійне розтріскування пов'язують з явищем водневої крихкості.

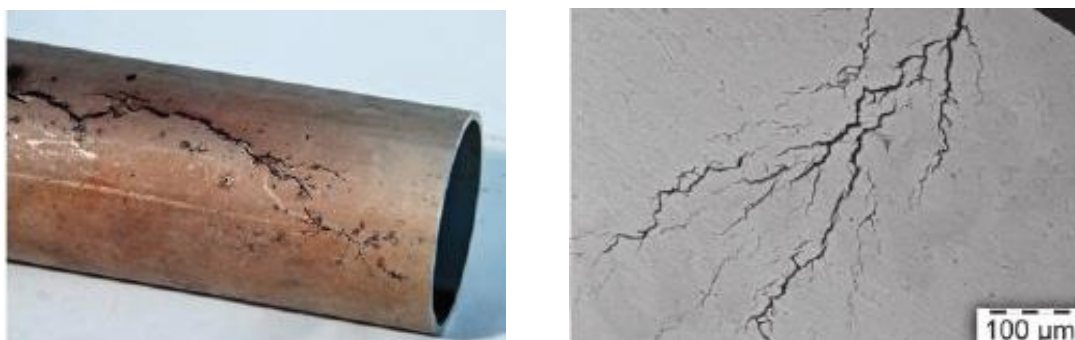


Рисунок 3.7 – Зображення корозійного розтріскування під дією напружень

Середовищами, що викликають корозійне розтріскування, є водні розчини хлористих солей, лугів, розчини деяких азотнокислих солей і органічних сполук, а також парове середовище енергетичних установок.

Зв'язок між руйнівним напруженням і часом до руйнування при корозійному розтріскуванні можна представити у вигляді кривої, наведеної на рис. 3.8. Видно, що існує напруження $\sigma_{кр}$ - границя тривалої корозійної стійкості, нижче якої корозійного розтріскування не спостерігається.

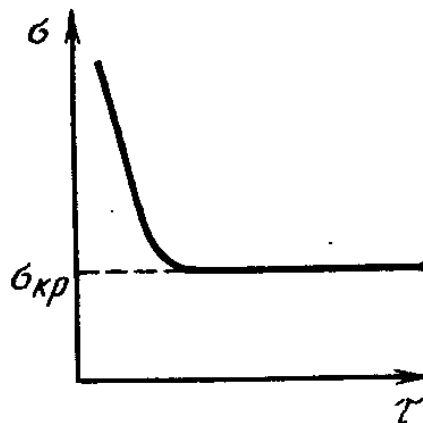


Рисунок 3.8 – Зв'язок між напруженням та часом до руйнування при корозійному розтріскуванні

Наведені дані показують, що найвище значення $\sigma_{кр}$ спостерігається у сталей феритного класу, а також у деяких аустеніто-феритних сталей, які, отже, доцільно використовувати в умовах можливого корозійного розтріскування.

Аустенітні сталі погано чинять опір корозійному розтріскуванню. У разі необхідності застосування аустенітних сталей позитивний вплив на стійкість чинить нікель: що більший його вміст (у діапазоні 10-40% Ni), то вищий $\sigma_{кр}$. При вмісті 40% Ni сталь несприйнятлива до корозійного розтріскування. Низький опір корозійному розтріскуванню мають мартенситні та аустеніто-мартенситні корозійностійкі сталі 20X13, 30X13, 40X13, 20X17H2, 09X17H7Ю, 09X15H9Ю та ін.

Для запобігання корозійному розтріскуванню застосовують зменшення або зняття розтягувальних напружень (наприклад, відпалом після механічного

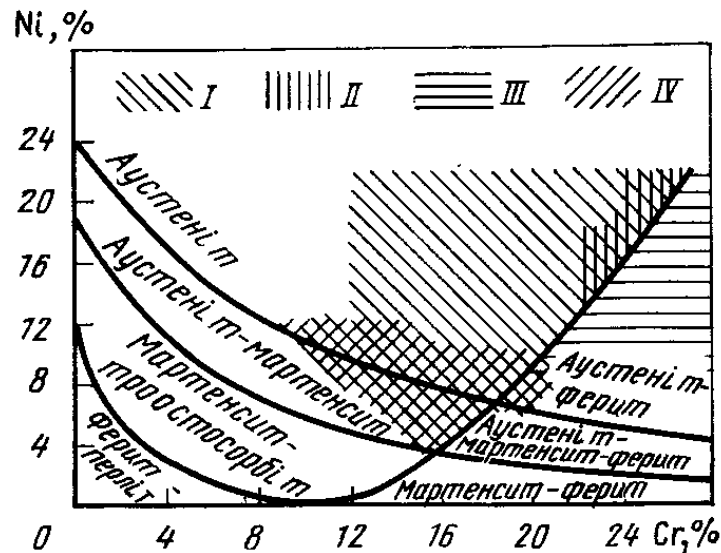
оброблення або зварювання), створення на поверхні напружень стиснення, введення інгібіторів у середовище, які знижують його корозійну активність, та інші методи.

Зазначимо наостанок, що руйнування під час корозійного розтріскування може мати як міжкристалітний, так і внутрішньокристалітний характер, що визначається властивостями сталі та корозійного середовища.

3.3 Крихкість корозійностійких сталей

Корозійностійкі сталі досить часто виявляють схильність до крихкого руйнування. Появу крихкості пов'язують із фазовими перетвореннями: виділенням карбідів, утворенням мартенситу, виділенням σ -фази, упорядкуванням тощо. На рис. 3.9 наведено структурну діаграму для хромонікелевих корозійностійких сталей, на якій області складів із можливим проявом крихкості після тривалої витримки в інтервалі температур 700-800 °C заштриховано.

Аустенітні корозійностійкі сталі схильні до крихкості, пов'язаної в основному з утворенням карбідів і σ -фази. Зазначимо також, що пластичні характеристики аустенітних сталей знижуються при надмірному зростанні аустенітного зерна. Крім того, у сталях аустенітного класу може бути присутня помітна кількість δ -фериту та утворюватися мартенситні фази, що також значною мірою впливає на опір крихкості. У двофазних аустенітно-феритних сталях співвідношення фазових складових фериту й аустеніту змінюється в широких межах, тому проблеми крихкості для цих сталей також вельми актуальні.



I – внаслідок виділення карбідів; II – внаслідок виділення σ -фази із аустеніту; III – внаслідок виділення σ -фази із фериту; IV – внаслідок утворення мартенситу

Рисунок 3.9 – Поява крихкості у хромонікелевих сталях

Найбільш схильні до різних видів крихкості хромисті сталі феритного класу. Розрізняють такі види крихкості цих сталей: крихкість, яка проявляється під час випробувань на ударну в'язкість (ці сталі особливо чутливі до надрізу); крихкість після низького відпуску ("крихкість 475°C"), що проявляється після тривалого відпуску або сповільненого охолодження в інтервалі 450-500°C; крихкість після тривалих витримок при температурах 600-800°C.

Холодноламкість хромистих сталей проявляється в зниженні ударної в'язкості під час випробування зразків із надрізом (рис. 3.10). У сталей промислових плавов перехід у крихий стан відбувається за температур, близьких до кімнатної, зі збільшенням вмісту хрому перехід у крихий стан зміщується в бік більш високих температур.

