

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Фізико-технічний, інженерно-фізичний факультет
Кафедра Фізичного матеріалознавства
Ступінь вищої освіти Магістр
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) Прикладне матеріалознавство
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 20 ____ року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)
Кульпіна Ольга Володимирівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Аналіз причин руйнування поковки з нержавіючої аустенітної сталі 12X18H10T

керівник проєкту (роботи) Глотка Олександр Анатолійович, доцент каф.ФМ, к.т.н
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «02» 11 2020 року № _____

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 17.12.2020

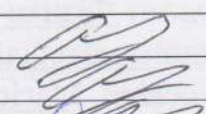
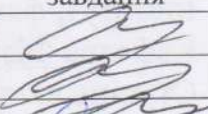
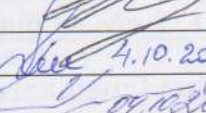
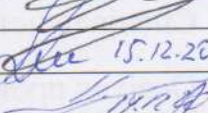
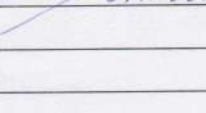
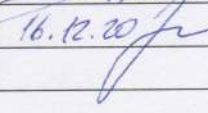
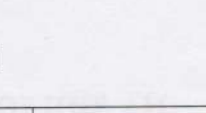
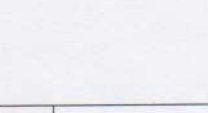
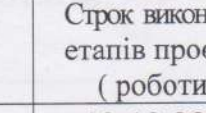
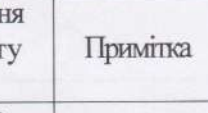
3. Вихідні дані до проєкту (роботи) зруйновані поковки зі сталі 12X18H10T

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1.Літературний огляд 2. Матеріали та методика досліджень. 3. Експериментальна частина 4. Економічна частина 5. Охорона праці в галузі.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Презинтація : Хімічний склад сталі 12X18H10T, Зовнішній вигляд проби поверхні, макроструктура поверхні злитку зі сталі 12X18H10T, мікроструктура зразка в місці розташування дефекту, мікроструктура поверхні дефекту, Якісний МРСА дефекту в сталі 12X18H10T. Відносний вміст елементів у визначеному спектрі, %

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	Глотка О.А		
2	Глотка О.А		
3	Глотка О.А		
4	Круглікова В.В		
5	Нестеров О.В		
НК	Ткач Д.В		

7. Дата видачі завдання « 10 » жовтня 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

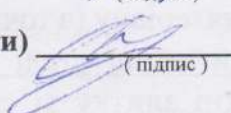
№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Аналіз природи корозійностійких сталей	10.10.2020	
2	Матеріали та методики досліджень	26.10.2020	
3	Експериментальна частина	05.11.2020	
4	Економічна частина	16.11.2020	
5	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	10.12.2020	

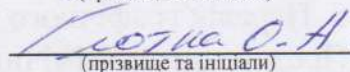
Студент(ка)


 (підпис)


 (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)


 (підпис)


 (прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Фізико-технічний, інженерно – фізичний факультет
(повне найменування інституту, факультету)

Фізичне матеріалознавство
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему Аналіз причин руйнування поковки з нержавіючої аустенітної сталі 12Х18Н10Т

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи ІФз219м

Спеціальності 132 Матеріалознавство
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

Кульпіна О.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник Глотка О.А.
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(прізвище та ініціали)

КУЛЬПНА Ольга Володимирівна

Аналіз причин руйнування поковки з нержавіючої аустенітної сталі
12Х18Н10Т

РЕФЕРАТ

ПЗ: 85 с., 21 рис., 10 табл., 57джерел

Об'єкт дослідження – поковки зі сталі 12Х18Н10Т.

Предмет дослідження – дефекти поковок у вигляді неметалевих включень в корозійностійкій сталі.

Мета роботи: Розглянути умови експлуатації, термічну обробку, структуру, види і причини руйнування поковок зі сталі 12Х18Н10Т. Для навести хімічний склад. Описати способи отримання зразків для дослідження, методику приготування, реактиви для травлення зразків. Розглянути методи мікроструктурного аналізу сталі.

В роботі розглянуто причини руйнування поковок із корозійностійкої сталі 12Х18Н10Т, яке спричинено внаслідок недотримання умов плавки.

КОРОЗІЯ, ЛЕГУВАЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ, АУСТЕНІТНІ СТАЛІ,
КОРОЗІЙНА СТІЙКІСТЬ, ЛИТТЯ, ПОКОВКИ, ШИХТА,
МІКРОСТРУКТУРА, МІКРОАНАЛІЗ, НЕМЕТАЛЕВІ ВКЛЮЧЕННЯ,
ХАРАКТЕРИСТИЧНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ, ЕКОНОМІЧНА
ЕФЕКТИВНІСТЬ, ОХОРОНА ПРАЦІ

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Аналіз природи корозійностійких сталей.....	7
1.1 Загальні відомості про корозійностійкі сталі, основні вимоги до них.....	7
1.2 Вплив легувальних елементів на структуру і властивості корозійностійких сталей.....	10
1.2.1 Основні легувальні елементи корозійностійких сталей	11
1.2.2 Принципи корозійностійкого легування	16
1.2.3 Вплив легування на пасивацію Fe-Cr-сплавів	19
1.3 Типи корозійностійких сталей.....	22
1.4 Аустенітні корозійностійкі сталі.....	27
2 Матеріали та методика досліджень	35
2.1 Сталь 12X18H10T та її отримання	35
2.2 Виготовлення зразків.....	36
2.3 Дослідження мікроструктури	37
2.3.1 Дослідження мікроструктури на оптичному мікроскопі.....	37
2.3.2 Дослідження РСМА.....	40
3 Експериментальна частина	43
3.1 Вплив легувальних елементів і домішок на структуру і властивості сталі 12X18H10T.....	43
3.2 Дослідження причин руйнування поковки зі сталі 12X18H10T	44
4 Економічна частина	53
4.1 Аналіз ринку корозійних сталей.....	53
4.2 Тенденції розвитку світового ринку корозійностійких сталей	55

4.3 Розрахунок кошторису витрат на проведення науково-дослідницької роботи	58
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	64
5.1 Аналіз потенційних небезпек	64
5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки	65
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	68
5.4 Заходи з пожежної безпеки	72
5.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях	74
Висновки	77
Перелік посилань.....	78
Додаток А.....	84
Додаток Б презентація	

ВСТУП

Корозійностійка сталь із вмістом хрому понад 12,% зберігає свої антикорозійні властивості в звичайних умовах, а також слабоагресивних середовищах. Якщо вміст хрому в сплаві перевищує 17%, нержавіюча сталь залишається корозійностійкою і в більш агресивних окислювальних середовищах (наприклад, азотній кислоті міцністю до 50 %.).

Крім антикорозійних властивостей, вироби, в яких в якості основного матеріалу чи компонента, застосовується корозійностійка сталь, передбачають і інші позитивні якості: підвищену міцність, довговічність, зносостійкість, технологічність. Корозійностійка сталь застосовується для виробництва різних видів прокату, побутових приладів, зварювальної апаратури, що експлуатується в агресивних середовищах, виробів, функціонують при високих температурах – 550...800 °С.

В даний час існує багато металургійних підприємств, які пропонують споживачам широкий асортимент продукції з корозійностійких сталей. Найбільшим попитом у покупців користуються такі різновиди виробів: нержавіюча труба, смуга, лист, металевий дріт, сталевий куточок, коло, квадрат та відводи, швелер катаний, Т-подібний профіль (тавр), куточок неравнополочний катаний, труба сталева безшовна товстостінна і тонкостінна та інші види продукції з нержавіючої сталі.

1 АНАЛІЗ ПРИРОДИ КОРОЗІЙНОСТІЙКИХ СТАЛЕЙ

1.1 Загальні відомості про корозійностійкі сталі, основні вимоги до них

Починаючи з 1913 року, вчені проводили дослідження з різних видів і властивостей сплавів, так англієць Гаррі Бреарлі відкрив корозійностійку сталь. В ході експериментів зі сплавами він виявив унікальну здатність сталі з високим вмістом хрому дійснити опір кислотній корозії. До кінця 20-х років корозійностійка сталь була визнана найбільш практичною і універсальною в порівнянні із сталями, що в своєму складі не містять хрому [1-2].

Корозійностійкі сталі мають більш високий опір окисленню і корозії у багатьох природних і штучних середовищах. Високий опір окисленню на повітрі і при температурі навколишнього середовища зазвичай досягається з додаванням хрому більше 12%. Хром формує пасивний шар з оксиду хрому (III) (Cr_2O_3) при контакті з киснем. Шар занадто тонкий щоб бути видимим, але виділяється металевим блиском, та захищає метал від впливу агресивного середовища. Навіть, коли поверхня подряпана, цей шар швидко відновлюється. Це явище має назву «пасивація», і спостерігається в інших металах, наприклад у алюмінію [3].

Отже основною вимогою, що висувається до такого типу сталей – це опір корозії.

Корозія – це руйнування металу під впливом навколишнього середовища. Це явище дуже шкідливе. Для відновлення спотвореного корозією обладнання та конструкцій щорічно витрачається не менше 10% продукції світового металургійного виробництва. Через корозію порушується герметичність водо-,газо- та нафтопроводів, що може призвести до серйозних аварій. Навіть високоякісний сплав може бути зруйнованим при деяких умовах. Так як деякі види корозії більш незвичайні і їх пошкодження менш видимі, ніж іржа, вони не завжди помітні і завдають проблеми.

Пітингова корозія. Пасивація утворюється на жорсткому шарі окису. При відсутності кисню (або коли інший вигляд, наприклад, іонів солей), сталь нездатна знову формувати пасиваційну плівку. В найгіршому випадку, при майже повністю захищеній поверхні крихітні локальні флуктуації будуть порушувати окисний шар в декількох критичних точках. Корозія в цих точках буде дуже сильною, і може утворювати корозійні западини. У той час як корозійні западини тільки зароджуються навколо ядра при досить надзвичайних обставинах, вони можуть продовжувати рости навіть, коли умови повертаються до нормальних, так як всередині западин відсутній кисень. В крайньому випадку, дуже гострі кінці довгих і вузьких западин можуть утворювати концентрації напружень, що в свою чергу спричиняють руйнування. Ці проблеми особливо небезпечні, тому що їх важко виявити до руйнування, перш ніж частини або вся структура зруйнується. Пітингова корозія залишається серед найбільш руйнівною формою корозії в сплавах. Пітингова корозія може розвиватися, коли сталь піддається високій концентрації іонів солей (наприклад, морська вода) і помірно високим температурам [4-6].

Корозія зварного шва і ножова корозія. Через підвищення температури зварювання або протягом невідповідної обробки високою температурою, карбіди хрому можуть формуватися по межах зерен сталі. Ця хімічна реакція окислює хром в зоні біля границі зерна і таким чином робить ці області набагато менш стійкими до корозії. Це створює гальванічну пару між добре захищеним сплавом, що призводить до того, що зварний шов кородує (корозія на межах зерен близько зварного шва) у високо корозійних навколишніх середовищах. Спеціальні сплави, з низьким вмістом вуглецю або зі спеціальними добавками, наприклад, титан та ніобій, можуть запобігти цей ефект, але останній вимагає спеціальної обробки високою температурою після зварювання, щоб виключити явище ножовою корозії. Сучасне виробництво сталі в значній мірі зменшують ці проблеми, контролюючи

вміст вуглецю в нержавіючих сталях $< 0,3 \%$, більшість нержавіючих сталей в наші дні виробляються з низьким вмістом вуглецю.

Щілинна корозія. При наявності таких факторів як зменшена кислотність або зниження атмосферного впливу, пасивуючий шар, що захищає сталь від корозії може зруйнуватися. Це зношення може також залежати від механічного виготовлення частин, під прокладками, в гострих кутах, або при неповноцінному зварюванні. Такі щілини можуть сприяти корозії, якщо їх розмір дозволяє проникнути агресивній речовині.

Корозійне розтріскування металів. Корозійне розтріскування металів - швидка і серйозна форма корозії нержавіючих сталей. Вона утворюється, коли матеріал, що піддається напруженням розтягу в деяких видах корозійних середовищ, особливо солевмісних (морській воді) в більш високих температурах. Напруження можуть бути результатом робочих навантажень, або можуть бути спричинені при обробці або залишковими напруженнями при виробництві; залишкові напруження можуть бути зменшені відпалом (нормалізацією). Це обмежує застосування нержавіючої сталі для водних середовищ, з підвищеним вмістом солей при температурах більш ніж 50°C . Корозійне розтріскування металів проявляється тільки в аустенітних нержавіючих сталях і залежить від вмісту нікелю.

Корозійно-втомне руйнування металів. Корозійно-втомне руйнування металів – основний вид руйнування в нафтовидобувній промисловості, де сталь входить в контакт з рідинами або газами зі значним вмістом сірководню, наприклад, високосірчаний газ, під впливом напружень розтягу і посилюється в присутності іонів солей. Підвищення температури збільшує вплив іонів солей, але зменшує вплив сірки, в результаті збільшеної рухливості іонів через кристалічну ґратки, найбільш критичний температурний діапазон для корозійно-втомного руйнування металів – між $60 - 100^{\circ}\text{C}$.

Гальванічна корозія. Такий вид корозії відбувається, коли гальванічна пара сформована між двома різнорідними металами. Результируючий

електрохімічний потенціал призводить до формування електричного струму, що спричиняє електролітичний розпад менш благородного матеріалу. Цей ефект може бути попереджений електричною ізоляцією матеріалів, наприклад використовуючи гумові або пластмасові втулки або шайби, зберігаючи деталі сухими так щоб не було ніякого електроліту, для утворення пари або збереження розміру менш благородного матеріалу щодо більш благородного (нержавіючі - сталеві болти в алюмінієвому блоці не спричиняють корозію, але алюмінієві заклепки в нержавіючому сталевому листі швидко кородують.)

Контактна корозія. Контактна корозія - це комбінація гальванічної корозії та щілинної корозії, виникає там, де дрібні частинки сторонньої речовина впроваджуються в нержавіючу сталь. Вуглецева сталь - є типовим забруднювачем в даному випадку, це явище зумовлене стиранням вуглецевої сталі або використанням інструменту забрудненого частками вуглецевої сталі. Частки формують гальванічну пару, і швидко кородують та можуть залишати западини в нержавіючій сталі, від яких пітингова корозія може швидко прогресувати.

Міжкристалітна корозія. Нагрівання сталей, що містять велику кількість хрому, в інтервалі 400-800°C призводить до виділення по межах зерен карбідів хрому Cr_{23}C_6 і збіднення у зв'язку з цим зазначених зон хромом нижче 12%. Це призводить до зниження електрохімічного потенціалу ділянок аустенітного зерна та їх розчинення в корозійному середовищі. Корозійне руйнування має міжкристалітний характер призводить до окрихчення сталі [4-8].

1.2 Вплив легувальних елементів на структуру і властивості корозійностійких сталей

Корозійна стійкість підвищується при введенні до складу сталі хрому, алюмінію, кремнію. Ці елементи утворюють безперервну міцну оксидну плівку і підвищують електродний потенціал, тобто збільшують електропозитивність сталі. Алюміній і кремній підвищують крихкість сталі і застосовуються рідше хрому. Хром має високу схильність до пасивації в середовищах високої кислотності і аніонного складу, є основним легувальним елементом. При вмісті хрому більше 12% сталь різко змінює електродний потенціал з електронегативного (-0,6 В) на електропозитивний (+0,2 В). На поверхні утворюється щільна захисна плівка оксиду Cr_2O_3 [9].

Сталь, що містить 12 - 14% Cr, стійка проти корозії в атмосфері, морській воді, ряді кислот, лугів і солей. Окрім хрому, до складу корозійностійких сталей вводять також інші елементи - частіше нікель. З ростом вмісту хрому корозійна стійкість сталі зростає [10]. Корозійна стійкість сплавів системи Fe-Cr підпорядковується правилу Таммана. Згідно з цим правилом стрибкоподібне підвищення стійкості сплаву відбувається при частці благородних або корозійностійких атомів в сплаві, що дорівнює $n / 8$, де n - ціле число (1, 2, 3, 4, 6). Сплави Fe-Cr, що містять 11,8% Cr, мають в ґратці твердого розчину $1/8$ частку атомів хрому. Це відповідає першій граничній стійкості, яка характеризується стійкістю сплаву до розбавленої HNO_3 . При вмісті 23,7% Cr, що відповідає $2/8$ атомним часток хрому в сплаві, проявляється друга границя стійкості, що характеризується стійкістю сплаву в гарячій розведеній HNO_3 . Концентрація хрому близько 35,8%, тобто приблизно $3/8$ атомних частки хрому в сплаві, відповідає границі стійкості сплавів до таких активних середовищ, як царська вода [10].

1.2.1 Основні легувальні елементи корозійностійких сталей

Нікель забезпечує сталям і сплавам високу стійкість в слабо окислювальних і неокислювальних розчинах. У поєднанні з хромом він сприяє утворенню в сталі гомогенної структури аустеніту, що підвищує її корозійну стійкість. При цьому також зростають пластичність і в'язкість сталі [11]. Якщо використовувати нікель як матрицю сплаву замість заліза, то можна шляхом легування його деякими елементами (наприклад Cr і Mo) створити сплави, корозійностійкі в сильно агресивних середовищах (сірчана і соляна кислоти), в яких високолеговані сталі на основі заліза схильні до корозії. Так само, як і хром, при температурах близьких до температури плавлення, нікель утворює з залізом безперервний ряд твердих розчинів, що мають ГЦК-гратку (рисунок 1.1). При зниженні температури γ -твердий розчин певних концентрацій зазнає поліморфних перетворень і сплав стає двофазним, що складається з α - і γ -фаз.

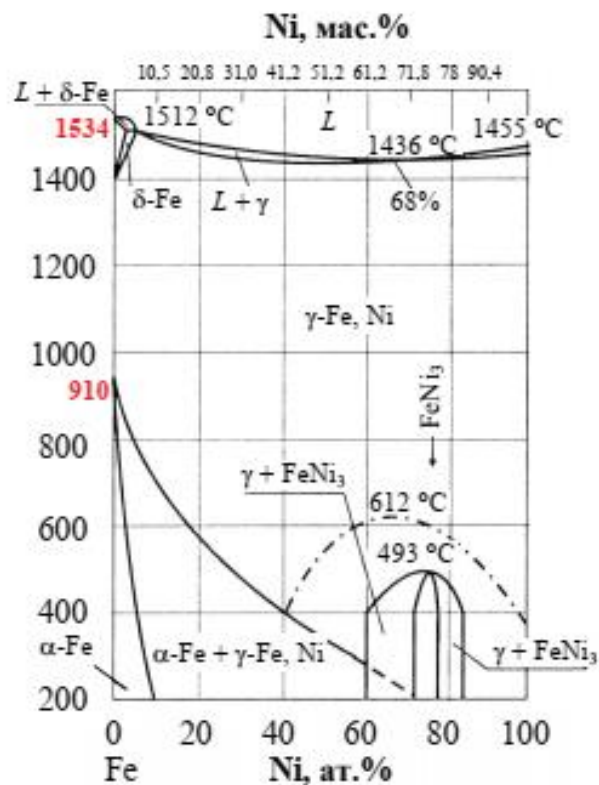


Рисунок 1.1 – Діаграма стану Fe-Ni [12]

Електрохімічна поведінка нікелю в активному стані на анодній поляризаційній кривій є два максимуми i , отже, дві тафелевських ділянки. Передбачається, що наявність другої тафелівської ділянки обумовлено тим, що в сірчаноокислих середовищах розчинення нікелю відбувається по двох паралельних шляхах: за участю сульфат-іонів і за участю молекул H_2O . Обидва процеси супроводжуються збільшенням загального струму, і кожен з них домінує у відповідній області рН. Ширина пасивної області у нікелю в кислих водних середовищах (0,43-1,35 В) істотно нижче, ніж у хрому (0,0-1,10 В), а швидкість розчинення в пасивному стані приблизно на два порядки вище.

Введення в сталь нікелю сприяє не тільки поліпшенню механічних властивостей внаслідок аустенітизації структури, а й полегшує пасивацію і підвищує стійкість пасивного стану в середовищах, що провокують розвиток таких локальних корозійних процесів, як виразкова і щілинна корозія [13].

Молібден утворює в сталях прості (MoC , Mo_2C) і складні карбіди, а Mo і W при підвищених температурах (600 -700°C) сприяють також формуванню фаз Лавеса типу Fe_2W і Fe_2Mo [14]. Молібден має ГЦК-гратку. Збільшення стійкості пасивного стану хромонікельмолібденових сталей пояснюється наявністю молібдену до складу пасивуючих шарів. Передбачається, що при потенціалах пасивної області сталей, в якій молібден піддається перепасивації, тобто розчиняється з утворенням молібден-іонів, відбувається утворення змішаних оксидів хрому і молібдену, що забезпечує більш високі захисні властивості, ніж оксид хрому. Основним недоліком хромонікельмолібденових сталей є їх низька стійкість в окислювальних середовищах. Для додання хромистим і хромонікелевим сталям більш високих характеристик міцності, їх додатково легують вольфрамом.

Ванадій є фетироутворювачем, замикає γ -область на діаграмі стану при введенні в сталь в кількості близько 1%. Його головною особливістю є здатність утворювати стабільні дрібнодисперсні карбіди в ході нормалізації з температур 1000-1050°C. У цих умовах в сталях, легуваних V, розвиваються

процеси твердіння. Утворені дрібнодисперсні карбіди V істотно підвищують міцність сталей і їх опірність повзучості. Ванадій негативно впливає на жаростійкість сталей. Для попередження утворення флокенів в сталях гарячої ковки з них після виготовлення рекомендується термообробляти за спеціальним режимом: витримка в попередньо прогрітій до 600°C печі протягом 5-6 годин з подальшою ізотермічною витримкою при температурі найменшій стійкості аустеніту. Тривалість витримки вибирають так, щоб забезпечувалося повне перетворення аустеніту і необхідне зниження вмісту H_2 в сталі.

Марганець, при концентрації 6-9%, в комбінації з нікелем забезпечує в порівнянні з хромонікелевими сталями більш високу стабільність аустеніту і більш високу межу розчинності вуглецю і азоту. Однак, на відміну від нікеля, він здатний зберігати аустенітну структуру сталі тільки при вмісті до 15% Cr; при більш високому вмісті хрому, низьковуглецеві сталі мають двофазну ($\alpha+\gamma$) або трифазну ($\alpha+\gamma+\sigma$) структуру. Тому, при необхідності вмісту в сталях більшого вмісту хрому для забезпечення необхідної корозійної стійкості, необхідно, поряд з марганцем, вводити інші аустенітутворювальні елементи або замінювати нікель марганцем лише частково.

Кремній збільшує жаростійкість хромистих нержавіючих сталей при підвищених і високих температурах. При введенні в них 2-5% Si значно підвищується корозійна стійкість. У промисловості поширені сталі, які містять поряд з Cr також Si і Al (сільхроми тощо).

Алюміній сприяє збільшенню окислостійкості хромистих нержавіючих сталей і їх електроопору. Сталі цієї групи зі зниженим вмістом вуглецю ($<0,06\%$) використовують на практиці як сплави високого омичного опору (наприклад, фехраль, хромаль) замість ніхромов, які є коштовними, тому що містять багато нікелю.

Титан і ніобій є феритоутворювачами значно звужують γ -область на діаграмі стану Fe-Cr-C і підвищують критичні точки A_C і A_{C3} . Крім того, вони

сприяють утворенню карбідів в нержавіючих і кислотостійких сталях і тим самим збільшують стійкість останніх до міжкристалітної корозії (МКК). NbC більш стійкий при температурах вище 1000-1050°C. Ці елементи також підвищують жароміцність хромистих нержавіючих сталей.

Вуглець міститься у корозійностійких сталях, особливо в інструментальних корозійностійких сталях, істотно розширює область існування аустеніту (рисунок 1.2).

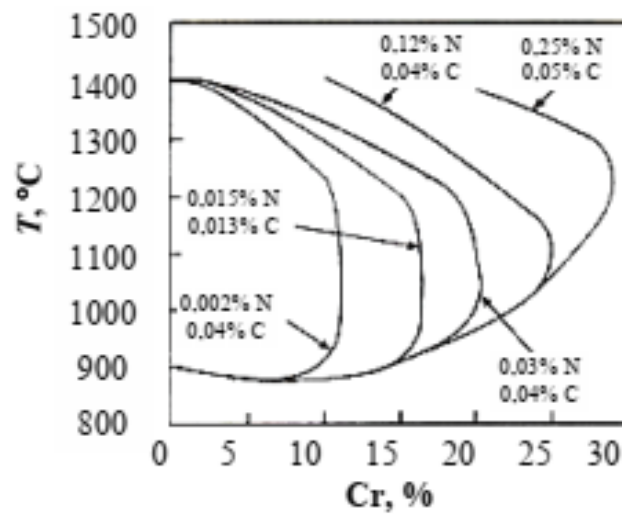


Рисунок 1.2 – Розширення аустенітної області в системі Fe - Cr - C при збільшенні вмісту вуглецю і азоту

Так, 0,6% C забезпечує існування аустеніту до вмісту в сталі 28% Cr. З точки зору корозійностійких властивостей вуглець є шкідливою домішкою, так як він утворює карбіди хрому (типу Cr_{23}C_6), які збіднюють γ -твердий розчин хромом. Азот так само, як вуглець, є сильним аустенітоутворювальним елементом. Він використовується для зміцнення γ -твердого розчину, причому сильніше, ніж вуглець. Азот також уповільнює виділення карбідних і інтерметалідних фаз з аустеніту і підвищує стійкість проти пітінгової корозії.