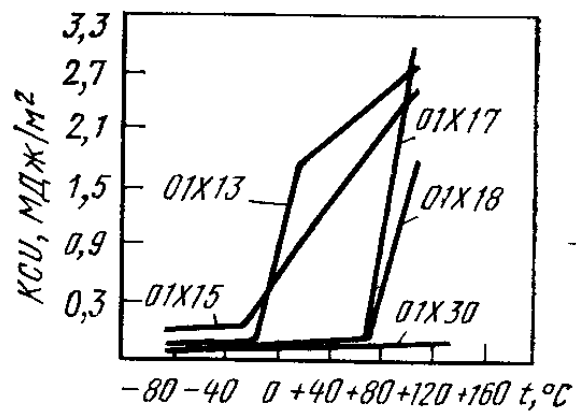
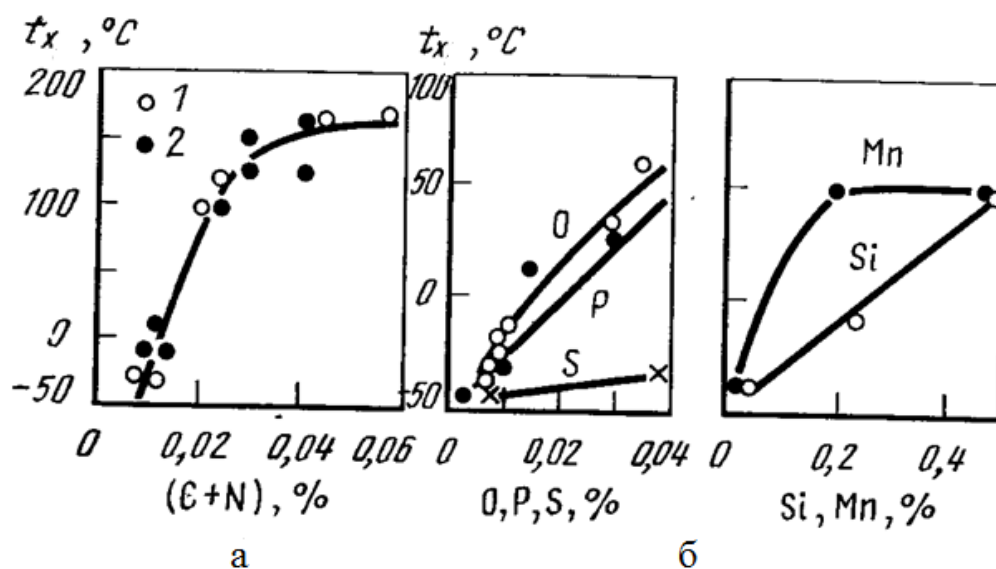


Рисунок 3.10 – Зміна ударної в'язкості (за Шарпі) хромистих сталей за різних температур випробування

Холодноламкість цих сталей посилюється їхньою схильністю до надмірного зростання зерна під час нагрівання вище за температур 850-900 °C, причому грубозернистість не усувається подальшою термічною обробкою, оскільки в сталях відсутні фазові перетворення.

Сильний вплив на холодноламкість феритних сталей чинять елементи втілення — вуглець і азот, а також такі домішки, як кисень, сірка і фосфор, марганець і кремній (рис. 164).



а – сталь типу X17; б – сталь типу X25H3

Рисунок 3.11 – Вплив різних елементів на температуру переходу в крихкий стан (T_K)

Під час високотемпературного нагрівання відбувається розчинення карбідних фаз у фериті й одночасно дуже швидко зростає зерно. Після швидкого охолодження ферит пересичений вуглецем, який нерівномірно розподілений у гратці, що призводить до виникнення значних напружень і є причиною крихкості. Висловлюється також гіпотеза, що вуглець, азот та інші елементи під час нагрівання можуть накопичуватися в приграничних зонах, що супроводжується утворенням аустеніту та мартенситним перетворенням під час охолодження.

Відпал сталей за 730-780 °C не усуває грубозернистості, але зменшує крихкість завдяки утворенню і коагуляції хромистих карбідів і карбонітридів. Введення сильних карбідоутворювальних елементів (титану, ніобію) сприяє утворенню спеціальних карбідів і перешкоджає зростанню зерна та розвитку холодноламкості феритних сталей. Позитивно впливає також застосування сучасних методів виплавки (вакуумна, ЕШП та ін.), які дають змогу різко знизити вміст шкідливих домішок.

«Крихкість 475 °C» проявляється в різкому зниженні пластичності та в'язкості за одночасного підвищення твердості та міцності (рис. 3.12). Розвиток крихкості при 475 °C пов'язують із процесами впорядкування (надструктура типу Fe_3Cr) і розшарування α -твердого розчину. Розшарування твердого розчину протікає шляхом утворення когерентних частинок високохромистої α' -фази механізмом спінодального розпаду. Ця фаза виділяється у вигляді дисперсних сферичних зон, які потім перетворюються на диски з габітусом, паралельним (100) фериту.

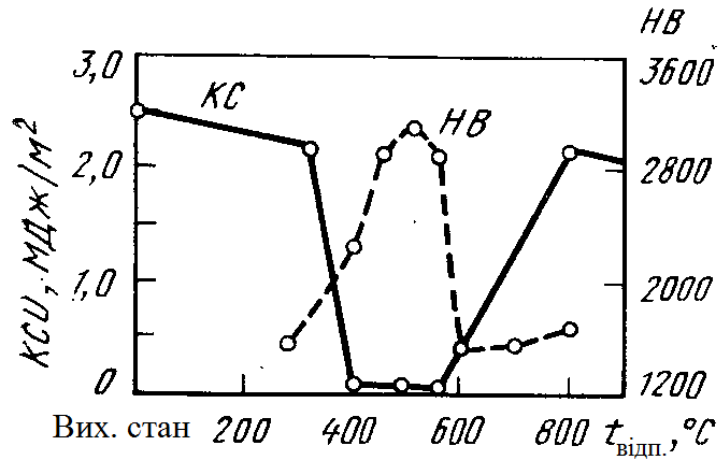


Рисунок 3.12 – Зміна ударної в'язкості KCU і твердості HB, МПа, сталі X25T залежно від температури відпуску [4]

Високотемпературна крихкість виникає як наслідок утворення σ -фази, що супроводжується зменшенням магнітної проникності, зміною об'єму, ударної в'язкості та інтенсивним підвищенням твердості, σ -фаза – крихка і має високу твердість, за її (виділення) відбувається збіднення фериту хромом, що знижує корозійну стійкість сталі. Легування сталей кремнієм, марганцем, молібденом, титаном розширює області існування σ -фаз як за концентрацією хрому, так і за температурою утворення. Збільшення вмісту нікелю в сталях зсуває утворення σ -фази до більш високого вмісту хрому. Так, у сталі з 8 % Ni σ -фаза утворюється за 18 % Cr, а за 20 % Ni необхідно мати 21 % Cr.

Збільшення вмісту хрому в сталях сприяє утворенню σ -фази і одночасно зміщує область її існування до більш високих температур.

Попередня холодна пластична деформація сприяє виділенню σ -фази. Швидкість утворення σ -фази з фериту значно більша, ніж з аустеніту, тому феритні та аустеніто-феритні сталі більш схильні до крихкості, пов'язаної із сигматизацією.

Утворення σ -фази в суто аустенітних сталях пояснюють виділенням з аустеніту карбідних фаз типу $Me_{23}C_6$, що можуть перетворюватися на σ -фазу, або можливістю безпосереднього утворення цієї фази з аустеніту.