Елементи S, Pb, Se вводять в сплави для підвищення механічної оброблюваності. Мікродобавки РЗМ (бор і цирконій) покращують механічні властивості.

1.2.2 Принципи корозійностійкого легування

На основі сучасних уявлень про корозію і пасивності можна зробити наступні висновки із корозійностійкого легування сплавів:

1) не існує одного певного способу створення корозійностійких сталей. Залежно від умов передбачуваної експлуатації способи створення стійких сплавів можуть істотно відрізнятися;

2) підвищення термодинамічної стабільності сплаву або зниження його катодної ефективності легуванням - найменш перспективні напрямки для отримання конструкційних корозійностійких сталей. Доцільніше використовувати легування присадками, що полегшують пасивацію основи сплаву (тобто скористатися наявними можливостями самопасивації в даних умовах експлуатації) і забезпечують зниження швидкості розчинення в пасивному стані;

3) можливі два види добавок, що підвищують пасивацію сплаву, - безпосередньо підвищують здатність до пасивації основи (анодну поляризованість) сплаву і підвищують катодну ефективність сплаву. Одночасне легування сплаву компонентами, гальмуючий анодний процес і підвищують ефективність катодного процесу, найбільш сприятливо. Прикладом подібного легування можуть служити високохромисті корозійностійкі сталі, модифіковані катодними присадками 0,1-0,3% Pd або Ru;

4) легування, безпосередньо підвищує анодний п основи сплаву, вимагає введення значного легувального компонента (15-20%, а іноді 30-50%), що може докорінно міняти структуру, технологію і властивості сплавів. Основні умови при легуванні, підвищує анодну пасивність сплаву, полягають в наступному: легувальний компонент повинен мати більш високу

в порівнянні з металом основи і КС в пасивному стані, утворювати тверді розчини з основою сплаву в досить широкій області концентрацій, погіршувати фізичні, механічні та технологічні властивості сплаву понад допустимих меж;

5) катодного легування (модифікування) - введення в сплав невеликих катодних добавок (0,1-0,3%) - помітно не змінює умови отримання сплавів і його технологічних і механічних властивостей тому простіше, хоча і пов'язане з витратою на дорогу присадку.

Основні умови для отримання позитивного ефекту від катодного легування:

- принципова можливість переходу основи сплаву в даних умовах в пасивний стан;
- не дуже великі критичні струми $i_{\text{к}}$ основного металу, щось б вони могли бути перекриті струмами катодного процесу при ЕП;
- негативні значення ЕП і ЕПП основного компонента сплаву, достатні для того, щоб вводиться катодний компонент міг змістити загальний потенціал корозії сплаву ЕКОР в область більш позитивних значень;
- досить високе значення потенціалів транспасивності (ЕТ) або пітінгоутворення (ЕПТ) основи сплаву;
- катодний добавка повинна бути зменшена перенапруження катодного процесу (перенапруження виділення водню) і бути корозійностійкою в даних умовах;

б) якщо допустити, що атоми легувального компонента в значній-мірі зберігають електрохімічну індивідуальність при утворенні сплаву, то поверхня сплаву навіть у твердого розчину має ЕХ-гетерогенність (на атомному рівні). Оскільки атоми різних компонентів твердого розчину неідентичні за КС на поверхні сплаву, в початковий період взаємодії з корозійним середовищем формується їх певний структурний стан;

7) в залежності від умов корозії, сформована на поверхні структура може прискорювати або сповільнювати корозію сплаву.

Поверхня буде корозійностійкою, якщо атоми більш стійкого компонента блокують активні ділянки (блокуючий механізм), у поверхневому шарі сплаву рівномірно накопичуються атоми стійкого або самопасивального компонента (криючий механізм) або якщо локальне (дискретне) накопичення стійкого компонента сприяє пасивації основи сплаву (пасивуючий механізм);

8) Корозійнастійкість сплавів, як правило, встановлюється не відразу, а після деякої взаємодії з корозійним середовищем, при якому виходить перебудова його поверхневого шару. Для більш стійких сплавів така перебудова порівняно швидко завершується утворенням їх одного або декількох атомних захисних шарів з підвищеним вмістом у них стійкого легувального компонента. Для менш стійких сплавів формування поверхневого шару може бути тривалим і призводити до більш глибокої зміни поверхні і утворенню потовщених шарів, зазвичай мають слабкі захисні властивості;

9) сплави гетерогенні (двофазні або багатофазні, із надлишковими фазами) у загальному випадку менш бажані в якості корозійностійких, ніж гомогенні тверді розчини або тим більше аморфні сплави. Фазова або концентраційна неоднорідність (ізоляція) знижують КС промислових сплавів частіше тому, що на таких неоднорідних поверхнях зазвичай встановлюється менш досконалий пасивний стан, а це призводить до розвитку найбільш небезпечних видів локальної корозії (ПК, МКК, КРН). Однак якщо, при корозії в активному стані включення, зміцнювальні фази сплавів менш стійкі (анооди) по відношенню до матриці сплаву, то вони можуть і не знижувати помітно КС сплаву. В умовах ж пасивації основи сплаву, катодні включення можуть навіть їй сприяти, якщо в даних умовах пасивація можлива;

10) для створення сплавів з підвищеною КС в сильно агресивних середовищах важливо не тільки стійко пасивувати сплав, але і зменшують швидкість його розчинення в пасивному стані.

1.2.3 Вплив легування на пасивацію Fe-Cr-сплавів

Легування є ефективним засобом підвищення стійкості металів до впливу агресивних середовищ як при звичайних, так і при підвищених температурах. Так, легування заліза хромом або алюмінієм сприяє підвищенню стійкості до окислення, а введення невеликої кількості міді, хрому або нікелю послабшають стійкість в атмосфері. Легування особливо ефективно підвищує корозійну стійкість, якщо відбувається сплавлення активного металу з пасивуючим і в результаті утворюється пасивний сплав. Легувальний елемент може зменшувати критичну густину струму пасивації i_p (наприклад, в сплаві Fe-Cr — рисунок 1.3).

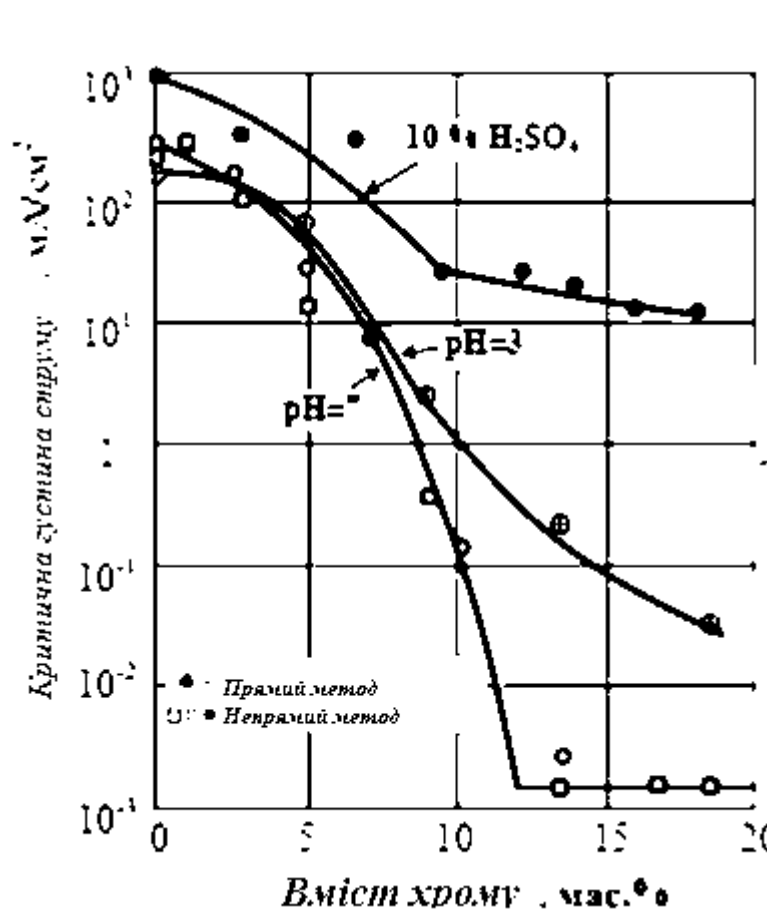


Рисунок 1.3 - Критична густина струму пасивації (i_p) сплавів Fe-Cr в деаерірованной 3% розчині Na_2SO_4 (pH = 3 і 7) і в 10% H_2SO_4 при 25 ° C [15]

У водних розчинах (насичених киснем) сплави Fe–Cr, містять більше 12% Cr, мають настільки низький $i_{\text{п}}$, що практично будь-який корозійний струм перевищує його значення і призводить до пасивації. Аналогічним чином можна зменшити на порядок швидкість корозії при сплавці невеликої кількості благородного металу — катодного добавки з активним металом чи сплавом. При цьому також утворюється легкопасивуючий сплав. Благородний метал полегшує протікання катодного процесу і тим самим підвищує густину анодного струму до критичного значення, необхідно для пасивації. Прикладом може служити сталь Cr18Ni8 легована паладієм (рисунок 1.4).

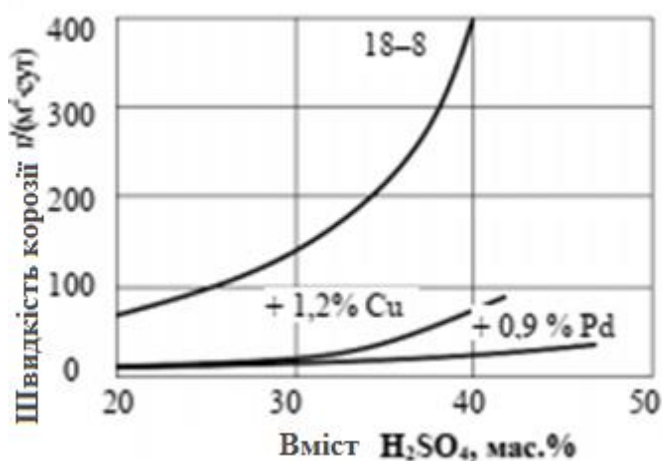


Рисунок 1.4 - Швидкості корозії (K) в H_2SO_4 нержавіючих сталей типу Cr18Ni8, легованих Cu або Pd, протягом випробувань 360 год при 20°C [15]

Утворені сплави стійкі в сірчаній кислоті при таких концентраціях і температурах, при яких чисті метали швидко руйнуються. Аналогічну функцію може виконувати в сталі і вуглець, утворюючи катодні ділянки цементиту Fe_3C , на яких швидко відновлюються HNO_3 (або HNO_2 , присутня в HNO_3). У результаті цього пасивність сталі встановлюється при менших концентраціях кислоти, ніж у чистого заліза. Відзначимо, що присутність будь-якої сторонньої фази (наприклад, інтерметалідних з'єднань) може призвести до пасивації багатокomпонентних сплавів по такому ж механізму.

В гомогенних однофазних сплавах пасивність зазвичай стає при співвідношенні компонентів, характерному для кожного сплаву, і залежить також від корозійного середовища. Для Cr-Ni-сплавів границя стійкості становить 30-40% Ni; для сплавів Cr-Co, Cr-Ni і Cr-Fe - відповідно 8, 14 і 12% Cr. Корозійностійкі сталі являють собою сплави на основі заліза, які містять не менше 12% Cr. Аналогічні чистому хрому вони пасивні в багатьох середовищах і є найбільш важливими в практичному відношенні різновидом пасивних сплавів. На рисунку 1.5 приведена поляризаційна схема впливу легувальних добавок на пасивуємість і КС Fe-Cr-сплавів - основи всіх корозійностійких сталей.

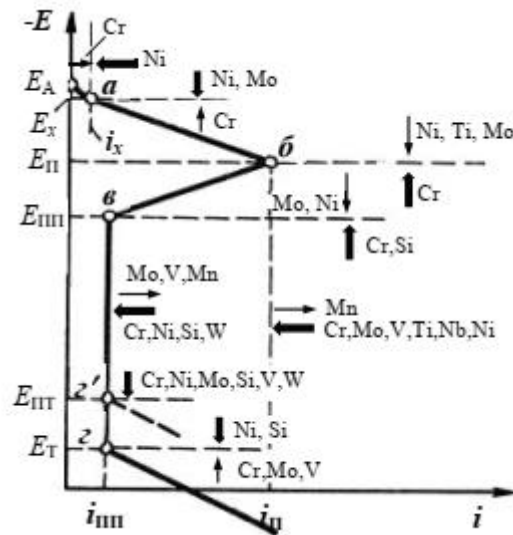


Рисунок 1.5 - Вплив легувальних елементів на положення критичних точок анодної поляризаційної кривої Fe-Cr-сплавів в неокислювальній кислоті типу H_2SO_4 без активуючих іонів (Cl^- , Br^-)

Відомо, що корозійна система пасивується тим легше, чим менше $i_{\text{п}}$ і $E_{\text{п}}$, тобто чим лівіше і вище зміщена точка б.

Перевищення вмісту хрому найбільшою мірою сприяє підвищенню пасивації цієї системи, а отже, і корозійної стійкості. Тільки точка а (потенціал корозії $E_{\text{хі}}$ струм розчинення їх в активному стані) і точка г (потенціал транспасивності) можуть зміщуватися під впливом хрому в

негативну сторону, викликаючи прискорення розчинення в активній області потенціалів або в області перепасивації зі збільшенням вмісту хрому [16-19].

За діаграмою видно, що нікель, навпаки, декілька підвищує стійкість цієї системи в активному стані. Він погіршує пасивацію, зміщуючи точки пасивації b і повної пасивації в позитивну сторону, але трохи знижує i_p і $i_{пл}$, що сприятливо з точки зору корозійної стійкості. Таким чином, нікель в деяких умовах може дещо ускладнювати пасивацію, але іноді може підвищувати стійкість в пасивному стані сплавів Fe - Cr. Нікель входить до складу більшості корозійностійких сталей і в основному відповідає за утворення аустенітної структури і поліпшення технологічної і міцнісних властивостей цих сталей. Молібден зміщує потенціал пітінгової пасивної плівки $E_{пт}$ (точка g) в позитивну сторону, що підвищує стійкість до пітінгової корозії. З наведених спрощених схем можна бачити, як складно і неоднозначно дію легувальних компонентів на пасивацію і корозійну стійкість Fe-Cr- сплавів. Якщо врахувати залежність пасивації і корозійну стійкість від конкретних умов (склад розчину, температура) і наявності в сплаві не одного, а декількох легувальних компонентів, то залежності будуть набагато складніше. Очевидно, що жодна з найпростіших схем не може дати вичерпного уявлення про корозійну поведінку складнолегованих сплавів в різних умовах. Ці дані можна отримати тільки в результаті дослідження корозійних та електрохімічних властивостей характерних класів сплавів в конкретних умовах експлуатації [20-23].

1.3 Типи корозійностійких сталей

Класифікація корозійностійких сталей базується на їх структурі, що визначає їх основні фізичні і технологічні властивості. Корозійностійкі сталі, в залежності від співвідношення ферито- (Cr, Mo, W, Si, Ti, Al, Nb, V) і

аустенітоутворювальних (Ni, Mn, Co, Cu, C, N) легувальних елементів, підрозділяють на феритні (Ф), феритно-мартенситні (Ф-М), мартенситні (М), аустенітні (А), аустенітно-феритні (А-Ф) і аустенітно-мартенситні (А-М).

Згідно з американською системою класифікацією корозійностійких сталей, розрізняють три основних класу корозійностійких сталей в залежності від структури. Кожний клас включає ряд сплавів, які відрізняються за складом, але мають схожі фізичні, магнітні та корозійні властивості. Основними класами нержавіючих сталей є мартенситний, феритний і аустенітний [24].

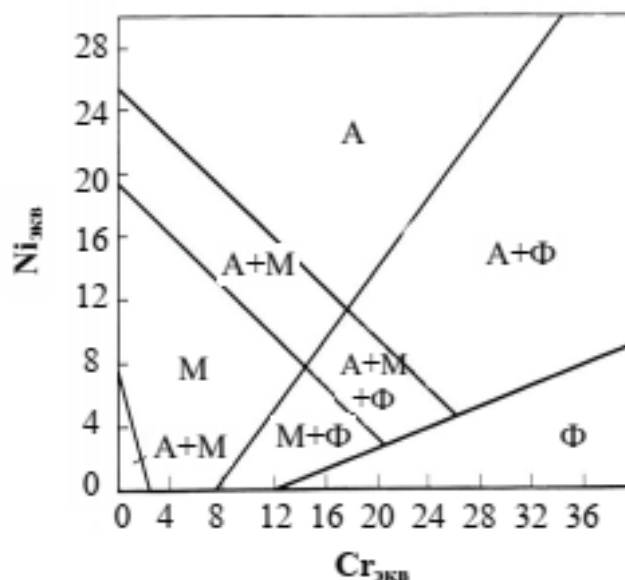


Рисунок 1.6 – Діаграма Шефлера

При одночасному введенні феритоутворювальних і аустенітоутворювальних елементів в сталі, в них можуть спостерігатися різні структурні і фазові складові. Для визначення фазового складу металу зварних швів, А. Шефлер побудував структурну діаграму, яка була модифікована Шнейдером (рисунок 1.6) [25-29].

По них можна орієнтовно визначити фазовий склад сталі в залежності від її складу, об'єднуючи дії аустенітоутворювальних добавок в Ni-еквіваленті і феритоутворювальних — в Cr еквіваленті. Діаграма показує

нерівноважні структури сталей після швидкого охолодження з 1050 °С до кімнатної температури. Відносний внесок кожного елемента встановлення структури визначається Ni- або Cr-еквівалентом:

$$Ni_{\text{экв}} = Ni + Co + 30 C + 25 N + 0,5 Mn + 0,3 Cu \quad (1)$$

$$Cr_{\text{экв}} = Cr + 2 Si + 1,5 Mo + 5 V + 5,5 Al + 1,5 Nb + 1,5 Ti + 0,75W$$

Одна з пізніх структурних діаграм корозійно-стійких сталей, запропонована Я. М. Потаком і Е. А. Сагальович, застосовна до загартованої сталі (рисунок 1.7). Вона відповідає структурі сталей після гартування від температур 1050-1100°C, прийнятих в практиці при термічній обробці. На відміну від діаграми А. Шеффлера, її виконання вимагає підрахунку еквівалента феритоутворення E_F з урахуванням феритоутворювальної здатності легувальних елементів і еквіваленту мартенситоутворення E_M з врахуванням впливу легувальних елементів на положення мартенситної точки. Крім того, пропонується враховувати обов'язкову присутність в корозійностійких сталях азоту і вуглецю в кількості 0,02–0,04 %, для чого в лівій нижній частини діаграми наведена графічна залежність розрахункових коефіцієнтів K_F - K_M від сумарного вмісту азоту і вуглецю.

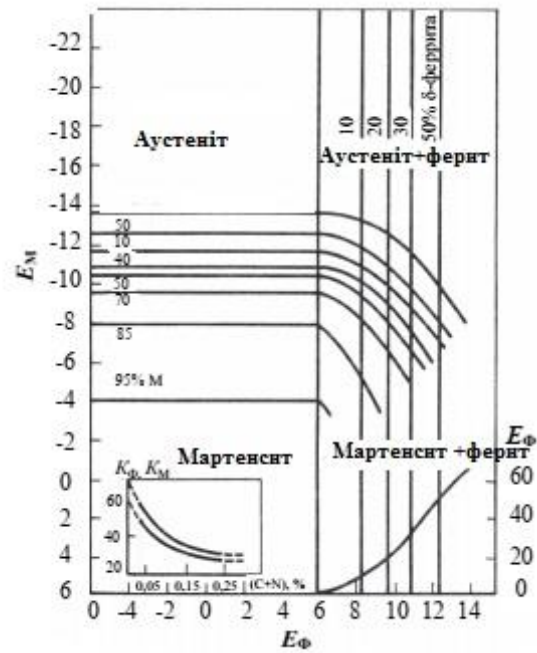


Рисунок 1.7 – Структурна діаграма корозійностійких сталей

Підрахунок еквівалентів феритоутворення і мартенситоутворення може бути проведений за такими формулами:

$$E_F = Cr - 1,5 Ni + 2 Si - 0,75 Mn - K_F (C + N) + Mo + 4Al + 4Ti + 1,5V + 0,5 W + 0,9 Nb - 0,6 Co - Cu 0,5$$

$$E_M = 20 - [Cr + 1,5 Ni + 0,7 Si + 0,75 Mn + K_M (C + N) + 0,6Mo + 1,5V + 1,1 W + 0,2 Co + 0,2 Cu + 1,9 Ti - 0,1 Al]$$

Істотно, що в сталях аустенітно-мартенситного класу, при значенні $E_F > 6$, діаграма передбачає наявність у загартованому стані δ -фериту.

В корозійностійких сталях, що мають температуру початку мартенситного перетворення M_H вище кімнатної температури, при гартування частина аустеніту перетворюється в мартенсит, а при обробці холодом це перетворення спостерігається і в більш стабільних сталях, M_H яких нижче кімнатної температури [30].

Якщо у сталі температура початку утворення мартенситу деформації M_d вище кімнатної температури (зазвичай M_d вище M_H), то при деформації нижче M_d в структурі сталі утворюється мартенсит деформації. Для

аустенітних сталей температура початку мартенситного перетворення може бути визначена зі співвідношення (Т. Гладмен, В. Холмс, Ф. Пікерінг)

$$M_H = 502 - 810 C - 1230 N - 13 Mn - 30 Ni - 12 Cr - 54 Cu - 46 Mo$$

Для визначення температури МД30, при якій 50% мартенситу утворюється під впливом деформації в 30%, запропоновано рівняння:

$$M_{Д30} = 497 - 462 (C + N) - 9,2 Si - 8,1 Mn - 13,7 Cr - 20 Ni - 18,5 Mo$$

Ці співвідношення використовують для оцінки здатності до зміцнення при пластичній деформації.

Аустенітні сталі. Дана група нержавіючих сталей використовується найбільш широко. Дані матеріали використовуються у виробничому процесі АСО і є ідеальними для застосування при переробці харчових продуктів, молока, пивоваріння, фармацевтичної, хімічної та нафтохімічної промисловості. Нержавіючі сталі містять близько 18 % хрому і 10 % нікелю і демонструють чудовий опір корозії. Там, де вимагається особливо високий опір корозії в екстремальних умовах, особливо там, де є хлориди, використовуються сталі, що містять близько 17 % хрому, 12 % нікелю і 2,2 % молібдену. Вона пластична, має широкий спектр температурних режимів, немагнітні властивості і хорошу здатність до зварювання [30-34].

Феритні сталі. Мають високу корозійну стійкість, але набагато менш надійні, ніж сталі аустенітного класу. Найбільш поширеними видами таких сталей є сплави з вмістом хрому 12% і 17%. Сплави з вмістом хрому близько 12% використовуються, в основному, в будівництві, присутні у бетонних конструкціях будівель, в несівних конструкціях, а сталі, що містять близько 17% хрому, що використовуються в домашньому господарстві, наприклад: бойлерах, пральних машинах, а так само декоративних елементах.

Мартенситні сталі. Не такі стійкі до корозії як інші два класи, але надзвичайно міцні і пружні також добре піддаються обробці різанням, і можуть бути зміцнені високотемпературною обробкою. Мартенситні сталі містять хрому (12 - 14)%, молібдену (0,2 - 1)%, відсутній нікель, і приблизно

0,1 - 1% вуглецю (надає міцності, проте матеріал більш схильний до ламкості). Вони загартовані і магнітні [35-38].

1.4 Аустенітні корозійностійкі сталі

Аустенітні сталі отримали свою назву завдяки наявності великої кількості аустенітної фази, або γ -фазі, яка існує в чистому залізі у вигляді стабільної структури в температурному інтервалі 910-1400°C. Ця фаза має ГЦК -гратку, немагнитна і легко деформується. Вона є основною або єдиною фазою аустенітних корозійностійких сталей при кімнатній температурі і, в залежності від складу, має стабільну або метастабільну структуру. Збільшення вмісту нікелю супроводжується підвищенням стабільності аустеніту. Легування марганцем, кобальтом, вуглецем і азотом також сприяє збереженню при гартуванні і стабілізації аустеніту. Аустенітні Cr–Ni-сталі зміцнюються холодною обробкою, але не термічною. Аустеніт в метастабільних сталях при холодній обробці частково переходить в мартенсит, з-за чого вони стають магнітними. Мартенситним перетворенням пояснюється значний ступінь зміцнення при механічній обробці, обумовлена як самим поліморфним перетворенням, так і успадкованою від аустеніту дефектами кристалічної будови. В той же час при холодній обробці слабо зміцнюються, а якщо і стають магнітними, то в дуже малій мірі. Сплави з підвищеним вмістом хрому і нікелю мають практично стабільну аустенітну структуру і при холодній обробці не перетворюються в мартенсит і не стають магнітними. Найкращу стійкість до загальної корозії мають нікельвмістні аустенітні сталі. Зазвичай корозійна стійкість сталей цього класу тим краще, чим вищий вміст нікелю. Для створення оптимальних корозійних властивостей, аустенітна сталь повинна бути загартована у воді або на

повітрі від температур 1050-1100°C. Аустеніт в сталі, що містять молібден, мають підвищену корозійну стійкість до пітингової та щілинної корозії.