Під час дослідження феритних залізохромистих сталей було показано, що процес утворення α -фази протікає дуже повільно (десятки й сотні годин), проте

в складнолегованих і, зокрема, у двофазних аустеніто-феритних сталях швидкість утворення σ -фази та пов'язаного з нею окрихчування може бути дуже великою [4].

3.4 Типові дефекти поверхні харчових ємностей при підвищених температурах

Термічний відтінок і оксидний наліт. Високотемпературне окислення, спричинене такими процесами, як відпал або зварювання, призводить до утворення більш товстого оксидного шару з гіршими захисними властивостями порівняно з властивостями початкового пасивного шару, рис. 3.13. Тому необхідно видалити цей шар і будь-який шар, що лежить під ним, збіднений хромом, щоб повністю відновити корозійну стійкість нержавіючої сталі.



Рисунок 3.13 – Зварний шов із залишками зварювального оксиду [3]

Дефекти зварного шва. Неповне проплавлення, подрізи, відсутність сплавлення (рис. 3.14), пори, шлакові включення, зварювальні бризки і прожоги – типові приклади дефектів зварного шва. Ці дефекти негативно впливають на механічні властивості та стійкість до місцевої корозії, а також ускладнюють підтримання чистоти поверхні. Тому ці дефекти необхідно

видаляти, як правило, шліфуванням, хоча іноді ремонтне зварювання також необхідне.



Рисунок 3.14 – Відсутність сплавлення у зварних швах, що може спричинити корозійну атаку [3]

Забруднення залізом. Забруднення залізом можливе щоразу, коли нержавіюча сталь контактує з вуглецевою сталлю. Це поширена проблема, оскільки майже у всіх виробничих цехах використовують інструменти та конструкції з вуглецевої сталі, які можуть переносити залізо в корозійностійку сталь, рис. 3.15. Забруднення залізом призводить до корозії та утворення плям іржі на поверхні нержавіючої сталі у вологому середовищі. Оксиди заліза також можуть ініціювати корозію корозійностійкої сталі в граничних зонах.



Рисунок 3.15 – Забруднення, спричинене забрудненням залізом від щітки з м'якої сталі [3]

Шорстка поверхня. Нерівні зварні шви, а також надмірне шліфування або піскоструминна обробка призводять до утворення шорстких поверхонь. На шорсткій поверхні легше збираються відкладення, тим самим збільшуючи ризик корозії та забруднення виробу. Сильне шліфування також може призвести до розтягуючих напружень, що збільшує ризик корозійного розтріскування під напруженням та пітингової корозії. Існує максимально допустима шорсткість поверхні (R_a значення) для багатьох застосувань, і методи виробництва, які призводять до утворення шорстких поверхонь, що слід уникати.

Органічні забруднення. Органічні забруднення у вигляді жиру, масла, фарби, слідів взуття, залишки клею та бруду можуть спричинити щілинну корозію в агресивних середовищах, роблять травлення неефективним і забруднюють продукти, що обробляються в обладнанні. Органічні забруднення слід видаляти за допомогою відповідного засобу для попереднього очищення / знежирення, що не містить хлору / хлоридів. У менш серйозних випадках можна використовувати струмінь води під високим тиском.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У цьому розділі розглянуто можливі небезпеки, які можуть виникнути при дослідження і виробництві високотемпературних ємностей, виконаних із корозійностійких сталей аустенітного та феритного класів, що використовуються у харчовій промисловості.

4.1 Аналіз потенційних небезпек

Небезпеки які пов'язані з порушеннями роботодавцями вимог

НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників», а саме [10]:

а) небезпеки які пов'язані, з порушенням вимог ергономіки стосовно, організації робочих місць дослідників в приміщенні дослідницької лабораторії, зокрема невідповідності розмірів робочих зон, а також максимально можливої кількості осіб, що можуть там перебувати, нераціонального розташування дослідницького приладдя та офісного обладнання;

б) можливість ураження електричним струмом, при виконанні службових обов'язків внаслідок порушення правил з електробезпеки, несправності енергоспоживаючого обладнання, відсутності групових або індивідуальних засобів захисту, що може призвести до електричних травм або летального наслідку;

в) небезпеки які пов'язані із обробкою результатів досліджень із використанням ПК, зокрема ушкодження кістково-м'язового апарату внаслідок довготривалої роботи в одотипній позі, що може призвести до зниження працездатності та розвитку професійних захворювань;

г) можливість отримання механічних травм при підготовці зразків або дослідницьких виробів до термічної обробки що може бути пов'язано з порушеннями правил охорони праці під час роботи з абразивним інструментом зокрема: використання абразивного інструменту який не пройшов випробування, порушення правил експлуатації, що може призвести до тяжких травм;

д) небезпеки які пов'язані з дослідженням структури металу методом електронної металографії з використанням електронних мікроскопів зокрема: негативний вплив потужного електронного випромінювання на клітинному рівні, що може призвести до зниження імунітету та розвитку імунних захворювань;

е) незадовільні параметри мікроклімату які повинні відповідати фізіологічним потребам організму працюючих, із врахуванням енергетичних витрат на виконувану роботу внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітрообміну, що може призвести до загальних захворювань;

є) невідповідність вимогам освітлення робочих зон дослідницької лабораторії внаслідок виходу з ладу освітлювальних приладів або хибного розрахунку їх кількості та потужності, що може призвести до погіршення зору;

ж) можливість загоряння внаслідок порушень правил пожежної безпеки, а саме хибне визначення видів та кількості первинних засобів пожежогасіння відносно категорій приміщень с пожежної безпеки, що може привести до пожежі;

з) невиконання інженерно-технічні заходи цивільної оборони, що забезпечують тривалу роботу цеху у військовий час [11].

4.2 Заходи забезпечення безпеки

а) конструкція робочого місця дослідника має відповідати сучасним вимогам ергономіки і забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні пристроїв і документів, які необхідні для виконання досліджень. Висота робочої

поверхні робочого столу ВДТ має регулюватися в межах 680...800мм, а ширина і глибина –забезпечувати можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля (рекомендовані розміри: 600...1400 мм, глибина – 800...1000мм).Робочий стіл повинен мати простір для ніг заввишки не менше ніж 600 мм, завширшки не менше ніж 500 мм, завглибшки (на рівні колін) не менше ніж 450 мм, на рівні простягнутої ноги - ніж 650 мм.

б) до основних заходів захисту людини від ураження електричним струмом, відносять:

- забезпечення неможливості випадкового дотику до струмоведучих частин, що перебувають під напругою;
- електричний розподіл мережі;
- усунення небезпеки ураження з появою напруги на корпусах, кожухах та інших частинах електроустаткування, що досягається захисним заземленням, зануленням і захисним відключенням;
- використання малих напруг;
- захист від випадкового дотику до струмоведучих частин кожухами, огороженням або подвійною ізоляцією;
- захист від небезпек можливих при переході напруги з вищої сторони на нижчу;
- контроль і профілактика пошкоджень ізоляції;
- компенсація ємнісної складової струму замикання на землю;
- застосування спеціальних електрозахисних засобів, блокувань, сигналізації та запобіжних пристроїв;
- організація безпечної експлуатації електроустановок.