Введення в сталь нікелю сильно розширює γ -область, знижує температуру мартенситного перетворення і при 8 % Ni сталь з 18 % Cr і 0,1%С переходить у клас аустенітних. Мартенситна точка M_H при охолодженні для цих сталей лежить дещо нижче кімнатній температури, а мартенситна точка при деформації M_d — вище. Мартенсит може бути отриманий в процесі пластичної деформації або обробки холодом. Важливо відзначити, що склад Cr18Ni8 при 0,1 % C, згідно діаграми Шефлера, вимагає мінімальної кількості нікелю для забезпечення аустенітної структури і є тим самим найбільш економічним, що і визначило широку поширеність сталей цього типу. Основною перевагою сталей аустенітного класу є їх високі службові характеристики (міцність, пластичність, корозійна стійкість в більшості робочих середовищ) і задовільна технологічність. Тому аустенітні корозійностійкі сталі знайшли широке застосування в якості конструкційного матеріалу в різноманітних галузях машинобудування. В хромонікелевих аустенітних сталях промислових плавов можливі такі фазові перетворення, що формують їх структуру і властивості:

- 1) утворення карбідних фаз і σ -фази при нагріванні в інтервалі 650-850°C;
- 2) розчинення цих фаз при нагріванні до більш високих температур (1100-1200 °C);
- 3) утворення δ -фериту при гартуванні після високотемпературного нагрівання;
- 4) утворення α - та ε -мартенситних фаз при охолодженні та пластичній деформації.

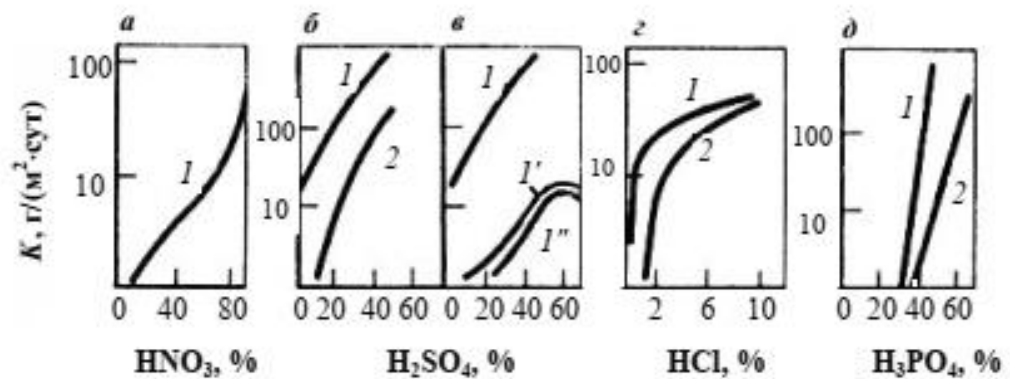
Виділення карбідних фаз (карбідів хрому) найбільш часто призводить до МКК. На стійкість сталі до МКК впливають C, N, Cr, Ni . При утворенні σ -фази спостерігається різке охрупчення сталей. Утворення в аустенітній Cr–Ni-сталі δ -ферит при високих стиснення і швидкостях деформування

погіршує технологічність в умовах гарячої пластичної деформації внаслідок різних властивостей σ_B , ТКЛР, ТРЕКР аустеніту і фериту.

Утворення в структурі δ -фериту знижує мартенситну точку, оскільки при його утворенні відбувається перерозподіл легувальних елементів і γ -фаза збагачується аустенітоутворювальними елементами. Ймовірність мартенситного перетворення, що викликане охолодженням або пластичною деформацією, залежить від вмісту таких легувальних елементів, як C, N, Nb і Ti. Перебуваючи в γ -твердому розчині, ніобій і титан знижують температуру мартенситного перетворення, а при виділенні їх у складі карбонітридних фаз, аустеніт збіднюється вуглецем і азотом і мартенситна точка підвищується.

Механічні властивості аустенітних сталей коливаються у межах: $\sigma_{0,2} = 150 \dots 240$ МПа, $\sigma_B = 500 \dots 650$ МПа, $\delta = 45 \dots 70$ %, КСУ = 1,1...1,8 кДж/м². Діапазони значень цих характеристик визначаються режимом термообробки і маркою сталі. Аустенітні сталі зміцнюються холодною деформацією, $\sigma_{0,2}$ деяких можна підвищити легуванням азотом. Аустенітні сталі стійкі як у промисловій, так і в морській атмосферах. У водних середовищах концентрація хлоридів — головний фактор їх активності по відношенню до сталей. На погіршення корозійної стійкості цих сталей суттєво впливає зменшення концентрації кисню і РН середовища. В цих умовах корозійностійкі сталі можуть піддаватися пітінговій корозії і щілинній корозії. Аустенітні сталі, особливо з молібденом, щодо стійкості до пітінгової корозії у морській воді на відкритій поверхні. Однак при обростанні морськими організмами або в зазорах конструкцій вони можуть піддатися ПК і ЦК. У менш солоною воді, наприклад річній, небезпека корозії зменшується. Аустенітні Cr–Ni-сталі широко використовуються у виробництві HNO₃ і там, де працюють з її розчинами. У розчинах HNO₃, як і в інших агресивних середовищах, залежності швидкості корозії корозійностійких сталей від потенціалу аналогічні, мають ділянки активного, пасивного станів і перепасивації. Висока стійкість цих сталей в HNO₃

обумовлена тим, що їх потенціал корозії знаходиться в пасивній області. Якщо ж сталі знаходяться в активному або частково пасивованому стані, наприклад, контактуючи з металами, мають негативний потенціал, вони можуть піддаватися інтенсивній корозії. При підвищенні окисних властивостей HNO_3 (6-8 Н розчини при кипінні, з добавками біхроматів або інших сильних окислювачів), потенціал зміщується в область перепасивації та корозія сталі сильно зростає (рисунок 1.8 а). Корозійна стійкість Cr–Ni-сталей в розчинах неокислювальних кислот, можна підвищити, легуючи їх молібденом (рисунок 1.8).



а - 20°C; б - з добавками HNO_3 (I'- 0,5%, I''- 1%) в- при 100°C; г - 20°C
д - $T_{\text{кип}}$

Рисунок 1.8 - Швидкість корозії сталей Cr18Ni10 і Cr18Ni12Mo2,5 в розчинах кислот при температурах кипіння [7]

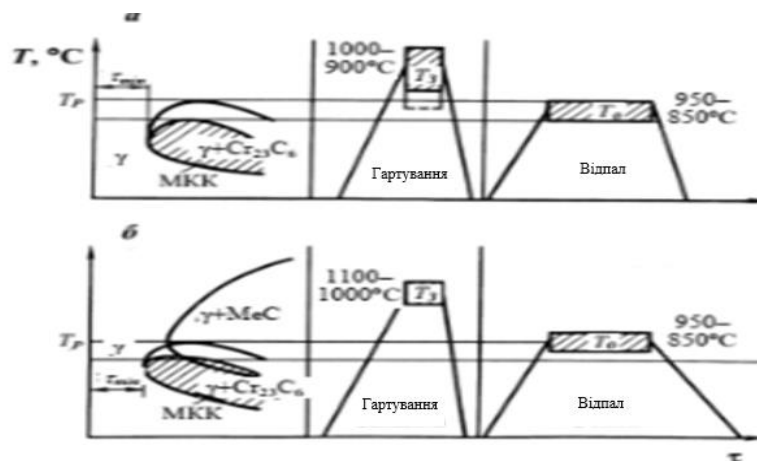
При цьому знижується швидкість активного розчинення, збільшується схильність сталей до пасивації (знижується i_P та i_{PP}), підвищується стійкість пасивного стану. Сталі типу Cr18Ni12 з 2-3 % Мо більш стійкі в середовищах з хлор-іонами при невисоких температурах. Для збільшення стійкості сталей в розчинах з хлор-іонами, при підвищених температурах потрібні концентрації молібдену до 5-6%. У H_2SO_4 Cr–Ni-сталі стійкі тільки в дуже розведених розчинах при кімнатній температурі (рис. 1.8., б). Молібден

підвищує їх стійкість за рахунок збереження пасивного стану в розбавлених розчинах і зниження швидкості розчинення в активному стані. Корозійностійкі сталі в H_2SO_4 можна запасивувати добавкою в розчин окисників, наприклад HNO_3 , значно розширивши область концентрацій і температур, при яких сталь корозійностійка (рис. 1.8, в). Для пасивації і підвищення стійкості сталі використовують H_2SO_4 і анодний захист. Оскільки середовище HCl дуже агресивне до сталей типу Cr18Ni10 і Cr18Ni12Mo2,5 (рис. 1.8, г), їх використовують лише в розбавлених розчинах HCl при низьких температурах. Аустенітні Cr-Ni -стали стійкі в H_3PO_4 будь-якої концентрації до 80°C , але при т кип гранична концентрація 30-40 % (рис. 1.8, д). В оцтовій кислоті (CH_3COOH) від 10% до концентрованої при $T_{\text{кип}}$ швидкість корозії Cr-Ni -сталі може досягати 1 мм/рік. Сталь з молібденом більш стійка, і її швидкість корозії не перевищує 0,1 мм / г. в киплячій 80% CH_3COOH . Мурашина, лимонна, щавлева, молочна кислоти при високих концентраціях і підвищених температурах також можуть викликати значну корозію Cr-Ni -сталей, тому в них краще застосовувати сталі з молібденом.

У менш корозійно-активних органічних кислотах: яблучної, пікринової, винної, а також в фенолі, технічному креозолі - навіть при 100°C можна використовувати сталь без молібдену. Аустенітні сталі стійкі в їдких лугах при помірно високих температурах. Корозійна стійкість сталей знижується в міцних лугах, при $T_{\text{кип}}$ NH_4OH не спричиняє корозії сталей. Аустенітні корозійностійкі сталі стійкі в розчинах солей, за винятком солей галоїдоводневих кислот, при певних концентраціях спричиняючих пітингову корозію. З аустенітних сталей виготовляють обладнання для целюлозно-паперової промисловості. Основним агресивним компонентом в цих технологічних середовищах вважається SO_2 , володіючи здатністю в залежності від умов бути окиснювачем, відновлюючись до S і H_2S , або відновником, окислюючись до сульфатів або H_2SO_4 [39]. При підвищеній агресивності розчину (висока кислотність, температура) оксиди сірки

прискорюють корозію сталі, а в менш жорстких умовах вони можуть надавати інгібуючу дію.

Метою термічної обробки є отримання аустенітної структури, зняття внутрішніх напружень і усунення схильності до міжкристалітної корозії, яка виникає під час зварювання, гарячої обробки тиском або інших технологічних операціях. Термічна обробка нестабілізованих титаном і ніобієм хромонікелевих аустенітних сталей (наприклад, 12Х18Н9) полягає в гартуванні з однофазної аустенітної області в воді (гарт без поліморфного перетворення) (рис. 1.9, а). Вважається, що гартування бажано проводити від температур трохи вище температури розчинення хромистих карбідів (T_P), причому чим вищий вміст вуглецю в сталі, тим від більш високих температур проводять гартування [40].



а - нестабілізованих; б - стабілізованих титаном і ніобієм

Рисунок 1.9 - Схема термічної обробки аустенітних корозійностійких сталей [12]

Сталі, стабілізовані титаном або ніобієм, гартують з двофазної області аустеніту і спеціальних карбідів TiC (або NbC), причому температура гарту не залежить від змісту вуглецю й становить зазвичай 1000-1100°C, найчастіше 1050°C (рис. 1.9, б). Більш високі температури недоцільні через можливий ріст зерна і початку розчинення спеціальних карбідів. Після гартування, сталі набувають оптимального поєднання механічних характеристик і корозійних властивостей.

Недоліком гартування є необхідність нагрівання до високих температур, швидкого охолодження, що часто буває важко технологічно здійснити і викликає викривлення конструкції. Метою стабілізаційного відпалу для сталей без титану і ніобію – є підвищення концентрації хрому на границі аустеніт-карбід, що в свою чергу підвищує опір сталі до міжкристалітної корозії. Незважаючи на присутність карбідів хрому після відпалу при 850-950°C, сталі не схильні до міжкристалітної корозії. Для сталей, легованих титаном і ніобієм, в процесі відпалу можливо розчинення карбідів хрому з утворенням спеціальних карбідів TiC або NbC, що також усуває схильність до міжкристалітної корозії. Температура стабілізуючого відпалу зазвичай становить 850-950°C. Відпал допускає більш повільне охолодження зазвичай на повітрі, і він більш ефективний для стабілізованих сталей. Добре збалансований основний склад сталей типу Cr18Ni (8-10) з найбільш поширених Cr-Ni-корозійностійких аустенітних сталей забезпечує їм стійкість в багатьох корозійних середовищах, високу пластичність (навіть при самих низьких температурах) і зварюваність. Легування сталей покращує їх корозійну стійкість, технологічні і механічні властивості.