Використання захисного заземлення:

- робоче заземлення – це заземлення струмоведучих частин електроустановки, яке виконане для забезпечення роботи електроустановки (не з метою електробезпечності), наприклад, робоче заземлення нейтралі трансформатора;
- заземлення блискавкозахисту – це заземлення блискавкоприймача, з метою захисту об'єкта від прямого удару блискавки;

— захисне заземлення — це заземлення, яке виконане з метою електробезпеки, тобто з'єднання відкритих провідних частин (ВПЧ) із заземлювачем для захисту від непрямого дотику та від наведеного напруги.

в) об'єкти відмінності мають як негативний (темні об'єкти на світлому фоні) так і позитивний (світлі об'єкти на темному фоні) контраст. Тому відбувається постійна переадаптація від яскравих об'єктів з позитивним контрастом на темні з негативним контрастом. За восьмигодинний робочий день за монітором користувач кидає приблизно 30000 поглядів на екран, око працює з перевантаженням і не може достатньо адаптуватися до цієї ситуації. Такі особливості призводять до напруження м'язового та світло-сприймаючого апарату очей, що є однією з причин виникнення астенопічних явищ (різь в очах, біль в очах, ломить у надбрівній ділянці, розпливчастість контурів, нечіткість зображення). Постійний погляд на матове скло екрана монітора зменшує частоту кліпання очей, що призводить до висихання та викривлення роговиці ока, погіршує зір (синдром Сікка). Робота користувача за пульсуючим екраном монітора, що не відповідає нормативним вимогам щодо обмеження пульсації (блмання), викликає дискомфорт і втому (загальну і зорову). Робота з дзеркальною відбиваючою і неплоскою зовнішньою поверхнею екрана монітора, на якій з'являються численні відбиті відблиски, призводить до виникнення у користувача астенопічних явищ та функціональних змін ока. Неправильний розподіл яскравості в полі зору, тобто поверхні периферії (стеля, стіни, меблі і т.п.) висвітлені краще ніж центр поля зору, призводить до порушення основних зорових функцій ока. Засліплююча дія світильників у приміщенні, на робочому місці з ПК викликає не тільки астенопічні явища, але й функціональні порушення очей користувача.

Кольоровий шрифт збільшує навантаження на зір, оскільки складові кольорів мають різні довжини хвиль і видимі на різній віддалі. Око потребує точнішої адаптації, ніж при чорно-білому зображенні.

г) для уникнення механічних травм при виготовленні зразків необхідно працювати на справному станку, своєчасно проводити заміну деталей, термін експлуатації яких вже закінчився та використовувати захисні окуляри та

рукавиці; для виключення травмування органів зору передбачено застосування захисних окулярів, які служать для захисту очей від ушкоджень частками твердих тіл, що летять попереду, знизу і збоку. Ці окуляри оснащені фігурними боковинами, що відкидаються. Застосовувати прозорий екран для захисту очей робітника від поранень частками, що відлітають.

д) об'єктиви-ахромати мають корекцію тільки для середніх кольорів видимої частини спектра, з цієї причини при білому світлі вони дають зображення з не чіткими контурами, пофарбованими головним чином по краю поля зору. Щоб погасити всі кольори, в яких об'єкт не має корекції, застосовують жовто-зелений світлофільтр. З огляду на те, що об'єктиви-апохромати мають корекцію майже для всіх кольорів видимої частини спектра, жовто-зелені світлофільтри для них зайві.

Для електронного мікроскопа «Tesla BS 540» можливі 3 варіанти аварійної ситуації:

- відключення електроживлення;
- відключення води;
- прорив повітря в вакуумну систему.

У таких ситуаціях першочерговим завданням вважається охолодження печі дифузійного насоса і, по можливості, збереження вакууму в системі. У всіх випадках слід спочатку відключити високу напругу, піч диф.насоса і вимкнути головний автомат на стінці. При відмові водопостачання постаратися обмотати мокрими ганчірками піч диф. насоса і включити вентилятор для обдування. Гарячі мокрі ганчірки слід міняти, поки вакуум в системі не почне падати. після охолодження приступити до усунення несправності. При прориві повітря в колону мікроскопа, як правило, спрацьовує автоматика, відсікаючи дифузійний насос від решти обсягу, і вимикається напруження катода і висока напруга. Треба тільки простежити, щоб форвакуумний насос не працював «на повітря», а переключити його на закритий обсяг, наприклад на відкачку боксу з фотопластинками [12-14].

4.3 Заходи з виробничої санітарії

а) параметри мікроклімату і чистоти повітря визначають в залежності від категорії фізичних робіт, для певних робочих місць (постійних і непостійних). Постійне робоче місце – це місце, на якому працюючий знаходиться понад 50% робочого часу або більше 2-х годин безперервно. Якщо при цьому робота здійснюється в різних пунктах робочої зони, то постійним робочим місцем вважається вся ця зона. Непостійне робоче місце – це місце, на якому працюючий знаходиться менше 50% робочого часу або менше 2-х годин безперервно.

Необхідно враховувати, що:

- для постійних робочих місць визначаються оптимальні та допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року;
- для непостійних робочих місць визначаються тільки допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року.
- в холодний період року на постійних робочих місцях: температура оптимальна 18-20 °С, допустима 17-23 °С; відносна вологість: оптимальна 40-60 %, допустима 75 %; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,2 м/с, допустима не більше 0,3 м/с;
- в холодний період року на непостійних робочих місцях допустима температура: 15-24 °С; допустима відносна вологість: 75 %; допустима швидкість переміщення повітря: не більше 0,3 м/с;
- в теплий період року на постійних робочих місцях: температура оптимальна 21-23 °С, допустима 18-27 °С; відносна вологість: оптимальна 40-60 %, допустима 40-60 %; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,3 м/с, допустима не більше 0,2-0,4 м/с;
- в теплий період року на непостійних робочих місцях допустима температура 17-29 °С; допустима відносна вологість: 65 % ⁴⁵при температурі 26 °С; допустима швидкість переміщення повітря: 0,2-0,4 м/с.

б) Виробниче освітлення організується і нормується залежно від:

- розряду зорової роботи, тобто її характеристики (найменшого розміру об'єкта який різниться, світлості фону, контрасту об'єкта з фоном);
- виду і системи освітлення.

Також необхідно врахувати, що передбачається оптимальне (необхідне) освітлення виробничих приміщень і робочих місць:

- природне (бокове або верхнє);
- штучне: робоче, аварійне, евакуаційне, охоронне, чергове [15-17].

4.4 Заходи з пожежної безпеки

Категорію виробництва за пожежною небезпекою (А, Б, В, Г, Д) споруд (приміщень) цеху (ділянки, підстанції) визначають на основі аналізу речовин і матеріалів, що використовуються у виробництві, відповідно до категорії виробництва з пожежної безпеки, визначають ступінь вогнестійкості приміщення цеху (дільниці, підстанції).

Охоронно-пожежна сигналізація неадресного типу влаштована на неадресних (порогових) датчиках. Обладнання розраховане на цілодобову роботу і відповідає необхідним вимогам пожежної безпеки. До складу системи ОПС входить панель, блок управління і індикації та програмне забезпечення.

Панель системи ОПС призначена для прийому сповіщень від шлейфів сигналізації з пожежними та охоронними сповіщувачами або інших приладів, перетворення сигналів, видачі сповіщень про пожежу і/або проникненні з включенням оповіщення та інших виконавчих пристроїв і передачі сповіщень на пульт централізованого спостереження.

Система ОПС на неадресних (порогових) сповіщувачах дозволяє:

- контролювати стан пожежних, охоронних шлейфів сигналізації;
- видавати повідомлення про пожежу та/або проникненні на блоці індикації;

- включати систему оповіщення та інші виконавчі пристрої комплексної системи безпеки;

- передавати повідомлення на Пульти централізованого спостереження, якщо він передбачений проектом.

Разом із системою ОПС можуть працювати такі види охоронних датчиків, як:

- інфрачервоні, що реагують на рух;
- магнітоконтатні, що реагують на розмикання дверей;
- акустичні, що реагують на розбивання скла.

Порогова охоронно-пожежна сигналізація – може працювати як автономно, так і в складі комплексної системи безпеки спільно з відеоспостереженням, контролем доступу і системою підвищення ефективності управління. Істотно розширюються можливості по управлінню обладнанням і обробці інформації, що надходить - при наявності модулів «Моніторинг» або «Центральний пост» на моніторі охоронця автоматично видається інформація про пожежу із зазначенням місця його виникнення на графічному плані підприємства. В охоронюваних приміщеннях встановлюються порогові пожежні або охоронні сповіщувачі, які об'єднуються в шлейфи сигналізації [18, 19].

4.5 Заходи безпеки в умовах НС

Підвищення міцності промислових споруд, а також їх стійкості до дії ударної хвилі, по-перше, пов'язано із значними затратами, а по-друге, все ж неповністю гарантують їх збереження в епіцентрі ядерного вибуху. У зв'язку із цим проведення робіт по зміцненню тих чи інших споруд може плануватись і здійснюватись лише в цілях захисту особливо цінного, унікального обладнання або в тих випадках, коли окремі важливі споруди мають значно меншу міцність, ніж інші, і «підтягнувши» їх міцність до середніх по заводу величин, можна без великих затрат підвищити стійкість об'єкту в цілому.

Вибір заходів, які забезпечують підвищення стійкості об'єкту, визначається різними місцевими умовами в кожному конкретному випадку. Найбільш ефективними являються заглиблення, зменшення парусності і висоти споруд. Міцність і жорсткість конструкцій можна підвищити встановленням контрфорсів, підкосів, додаткових рамних конструкцій, розпірок і відтяжок. Стійкість незначних по розмірам споруд підвищується шляхом обсіпки нижньої частини їх стін ґрунтом (піском і т.п.). Цей же спосіб значно підвищує захисні властивості споруд по відношенню до дії радіаційних випромінювань.

Захист обладнання і готової продукції передбачає розміщення деяких видів обладнання і продукції у заглиблення в приміщеннях, а також підготовку індивідуальних захисних пристроїв.

Надійно захистити все обладнання від впливу ударної хвилі практично неможливо, оскільки доводити міцність цехових споруд до захисних властивостей сховищ економічно недоцільно. Задача полягає в тому, щоб звести до мінімуму небезпеку руйнування і пошкодження особливо цінного обладнання, унікальних шліфувальних, токарних, розточних і зубофрезерних станків, пресів і кувальних машин, насосного обладнання, розрахунково-аналітичних машин і т. д.

Для зменшення руйнування обладнання підсилюють його найбільш слабкі деталі та вузли, виготовляють їх з'ємними і створюють запаси для заміни пошкоджених. Стійкість обладнання від падіння під дією ударної хвилі ядерного вибуху підвищують шляхом надійного закріплення на фундаменті, створення контрфорсів, заглиблень. Запас найбільш нестійких деталей і вузлів для важливого унікального обладнання слід утримувати в спорудах, які забезпечили б їх збереження при дії ударної хвилі.

Підвищення стійкості обладнання може бути досягнуто також шляхом заміни застарілих зразків новими, які найбільш відповідають вимогам до їх стійкості, а також скороченням числа типомоделей станків, що використовуються, що в подальшому значно спростить проведення ремонтних і відновлювальних робіт; заміною горючих і вибухонебезпечних змащувально-

охолоджувальних рідин (наприклад, сульфозфрезолу, фрезолу, керосину) емульсіями; впровадженням в процеси термічної обробки с.в.ч. і т. п.

Важливе значення має і раціональне розміщення обладнання. Найбільш цінне і нестійке обладнання і прилади слід розміщувати в найбільш міцних приміщеннях, важкі станки, машини і агрегати повинні розташовуватись на нижніх поверхах споруд. Машини і станки великої цінності рекомендується розміщувати не в основних промислових, а у окремо розташованих спорудах, які мають легкі конструкції і конструкції, які важко горять, руйнування їх не приведе до руйнування цього обладнання.

Особливо велике значення має стійкість і розгалуженість систем енергетичного забезпечення (електроенергія, газо-, паро- і теплопостачання, забезпечення стисненим повітрям).

До числа заходів, які можуть бути рекомендовані для підвищення стійкості роботи систем енергопостачання, відносять: перенос інженерних і енергетичних комунікацій у підземні колектори, розміщення найбільш відповідальних пристроїв (центральні диспетчерські і розподільчі пункти, компресорні і аварійні електричні станції) в захищених спорудах з підвищеною ступеню стійкості до впливу ударної хвилі; кільцювання всіх енергетичних систем; побудова захищених автономних джерел електро- і водопостачання, резервних ємностей і резервуарів; придбання пересувних електростанцій і насосних агрегатів з двигунами внутрішнього згорання; обладнання пристосувань для роботи підприємств на різних видах палива; кооперування постачання групи підприємств, тобто створення умов і можливостей для використання джерел електро-, газо-, тепло- і водопостачання, кисневих станцій, складів палива одного підприємства для забезпечення потреб іншого.

Стійкість систем електропостачання підвищується базуванням підприємств на декількох енергоджерелах, віддалених один від іншого на таку відстань, щоб виключити можливість руйнування їх одним ядерним вибухом. При живленні підприємства від районної енергосистеми лінії електропередач необхідно підводити не менш ніж із двох напрямків, а приймальні підстанції (ЦРП, РП) розташовують одна від одної на можливо більшій відстані. Доцільні і

такі заходи, як забезпечення захисту існуючих і побудова резервних підстанцій, перевід енергопостачання із повітряного на підйомно-кабельне, встановлення автоматичних роз'єднувачів для відімкнення ділянок сітей у випадку перевантаження і короткого замикання. Споруди цивільної оборони забезпечуються автономними джерелами енергопостачання.

Система водопостачання також повинна базуватися на двох і більше незалежних вододжерелах, віддалених один від одного на відповідну відстань. Рекомендується встановлювати додаткові бурові скважини (артезіанські скважини), кільцювати розвідні сіті, захищати гідранти і водорозбірні колонки, впроваджувати автоматичні і напіваавтоматичні пристрої, які б відключали б пошкоджені ділянки без порушення роботи іншої частини сіті.

На сітях газопостачання і теплофікації слід передбачити заходи проти втрачання газу (пари, води) у випадку руйнування магістральних ліній і внутрішньої сіті у пошкоджених або зруйнованих спорудах. Це досягається шляхом встановлення на вводах в споруди або на відводах магістральних ліній автоматичних запірних пристроїв, які відмикають лінії при руйнуванні. Встановлюють і задвижки дистанційного управління, які дозволяють відімкнути сіті із одного центра управління.