На рис. 1.10 наведені вітчизняні марки модифікацій сталі 12X18H9 зі спеціальними властивостями. Наприклад, 2-3% Мо підвищує стійкість в агресивних середовищах, що містять Cl⁻. Аналогічно впливає легування кремнію, ванадію, ренію, азоту. Збільшення вмісту кремнію до 5% підвищує стійкість Cr-Ni-сталей в концентрованій HNO₃. Титан і ніобій, звязуючи вуглець в стійкі карбіди, перешкоджають виведенню хрому з твердого розчину, знижують схильність до МКК і покращують зварювання сталей. З цією ж метою знижують вміст вуглецю з 0,06-0,15% до 0,02-0,03%. Вводячи 1% азоту і менше кількості марганцю, зберігають аустенітну структуру сталі при значному зниженні вмісту дефіцитного нікелю. Збільшення вмісту нікелю до 20 і навіть до 35%, молібдену і міді до 3,0% значно підвищує корозійну стійкість цих сталей в гарячій кислоті H₂SO₄.

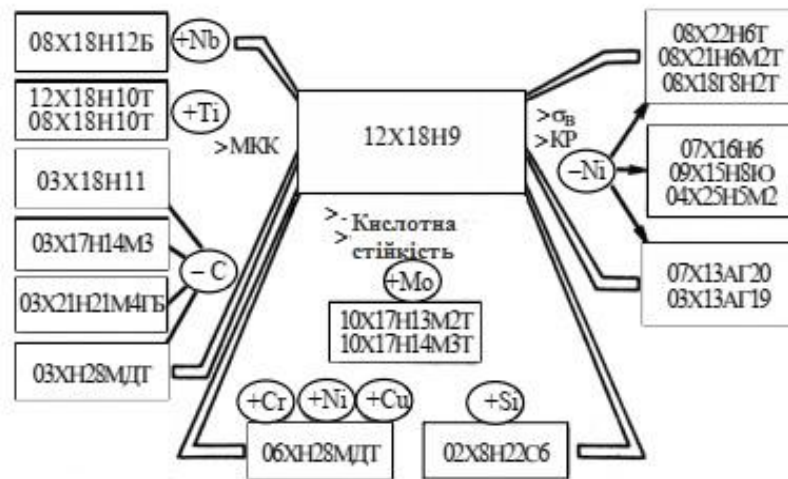


Рисунок 1.10 - Модифікації аустенітної сталі 12Х18Н9 для отримання сталей із спеціальними властивостями [7]

Зниження вмісту нікелю до 2-6%, додавання міді, титану і алюмінію призводить до появи мартенситної структури і здатності до дисперсійного зміцнення сталі. Добавки сірки або селену покращують оброблюваність сталей.

Найбільший недолік аустенітних нержавіючих сталей, особливо різко відмічається останнім часом (в механічно напружених конструкціях), - це схильність багатьох аустенітних сталей до крихкого руйнування частіше в хлоридних розчинах в зоні розтягуючих напружень (зовнішніх і внутрішніх, навіть при $\sigma < \sigma_{0,2}$) [40-44].

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Сталь 12X18H10T та її отримання

В роботі досліджуються поковки із корозійностійкої сталі 12X18H10T, хімічний склад наведений в таблиці 2.1. Основними легувальними елементами є хром та нікель, що забезпечують сталі корозійностійкі властивості. Сталь належить до аустенітного класу.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі 12X18H10T

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	W	V	Mo	Ti	Al	Cu	Nb	N	B
Згідно вимог ТП 1428-15															
0,12	≤2,0	≤0,8	≤0,04	≤0,015	17,0-19,0	10,0-11,0	≤0,2	≤0,2	≤0,3	0,6	-	0,3	-	-	0,0015
Згідно плавки А04985															
0,12	1,42	0,29	0,038	0,10	17,11	9,34	0,11	0,06	0,23	0,54	0,063	0,29	0,02	0,013	0,001

*вміст нікелю із урахуванням допуску

Сталь виплавляється на ПАТ «Дніпроспецсталь» температура розливання 1546°C, технологічна схема виплавки включає такі стадії: 1) виплавку металу-продукту із присаткою науглецювання, комплексних розкислювачей, сумішу твєвердих шлакоутворювальних матеріалів ШОС14; 2) практично повне скачування шлаку, що сформувався в ковші; 3) наступну обробку металу з присаткою розкислювачей, леувальних елементів. Тривалість обробки 76 хв (вимоги ТИ 143-С-95-12 не більше 120 хв).

Згідно робочої карти и журналів нагріву: нагрів під ковку в піч – температура 700°C , витримка 2 год 30хв. Далі підвищення температури за 11 год (по 40 – 50°C за годину) до 1180°C, витримка при цій температурі 10

годин 30 хвилин та видача під ковку: $t_{\text{кк}} = 900^{\circ}\text{C}$. Посадка в піч 1180°C , підігрів 3 год.

2.2 Виготовлення зразків

Для виявлення поверхневих дефектів поковки зі сталі 12Х18Н10Т виготовляли макрошліфи. При виготовленні макрошліфів першим етапом є вирізання спеціальних зразків, одна поверхня з яких плоска. Плоска поверхня піддається шліфовці наждачним кругом на верстаті, а потім доводиться наждачним папером різної зернистості (з поступовим переходом від більш грубою до більш тонкої). Шліфування зазвичай завершується із використанням паперу з зерном 120-140 (№12). Для виявлення структури сплаву їх піддають травленню.

Глибоке травлення проводять в гарячому реактиві ($\text{HCl} - 500 \text{ см}^3 + \text{H}_2\text{SO}_4 - 70 \text{ см}^3 + \text{H}_2\text{O} - 200 \text{ см}^3$) протягом 20...120 хвилин: в скляну ванночку з реактивом, нагрітим на піщаній бані до температури $40...50^{\circ}\text{C}$, пінцетом поміщають зразок на глибину 2...5мм. Далі зразок виймають, промивають під струменем холодної води, промокають і оглядають.

Виготовлення мікрошліфів проводилось в таких етапах:

- вирізання зразків на металорізальному верстаті у місці виявленого дефекту у продольному напрямку.. Оптимальні розміри зразків - це куб зі стороною 10 ... 15 мм;
- отримання плоскої поверхні обробкою на абразивному колі;
- послідовна обробка на шліфувальних паперах з поступовим зменшенням розміру зерен абразиву, покладених на тверду плоску поверхню. При переході з одного номера паперу на інший шліф повертають на 90° і шліфують до повного видалення рисок, отриманих в процесі попередньої обробки. При кожному переході до наступного номера паперу слідувала

ретельна промивка шліфа водою для видалення з поверхні абразивних зерен, що залишились після шліфування;

- полірування на дисках, обтягнутих фетром із застосуванням абразивних сумішей;
- промивання водою, знежирення спиртом, просушка фільтрувальної папером;
- травлення полірованої поверхні спеціальним реактивом для виявлення мікроструктури. В даному випадку травлення проводилось в реактиві Марбле ($100\text{мл HCl} + 20\text{г CuSO}_4 + 100\text{мл H}_2\text{O}$);
- ретельна і можливо швидка промивка шліфа водою і спиртом для видалення залишків реактиву і сушка.

Виготовлення шліфів для дослідження на МРСА здійснюється так само, як і на оптичному мікроскопі. Однак є і деякі особливості. Велика глибина різкості зображення дозволяє отримувати додаткову інформацію, проводячи глибоке травлення шліфів. Зразки повинні бути електропровідними. Перед випробуванням зразки були ретельно очищені, щоб не утворювалися газоподібні продукти, що утруднюють отримання необхідного вакууму при відкачуванні мікроскопа та забруднюють його колону.

2.3 Дослідження мікроструктури

2.3.1 Дослідження мікроструктури на оптичному мікроскопі

Оптична мікроскопія заснована на використанні білого світла, оптичних лінз, призм і дозволяє одержувати на металографічному мікроскопі МІМ-7 корисне збільшення до 1440 і 1350 раз відповідно при візуальному спостереженні й до 2000 раз при фотографуванні. Металографічний мікроскоп МІМ-7 є вертикальним оптичним мікроскопом.

Мікроскоп МІМ-7 складається з оптичної системи з фотографічною апаратурою, освітлювального обладнання й механічної системи.

В оптичну систему входять об'єктив, окуляр, дзеркала, призми. Об'єктив і окуляр являють собою складну систему лінз, розміщених в одній оправі. Об'єктив, звернений до об'єкту огляду, дає його зворотне, збільшене дійсне зображення. Окуляр, звернений до ока спостерігача, дає уявне, збільшене зображення, отримане об'єктивом, але це не може підвищити роздільної здатності мікроскопа. Його вибирають таким чином, щоб чітко були видні деталі структури, збільшені об'єктивом.

На рисунку 2.1 наведена оптична схема металографічного мікроскопа МІМ-7. Від джерела світла 1 через колектор 2 відбиваюче дзеркало 3 і світлофільтри 4, апертурну діафрагму 5, фотозатвор 6, польову діафрагму 7 і поворотну призму 8 промені світла попадають на плоскопаралельну пластину 9. Частина світлового потоку проходить через неї, а частина променів відбивається нагору від пластини через об'єктив 10 і отвір у предметному столику 11 попадає на шліф 12, площина якого розташована перпендикулярно оптичній осі мікроскопа. Відбиті від шліфа 12 промені знову проходять через об'єктив 10, плоскопаралельну пластину 9 і відбившись від дзеркала 13, через окуляр 14 попадають в око спостерігача або через фотоокуляр 15 - у фотокамеру, де, відбившись від дзеркала 16, попадають на фотопластинку 17.

Визначення розміру зерна проводиться за ДСТ 5639–82 "Сталі й сплави. Методи, виявлення й визначення величини зерна". Для визначення розміру зерна досліджувану мікроструктуру порівнюють зі стандартними шкалами або підраховують число зерен, що припадає на одиницю площі поверхні шліфа, або визначають лінійний розмір зерен. За ДСТ 5639-82 величину зерна оцінюють балами.

Метод візуальної оцінки величини зерна заснований на порівнянні видимих під мікроскопом зерен з еталонною шкалою (рис. 2.2). Ця шкала являє собою схематизовану сітку, обмежуючу зерна середнього розміру (по

площі даного номера). Розмір зерна по цьому методу оцінюють відповідним балом (1- 8 номер зерна) при збільшенні мікроскопа в 100 раз.

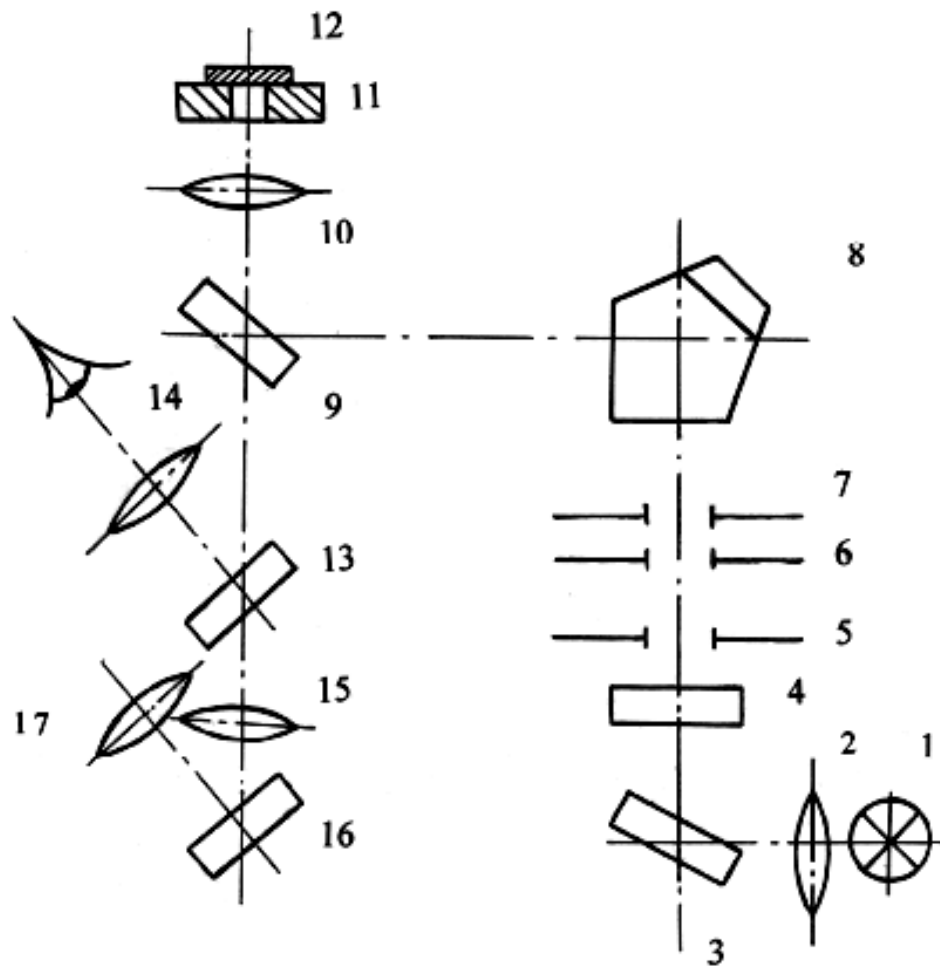


Рисунок 2.2 – Оптична схема мікроскопа МІМ-7

Визначення розміру зерна проводиться за ДСТ 5639–82 «Сталі й сплави. Методи, виявлення й визначення величини зерна». Для визначення розміру зерна досліджувану мікроструктуру порівнюють зі стандартними шкалами або підраховують чи сло зерен, що припадає на одиницю площі поверхні шліфа, або визначають лінійний розмір зерен. За ДСТУ 5639-82 величину зерна оцінюють балами.