Сіті зв'язку можна вважати підготовленими з точки зору цивільної оборони, якщо забезпечений захист вузлів зв'язку і розподільчих шаф, а повітряні лінії зв'язку на території підприємства переведені на підземно-кабельні. Стійкість засобів зв'язку може бути підвищена шляхом прокладання другого живлення фідерів на автоматичну телефонну станцію і радіовузол заводу, придбання пересувних електростанцій для зарядки акумуляторів АТС і для живлення радіовузла при повному відключенні постійних джерел електроенергії.

Важливе значення має планове накопичення ультракороткохвильових радіостанцій, телефонних апаратів і телефонного кабелю польового типу для створення тимчасових ліній зв'язку на випадок виходу із ладу постійних. Необхідно також мати незмінний резерв запасних частин і деталей для ремонту всіх засобів зв'язку.

Попередження або зменшення до мінімуму можливих руйнувань, пожеж і втрат від додаткової дії вторинних факторів ураження ядерного вибуху в значній мірі залежать від проведення інженерно-технічних заходів, направлених на підвищення загальної стійкості всього інженерно-технічного комплексу підприємства і його окремих елементів. Крім цього, ця задача досягається розосередженням (вивозом) наднормативних запасів вибухових і вогненебезпечних речовин на безпечній відстані від самого підприємства, а також від інших населених пунктів та об'єктів. Таке розосередження вибухових та вогненебезпечних матеріалів здійснюється в основному при виникненні погрози нападу супротивника, однак уже у мирний час для цього слід підготовляти склади у загородній зоні.

Роботи із вибуховими речовинами рекомендується сконцентрувати в спеціальних окремо розташованих спорудах, щоб виключити джерела додаткової небезпеки при здійсненні цих робіт у різних цехах. На багатьох підприємствах запаси горючих рідин (нафта, бензин, керосин, масла і т. п.) містяться не в підземних сховищах, а в наземних резервуарах та інших ємностях. В цих випадках такі ємності повинні бути уже в мирний час обваловані, тобто оточені валами ґрунту такої висоти, щоб вони були здатні втримати весь об'єм рідини при руйнуванні резервуару.

Створення обмежувальних земляних валів (дамб) являється також одним із ефективних способів захисту об'єктів, розташованих в низинних ділянках місцевості, від катастрофічного затоплення в результаті руйнування поблизу розташованих гідроспоруд.

Для попередження виникнення джерел хімічного зараження можна рекомендувати наступні заходи: розосередження складів отрутохімікатів, а також обладнання їх пристосуваннями, які забезпечують швидку нейтралізацію отруйних речовин (змивання водою; обробка залізним купоросом приміщень, небезпечних із-за наявності ціаністих сполук; обробка кислот лугами і т. п.); виготовлення міцної і надійної тари; настил підлог в складах отрутохімікатів із кислотоупорних і лугостійких матеріалів; створення запасів нейтралізуючих речовин; ізоляція (відгородження) в цехах небезпечних ділянок (травлення,

ціанування, азотування та ін.); забезпечення робочих небезпечних і сумісних з ними ділянок спеціальними засобами індивідуального захисту (промислові протигази, захисний одяг) [20, 21].

5 ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА

5.1 Актуальність теми з позиції маркетингу

У процесі інтеграції України в європейський та світовий бізнес-простір виникає необхідність адаптації вітчизняних реалій до міжнародних стандартів господарювання та впровадження основоположних принципів українського підприємництва. Забезпечення сталих відносин зі зацікавленими сторонами стає критичною складовою успішного розвитку компаній. Якщо відносини з клієнтами вже давно визнані українськими компаніями, то взаємодія з іншими зацікавленими сторонами не завжди розглядається як сфера, що потребує окремої стратегії чи підходу. Супроти цього, світові лідери частіше використовують системний підхід до взаємодії зі стейкхолдерами, оскільки врахування їхнього впливу та інтересів прийнятті рішень дозволяє отримати об'єктивну оцінку власної діяльності та краще розуміти ризики й можливості.

У контексті використання корозійностійких сталей у конструкціях харчового підприємства, які піддаються високим температурам або мають підвищені вимоги до міцності, важливо розробляти нові процеси механічної обробки металів. Ці процеси повинні бути не лише ефективними, але й економічно обгрунтованими. Основні напрямки майбутніх досліджень включають регулювання критичних параметрів обробки для отримання оптимальної структури в існуючих сплавах, розробку сплавів, які впроваджують переваги нових технологій, і створення нових ефективних процесів для виготовлення деталей із корозійностійких сталей.

Механічні властивості корозійностійких сталей визначаються їхньою мікроструктурою, такою як розмір зерна, морфологія карбідів, їхнє розподіл, розмір і розподіл у інтерметалідних фазах або розташування дендритів. Існують дані про кореляцію між механічними властивостями і мікроструктурою як для литих, так і для деформованих сплавів. Однак виробничі обмеження, форма та розмір деталей із корозійностійких сталей часто ускладнюють досягнення оптимальної мікроструктури. Поліпшення обробки корозійностійких сталей для

отримання оптимальних мікроструктур може суттєво підвищити рівень їхніх механічних властивостей.

5.2 Послідовний аналіз

Виконаний аналіз напрямків застосування та вигоди для споживачів (табл. 5.1). Надано цілісне уявлення про зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів. Виконаний аналіз характеристики потенційного ринку (табл. 5.2).

Таблиця 5.1 – Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
Особливий контроль хімічного складу та технології виготовлення високотемпературних ємностей харчової промисловості.	1. Виробництво обладнання для переробки продуктів. 2. Виготовлення ємностей для варіння та пастеризації.	1. Забезпечення високої якості та безпечності харчових продуктів. 2. Продовження терміну служби обладнання та ефективність його використання.

Виконано аналіз попередньої характеристики потенційного ринку (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Попередня характеристика потенційного ринку

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Головні конкуренти	Компанії-виробники харчового обладнання, такі як "Tetra Pak" (Швеція), "GEA Group" (Німеччина), українські компанії "Технолог", "Укртехнології".

Кінець таблиці 5.2

Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стабільне зростання через зростаючі вимоги до якості та безпеки продукції.
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Високі вступні інвестиції, строгі стандарти якості та безпеки.
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Дотримання стандартів ISO, НАССР, вимоги УкрСЕПРО та міжнародних регуляторних органів.

Вивчено та визначено потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформований орієнтований перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Попередня характеристика потенційних клієнтів

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів (користувачів)
Підвищена потреба у високоякісному обладнанні для харчової промисловості.	Великі та середні харчові виробництва, підприємства з виробництва напоїв.	Великі компанії звертають увагу на технологічність та інновації, середні – на ціну та якість.	Надійність, безпека використання, відповідність міжнародним стандартам, доступність сервісу та обслуговування.

Виконаний аналіз SWOT- аналіз середовища реалізації інноваційного проекту. Результати аналізу приведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – SWOT- аналіз

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
1. Високий рівень якості та безпеки кінцевого продукту. 2. Застосування інноваційних технологій у виробництві.	1. Високі витрати на дослідження та розробку. 2. Потреба у кваліфікованих кадрах.