Метод візуальної оцінки величини зерна заснований на порівнянні видимих під мікроскопом зерен з еталонною шкалою (рис. 2.3). Ця шкала

являє собою схематизовану сітку, обмежуючу зерна середнього розміру (по площі даного номера). Розмір зерна по цьому методу оцінюють відповідним балом (1- 8 номер зерна) при збільшенні мікроскопа в 100 раз.

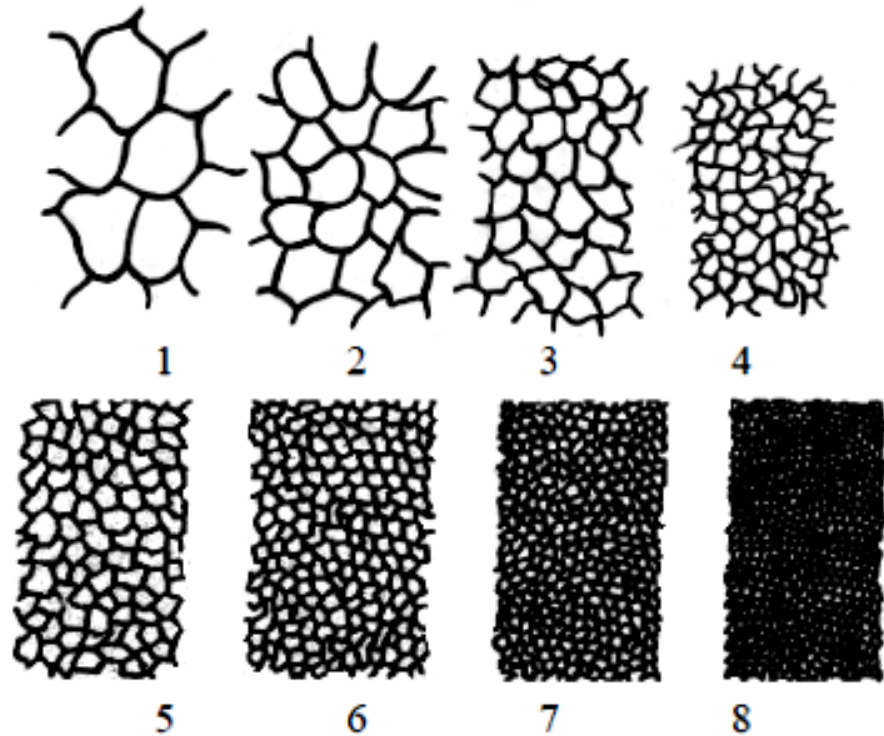


Рисунок 2.3 – Шкала бальності зерна, x100

Якщо в мікроструктурі спостерігається явна різнозернистість, то величину зерна оцінюють двома номерами, перший з яких означає переважну величину зерна. Якщо зерна переважної величини займають більш 90% площі шліфа, то вказується тільки один номер зерна.

2.3.2 Дослідження РСМА

Метод РСМА призначений для визначення елементного (хімічного) складу досліджуваного об'єкта. Метод дозволяє проводити якісний і кількісний аналіз. Завданням якісного аналізу є визначення всіх хімічних

елементів, що входять до складу досліджуваного об'єкта. Якісний аналіз застосовується, коли про склад об'єкта нічого невідомо, і необхідний для подальшого кількісного аналізу. Кількісний аналіз визначає, в яких кількісних співвідношеннях знаходяться елементи. Тобто результатом кількісного аналізу може бути хімічна формула речовини або частки (відсотку) кожного хімічного елемента. При РСМА аналізується склад мікрооб'ємах, в якому відбувається збудження рентгенівського випромінювання (область генерації) електронним пучком (зондом). Розміри в мікрооб'ємах визначаються діаметром електронного пучка і властивостями досліджуваної речовини. Проте мінімальний розмір області генерації становить близько одного мікрона

і не змінюється при подальшому зменшенні діаметра пучка.

Досліджуваний зразок бомбардується високоенергетичними електронами (1-50 кеВ, зазвичай 10-15 кеВ), в результаті чого з його поверхні відбувається емісія рентгенівського випромінювання. З аналізу характеристичного рентгенівського випромінювання визначається, які елементи входять в його склад і в яких кількісних співвідношеннях вони складаються.

Характеристичне випромінювання обумовлено переходами електронів між внутрішніми або зовнішньої і внутрішніми оболонками атома. Коли електрон високої енергії взаємодіє з атомом, він може вибити один з електронів внутрішньої оболонки. В результаті атом переходить в іонізований, або збуджений стан, з вакансією в оболонці. Мінімальна енергія, необхідна для вибивання електрона з певного рівня відома під назвою «Критична енергія іонізації E_c ». Таким чином, для того щоб відбувся такий перехід в збуджений стан, енергія падаючого електрона повинна бути більше або дорівнювати критичній енергії. Критична енергія має величину строго певну для будь-якого конкретного рівня електронної оболонки атома - K, L, M, N. Перехід в нормальний стан відбувається, коли один з електронів зовнішньої оболонки заповнює цю вакансію. Величина зміни енергії

визначається унікальною для кожного хімічного елемента електронної структурою атома.

Якісний рентгеноспектральний мікроаналіз можливий завдяки тому, що кожен хімічний елемент має набір характеристичних ліній з унікальними довжинами хвиль. Процедура якісного аналізу полягає в отриманні спектра рентгенівського випромінювання зразка і подальшого його розшифрування. Якщо спектрометр не може отримати спектр всього діапазону характеристичного випромінювання, отримують декілька спектрів на різних спектрометрах, які разом перекривають весь діапазон. Розшифрування спектрів полягає в ідентифікації ліній. Положення (довжини хвиль) всіх ліній для кожного елемента відомі. Тому ідентифікація являє собою порівняння спектра до положень ліній різних елементів в спеціальній таблиці. Кількісний рентгеноспектральний мікроаналіз – це відносний метод, заснований на порівнянні вимірюваної інтенсивності рентгенівських ліній, що генеруються

в зразку з інтенсивностями відповідних ліній в належному стандартному зразку (стандарті) відомого складу, при відомих токах зонда і ідентичних інших аналітичних умовах (однакове напруга, однакова геометрія установки зразка і стандарту, однаковий стан поверхні).

Установка РСМА повинна включати в себе, як мінімум, джерело електронів заданої енергії і спектрометр для реєстрації рентгенівського випромінювання. В даному випадку використовується растровий електронний мікроскоп з можливістю проведення мікроаналізу.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Вплив легувальних елементів і домішок на структуру і властивості сталі 12Х18Н10Т

Досліджується сталь 12Х18Н10Т, хімічний склад наведений в таблиці 2.1. Сталь є високовуглецевою, стійкою до корозії, немагнітною титановмісною сталлю. Основними легувальними елементами сталі є хром та нікель. Хром сприяє одержанню високої і рівномірної твердості сталі. Поріг холодноламкості хромистих сталей $0...100^{\circ}\text{C}$. Розчинність в аустеніті становить 12,8%. Хром підвищує міцність, твердість, коерцитивну силу фериту. Проте знижує ударну в'язкість, магнітну індукцію і магнітну проникність. Утворює карбіди Cr_{23}C_6 і Cr_4C_3 . Хром підвищує точку A_1 і знижує точки A_3 і A_4 . Зміщує точку S вліво. Також цей елемент знижує схильність зерна до росту, дуже збільшує прогартуваність. Хром дає дві зони найменшої стійкості аустеніту при $700...300$ і $400...250^{\circ}\text{C}$. В даному випадку основна функція хрому – це підвищення корозійної стійкості. Хром відноситься до металів, що легко пасивуються в окисних середовищах із зміною від'ємного потенціалу на позитивний. Вміст нікелю більше 8% переводить сталь в аустенітний клас. Впливає на властивості аустеніту знижує точки A_1 і A_3 і підвищує A_4 , зміщує точку S вліво, дещо впливає на зменшення схильності до росту зерна. Дещо збільшує прогартуваність, зменшує критичну швидкість гартування, знижує мартенситну точку M_n . Нікель у сталі разом із хромом підвищує прогартуваність. Також нікель підвищує в'язкісні характеристики сталі. Додавання до складу сильного карбідоутворювального елемента - титану дозволяє усунути схильність сталі до міжкристалічної корозії. Вступаючи в реакцію з вуглецем, він утворює тугоплавкий карбід TiC , виключаючи зменшення концентрації в сплаві хрому шляхом утворення його карбідів. Кремній, зміст якого в 12Х18Н10Т не більше 0,8%, підвищує густину сталі і дегазує його. Додавання даного

елемента збільшує міцність матеріалу і межу плинності, проте трохи знижує пластичність, що ускладнює холодну прокатку. Також можна сказати, що додавання в сталь таких елементів як алюміній, титан та кремній надає сталі і феритних властивостей. Граничний вміст фосфору в сталі не може перевищувати 0,035%. Цей показник має критичне значення, так як даний вид сталі використовується в кріогенній техніці, а фосфор негативно впливає на механічні властивості сплаву. Виникає сильна первинна ізоляція при кристалізації, при низьких температурах знижуються пластичні властивості металу. Введення марганцю викликає сповільнення швидкості росту зерна, що сприяє отриманню дрібнозернистої сталі.

В сталі можливі наступні фазові перетворення: утворення карбідів, карбонітридів та σ – фази при нагріванні до 650...850°C, розчинення цих фаз при високотемпературному нагріванні (1100...1200°C), утворення δ – фериту при ще більш високих температурах, утворення мартенситних фаз при охолодженні та пластичній деформації. Всі ці фази (не одночасно) можуть міститись в структурі сталі в залежності від термічної обробки та режимів прокатки. Виділення різних фаз супроводжується зниженням пластичності та сильним окрихчуванням, а також зниженням стійкості сталі до корозії зокрема до міжкристалічної корозії.

3.2 Дослідження причин руйнування поковки зі сталі 12X18H10T

Нержавіючу сталь, зокрема дослідну сталь 12X18H10T отримують шляхом додавання до чорного металу в процесі плавлення легувальні елементи.

Із печей сталь виходить у вигляді листів крупного формату або полос. Після цього ділиться на декілька заготовок, які поступають в цехи обробки і переварюються в прокат, профілі та поковки. Поковка – це виріб або

заготовка яка схожа за формою та розміром із майбутнім виробом. В сучасному виробництві використовують два методи виробництва сталених поковок: метод кування та метод штамповки. У випадку кування форма заготівлі шліфується завдяки багатократних ударів, можливо проведення як холодним так і гарячим способом. Метод штамповки характеризується рівномірним тиском на первинну заготовку, в результаті чого формуються всі поверхні моделі. Поковки із козійностійких сталей згідно ГОСТ 25054-81 мають задовольняти таким вимогам: на поверхні поковок не повинно бути механічних пошкоджень і дефектів, що знижують міцність, працездатність і погіршують зовнішній вигляд, на необроблюваних поверхнях поковок поверхневі дефекти, крім окремих вм'ятин від окалини і вибоїн, повинні бути видалені пологою вирубкою і зачисткою, глибина якої не повинна виводити розміри поковок за граничні відхилення за кресленням. Проте поковка, що досліджується має дефект на зачищеній ділянці обточеної поверхні проби уявляє собою залишок розкованого забруднення.