Кінець таблиці 5.4

3. Підвищення ефективності виробничих процесів. 4. Зниження ризику виробництва дефектної продукції. 5. Відповідність міжнародним стандартам.	3. Залежність від постачальників якісної сировини. 4. Складнощі з впровадженням на ринках із низькою платоспроможністю. 5. Потреба у попередньому сертифікуванні продукції.
Можливості:	Загрози:
1. Розширення ринкової частки за рахунок унікальності продукту. 2. Вихід на нові ринки, зокрема експортні. 3. Співпраця з великими харчовими концернами. 4. Отримання державних субсидій для розвитку інновацій. 5. Створення партнерських відносин з науковими установами.	1. Зміна законодавчих норм у сфері харчової промисловості. 2. Висока конкуренція на ринку високотемпературних ємностей. 3. Економічні коливання, що впливають на капіталовкладення. 4. Ризик швидкого знецінення технологій через їхнє швидке оновлення. 5. Можливість появи нових технологічних рішень від конкурентів.

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 5.5).

Таблиця 5.5 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
Молоді професіонали, зацікавлені в особистісному зростанні та саморозвитку.	Висока	15000 од./рік	Висока	Відносно простий для молодіжного сегменту, складніший для старшого віку через високі вимоги до
Середній та старший вік, що цінують комфорт та якість життя.	Помірна	8000 од./рік	Середня	

Бізнес-сегмент, орієнтований на ефективність та продуктивність у роботі.	Висока	20000 од./рік	Висока	якості, простий для бізнес- сегменту з наявністю B2B стратегій.
--	--------	---------------	--------	---

Була проведена ідентифікація осіб, які мають інтерес до проекту, їх ранжування за пріоритетом та створена Карта стейкхолдерів. Ця карта призначена для візуалізації взаємодії між різними стейкхолдерами. Для цього на карті виділено три концентричні зони, де представлені всі особи, які мають інтерес до інноваційного проекту. Кожна з цих зон показує рівень впливу ініціатора проекту на зацікавлених осіб. Внутрішня зона відображає повноваження та відповідальність ініціатора. Особи з цієї зони є безпосередньо підпорядковані ініціатору, що дозволяє застосовувати прості методи управління проектом (див. рис. 5.1).



Рисунок 5.1 – Карта стейкхолдерів

Визначено витрати на оплату праці з урахуванням балансу робочого часу одного працівника. Витрати за цією статтею складаються із планового фонду зарплати усіх категорій працівників, які задіяні у проведенні досліджень (табл. 5.6).

Таблиця 5.6 – Склад, чисельність та фонд заробітної плати

Посада	Кількість осіб	Посадовий оклад, грн	Преміальний відсоток до окладу, %	Сума премій, грн	Місячна заробітна плата	Річний фонд оплати праці, грн	ЄСВ, грн
Науковий керівник	1	11500	20	2300	13800	165600	36432
Старший науковий співробітник	1	10900	20	2180	13080	156960	34531,2
Молодший науковий співробітник	1	9600	20	1920	11520	138240	30412,8
Лаборант	2	6800	20	1360	8160	195840	43084,8
Разом	5	38800	-	7760	46560	656640	144460,8

Розрахунок вартості матеріалів. До цієї статті належать витрати на придбання основних матеріалів для проведення дослідження, а також для виготовлення макетів та дослідних зразків (табл. 5.7)

Таблиця 5.7 – Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати	Виробнича програма	Обсяг сировини	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Папір	—	4 блоки	150	600
Ручка	—	20 одиниць	12	240
Олівець	—	20 одиниць	10	200
Зразки	50	50 одиниць	145	7250
Реактиви	—	8 одиниць	900	7200
Змінні лінзи	—	2 одиниці	3500	7000
Тара зразків	—	10 одиниць	50	500
Разом				22990

Розрахунок вартості матеріалів. До цієї статті належать витрати на електропостачання, водопостачання тощо (табл. 5.8).

Таблиця 5.8 – Розрахунок вартості спожитих послуг

Вид послуг	Виробнича програма	Обсяг послуг	Тарифи	Сума, грн
Електропостачання	—	550 кВт	5,58 грн/ кВт	3069
Водопостачання	—	6 м ³	28,3 грн/м ³	169,8
Теплопостачання	—	2,14 Гкал	3777 грн/Гкал	8082,78
Охоронна система	—	1	1500	1500
Утилізація реактивів	2 одиниці	2	200 грн	400
Разом				13221,58

Визначили річну суму амортизації з урахуванням первісної вартості основних засобів та норми амортизації при терміні експлуатації у 5 років (табл. 5.9).

Таблиця 5.9 – Розрахунок амортизації

Група основних засобів	Кількість	Первісна вартість ОЗ	Вартість обладнання	Річні амортизаційні відрахування	Витрати на поточний ремонт у розмірі 2%
Металографічний мікроскоп	2	98 300	196600	27524	3932
Електронний мікроскоп	1	1368210	1368210	191549,4	27364,2
Прилад для контролю хімічного складу сплавів	1	921340	921340	128987,6	18426,8
Комп'ютер	2	26600	53200	7448	1064
Принтер	1	15521	15521	2172,94	310,42
Разом	7	2429971	2554871	357681,94	51097,42

Відображаємо кошторис витрат на основі даних, вказаних в табл. 5.6-5.9. В табл. 5.10 наведено кошторис витрат на проведення науково-дослідницьких робіт.

Таблиця 5.10 – Кошторис витрат

Калькуляційні статті	Витрати, грн
Фонд заробітної плати, рік	656640
ЄСВ, рік	144461
Матеріальні витрати, рік	22990
Вартість спожитих послуг, рік	13222
Амортизація обладнання, рік	357682
Поточний ремонт, рік	51097
Виробнича собівартість	1244475
Адміністративні витрати 50%	328320
Повна собівартість	1574412

Розрахунок економічного ефекту виконувався на основі того, що внаслідок дотримання суворого контролю чіткого хімічного складу та мінімізація появи дефектів виготовлення високотемпературних ємностей харчової промисловості, внаслідок покращення технології виготовлення та якості проведення контрольних операцій, збільшився ресурс їх експлуатації. Пропонується більш ретельний вхідний контроль із застосуванням рентген-фазового аналізатору, який дозволить регламентувати чітку кількість вуглецю в сталі для зменшення вірогідності утворення міжкристалітної корозії. Також важливим є впровадження застосування контролю зварних з'єднань і за допомогою ультразвукового дефектоскопу на наявність в порожнині дефектів, і хімічного складу шва. Збільшення контрольних операцій регламентує збільшення необхідної кількості обладнання, а також підвищує собівартість отриманої продукції. Проте, такі зміни в технологічному процесі дозволять значно підвищити ресурс роботи ємностей. Також, забезпечення якісних зварних швів у ємностях забезпечує використання сучасних зварювальних установок.

Таблиця 5.11 – Порівняння вартості виготовлення 1 шт. харчової ємності за стандартної технології виготовлення та з використанням додаткових контрольних операцій

	Традиційна технологія	Розроблена технологія
Витрати на напівфабрикати (листи) зі сталі 12Х18Н10Т грн/лист	4884	4884
Витрати на комплектуючі, грн.	580	580
Основна заробітна плата основних виробничих робітників, грн.:	2250 грн	2580 грн
Додаткова заробітна плата основних виробничих робітників, % основної	10 (225грн)	10 (258 грн)
Відрахування в соціальні фонди, % від суми основної та додаткової заробітної плати	22 (544,5 грн)	22 (624,36 грн)
Витрати на утримання та експлуатацію обладнання, грн	853,65	1065,72
Всього, грн	9337,15	9992,08

Економічна ефективність використання вдосконаленої технології визначається наступним чином:

$$E = (C_6 K_e - C_n) \cdot N, \text{ грн.},$$

де C_6 – собівартість базового виробу;

K_e – коефіцієнт експлуатаційного ресурсу

C_n – собівартість нового виробу

$$E = (9337,15 \cdot 1,5 - 9992,08) \cdot 1 = 4013,65 \text{ грн.}$$

Отже, економія при виготовленні 1 харчової ємності для роботи при підвищених температурах з використанням вдосконаленої технології її виготовлення становить 4013,65 грн. Це свідчить про те, що застосування більшої кількості обладнання та контрольних операцій збільшує собівартість готового виробу, проте дозволяє збільшити експлуатаційний ресурс у 1,5 рази, що є дуже важливим як для виробника, так і споживача.

ВИСНОВКИ

Враховуючи вищенаведене, можна зробити висновок, що при виборі корозійностійких сталей для харчових ємностей, які працюють при підвищених температурах доцільним є використання феритних або аустенітних сталей. Вони здатні витримувати вплив агресивного середовища а також довгий час зберігати комплекс експлуатаційних властивостей. Основними причинами виходу з ладу таких ємностей є виникнення міжкристалітної корозії, яку можна усунути зниженням в сталях вмісту вуглецю, введенням в сталь стабілізуючих добавок (титан, ніобій); гартуванням сталей від температур 1050-1110°C; або відпалом, який для нестабілізованих сталей має на меті вирівнювання складу аустеніту і ліквідацію збіднених хромом ділянок, а для стабілізованих сталей - переведення вуглецю з карбідів хрому в спеціальні карбіди титану або ніобію і звільнення хрому для створення необхідного рівня корозійної стійкості.

Можливим дефектом сталей є корозійне розтріскування. Для запобігання цьому застосовують зменшення або зняття розтягувальних напружень (наприклад, відпалом після механічного оброблення або зварювання), створення на поверхні напружень стиснення, введення інгібіторів у середовище, які знижують його корозійну активність, та інші методи. Поряд із цим можливе виникнення крихкості, яка є також небажаною.

Також можливим є утворення поверхневих дефектів внаслідок особливостей процесу зварювання та інших термічних впливів. Для харчових ємностей дуже важливим є збереження чистоти поверхні виробу, тому контакт із забрудненнями може спричинити як псування продуктів, так і корозійні наслідки.

Контроль якості таких матеріалів та суворе дотримання технології виготовлення та обробки резервуарів харчової промисловості дозволить значно збільшити та гарантувати ресурс роботи обладнання та отримати значний економічний ефект при цьому.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Харчові ємності з корозійностійкої сталі [Електронний ресурс] // www.promstan.com.ua. – Режим доступу: <https://www.promstan.com.ua/ua/articles/pischevye-emkosti> (дата звернення: 07.01.2024). – Назва з екрана.
2. Манченко М.В., Колесников В.А. Новые сплавы для пищевых и перерабатывающих производств // Збірник тез наукових доповідей міжнародної науково-практичної конференції наукової молоді і студентів “Сучасні проблеми розвитку легкої і харчової промисловості”, (3-4 листопада 2010 р. СХУ ім. В. Даля). - Луганськ: вид-во СХУ ім. В. Даля, 2010. – С. 27 - 28.
3. Outokumpu O. Handbook of stainless steel / O. Outokumpu. – Sweden : Sandvikens Tryckery AB, 2013. – 92 p.
4. Химушин, Ф. Ф. Нержавеющие стали. М.: Металлургия, 1967. – 800 с.
5. Introduction to Stainless Steels : Alloy Digest Sourcebook / ed. by J. Davis. – USA : ASM International, 2000. – 585 p.
6. Беліков С.Б. Стійкість сталі AISI 321 до міжкристалітної корозії залежно від її структури та механічних властивостей / С.Б. Беліков, О.Е. Нарівський // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні, 2, 2010 – С. 21-25.
7. Литовченко С.В. Приготовление образцов для металлографического исследования микроструктуры // Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина. – Харьков, 2011. – 14 с.
8. Конспект лекцій з дисципліни «Методи структурного аналізу матеріалів» для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство» денної і заочної форм навчання / Укл. О.А. Глотка, Л.П. Степанова // Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. – 90 с.
9. Обуховський В.В. Ультразвуковий метод та акустична емісія при випробуванні цистерн // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. – №25, Донецк, 2011. – С. 57-60.

10. Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-7.11-12. – На заміну наказу МНС України від 26.12.2011 № 1350 ; чинний від 2012-03-16. – К. : МНС України, 2012. – 116 с. – URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0226-12>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці).

11. Про охорону праці [Електронний ресурс] – Чинний від 1992-10-14. : станом на 20.01.2018 р.–К.:ВРУкраїни,1998.– URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>. – (Закон України).

12. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом [Текст] : ДСТУ Б В.2.5-82:2016. – На заміну ДБН В.2.5-27-2006 ; чинний від 2017-04-01. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 109 с. – (Державний Стандарт України).

13. Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-1.71-13. – Чинний від 2014-03-28. – К. : Міненерговугілля України, 2013. – 59 с. – URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0327-14>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці).

14. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроям [Електронний ресурс] : НПАОП 0.00-7.15-18. – На заміну НПАОП 0.00-1.28-10 ; чинний від 2018-05-18. – К. : Мінсоцполітики України, 2018. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18>. – (Нормативно-правовий акт охорони праці).

15. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин [Електронний ресурс] : ДСанПіН 3.3.2.007-98. – Чинний від 1998-12-10. – К. : МОЗ України, 1998. – URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=2445>. – (Державні санітарні правила та норми).

16. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Електронний ресурс] : ДСН 3.3.6.042-99. – Чинний від 1999-12-01. – К. : МОЗ України, 1999. – URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>. – (Державні санітарні норми).

17. Природне і штучне освітлення. [Текст] : ДБН В.2.5-28-2018. – На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01. – К. : Мінрегіон України, 2018. – 133 с. – (Державні будівельні норми України).

18. Правила пожежної безпеки в Україні [Текст] : НАПБ А.01.001-14. – На заміну НАПБ А.01.001-04 ; чинний від 2014-12-30. – К. : МВС України, 2014. – 47 с. – (Нормативний акт пожежної безпеки).

19. Протипожежний захист. Знаки безпеки. Форма та колір [Текст] : ДСТУ ISO 6309:2007. – На заміну ГОСТ 12.4.026-76 в частині пунктів 1.1, 1.2, 1.4, 1.6 таблиці 5, пунктів 2.1, 2.2 таблиці 6, пунктів 4.1-4.11 таблиці 8; знаків 1.1, 1.2, 1.4, 1.6, 2.1, 2.2, 4.1-4.11 додатка 3 ; чинний від 2007-10-01. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 9 с. – (Державний Стандарт України).

20. Планування і забудова територій [Текст] : ДБН Б.2.2-12:2018 – На заміну ДБН 360-92** ; ДБН Б.2.4-1-94 ; ДБН Б.2.4-3-95 ; ДБН Б.2.4-4-97 ; ДБН Б.1-2-95 ; СНиП II-89-80 ; чинний від 2018-09-01. – К. : Мінрегіон України, 2018. – 179 с. – (Державні будівельні норми).

21. Катренко Л. А. Охорона праці. Курс лекцій. Практикум [Текст] : навчальний посібник / Л. А. Катренко, Ю. В. Кіт, І. П. Піскун – 2-ге вид., стер. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2007. – 496 с.