Режим кування даної заготовки зазначено в пункті 2. На зачищеній поверхні виявлено дефект у вигляді продольної несучільності, зовнішній вигляд якої наведено на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд проби поверхні

Як видно з рисунку 3.1 на поверхні зразка чітко виражені риси та нерівності, можна зробити припущення, що дефект спричинений

неоднорідністю структури. На рисунку 3.2 показано макрошліф поверхні зразка.

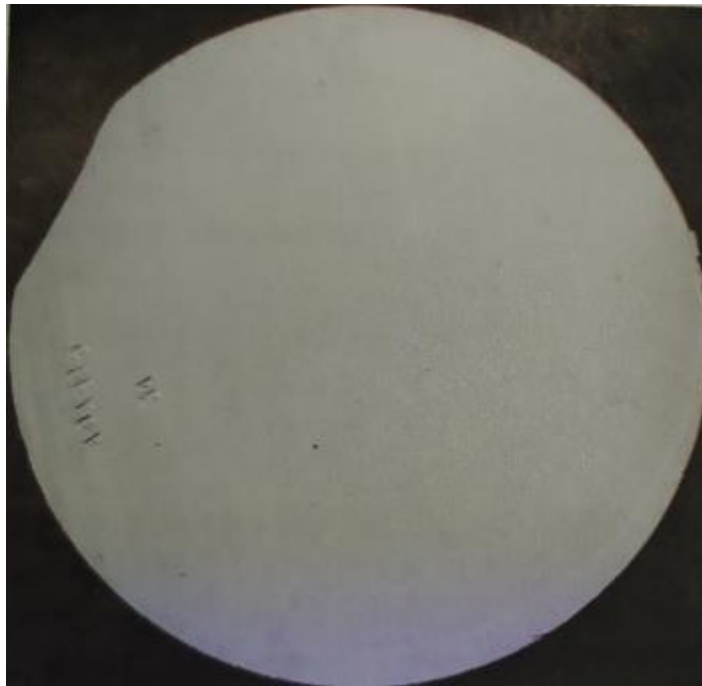
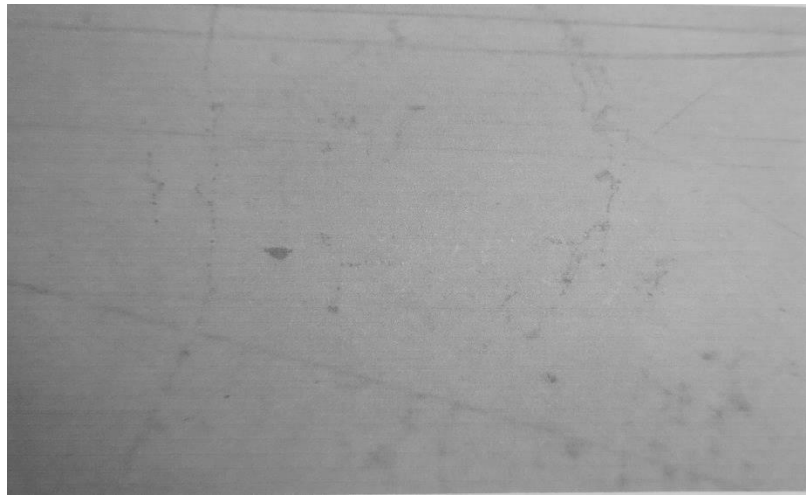


Рисунок 3.2 – Макроструктура поверхні злитку зі сталі 12X18H10T

Макроскопічний аналіз поверхні зразка не виявив видимих дефектів, а отже брак не спричинений пластичною деформацією або механічною обробкою. Зазвичай видимі дефекти, що утворилися при пластичній деформації, точніше при куванні можна розгледіти неозброєним оком, наприклад, торцеві задирки, зажими тощо. Припущення про внутрішні дефекти підтверджуються, можна сказати, що дефект мав місце при розливці сталі. Для виявлення такого типу дефектів має місце проведення мікроаналізу.

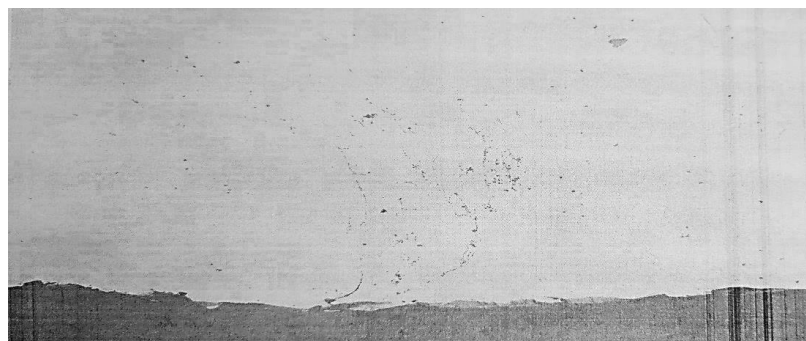
На рисунку 3.3 наведено мікроструктуру поперечного шліфа по місцю розташування дефекту.



×400

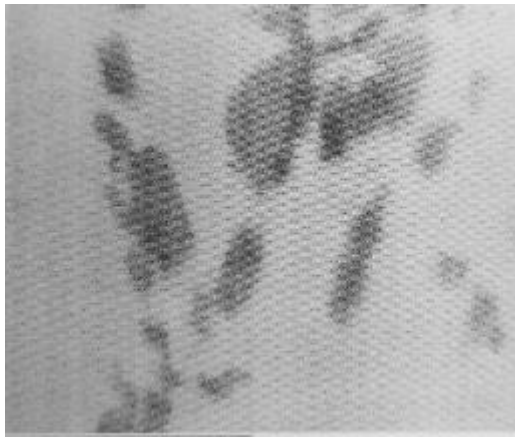
Рисунок 3.3 – Мікроструктура зразка в місці розташування дефекту

При дослідженні поперечного мікрошліфа (рисунок 3.3), що вирізаний по місцю розташування дефекту виявили скупчення неметалевих включень. Мікроструктура поверхні зразка (рисунок 3.4) показує, що неметалева фаза представлена невеликими згустками та строчками або рідкими глобулами. Зазвичай неметалеві включення в сталях виявляються сторонніми тілами, та порушують однорідність структури. Неметалеві включення можуть бути концентраторами напружень і спричинити утворення тріщин та стати осередком втомного руйнування сталі. Для виявлення природи фаз було проведено дослідження РСМА (рисунок 3.5, 3.6).

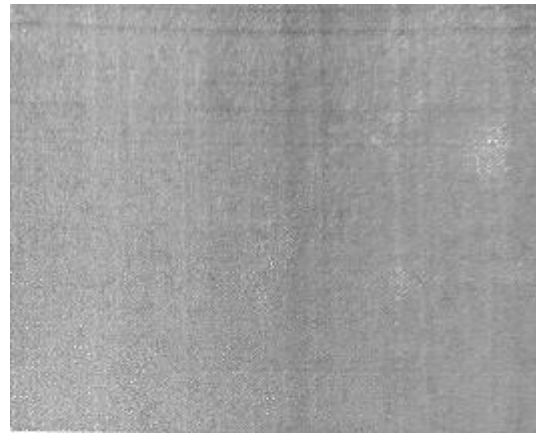


×400

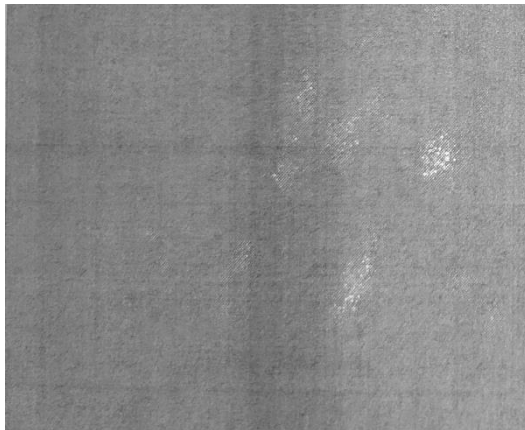
Рисунок 3.4 – Мікроструктура поверхні дефекту



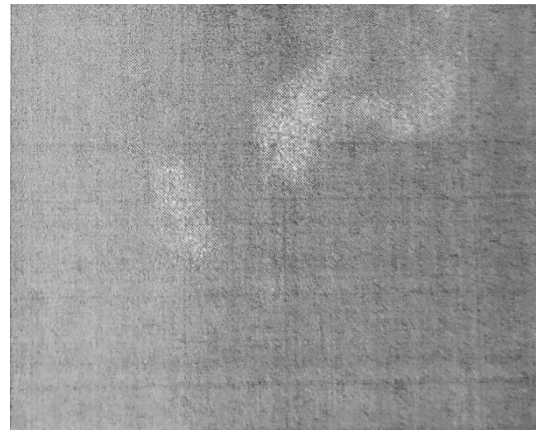
а



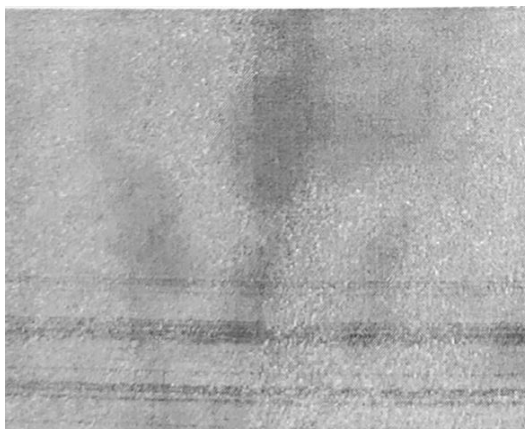
б



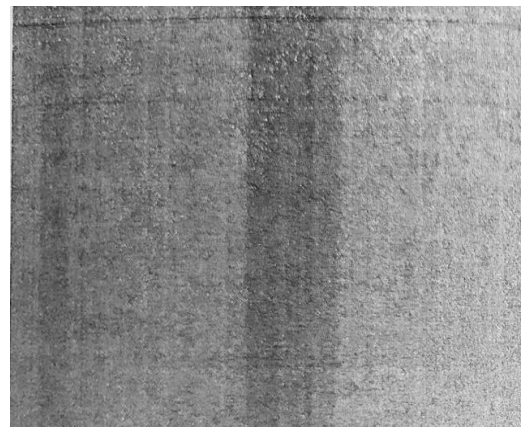
в



г



д

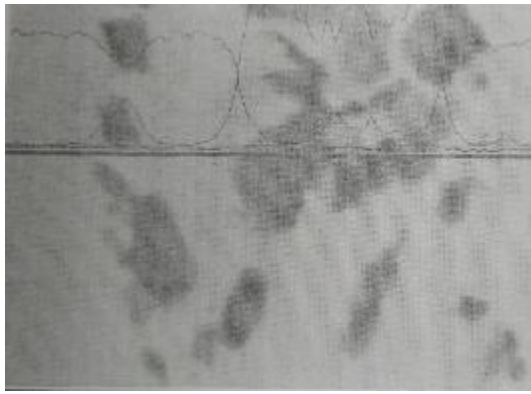


д

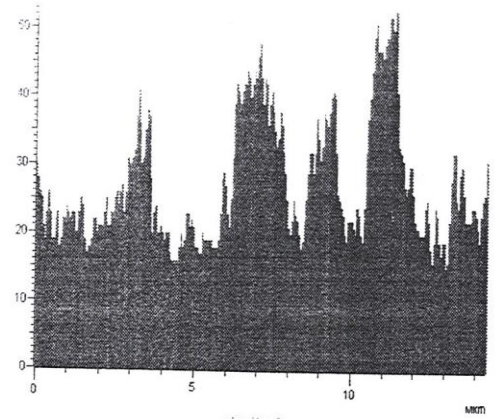
а- електронно-растрове зображення; б – зображення в спектрі $O_{K\alpha 1}$;

в - $Al_{K\alpha 1}$; г - $Ti_{K\alpha 1}$; д - $Fe_{K\alpha 1}$; е - $C_{K\alpha 1}$

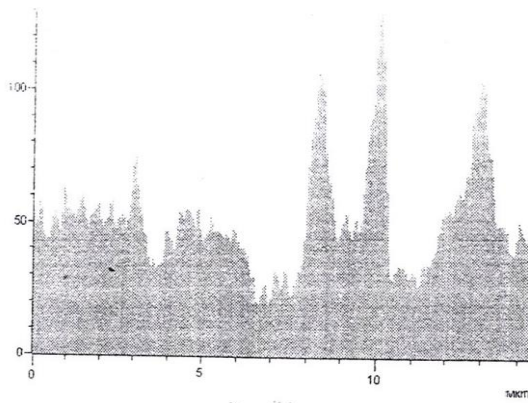
Рисунок 3.5 – Якісний МРСА дефекту в сталі 12Х18Н10Т



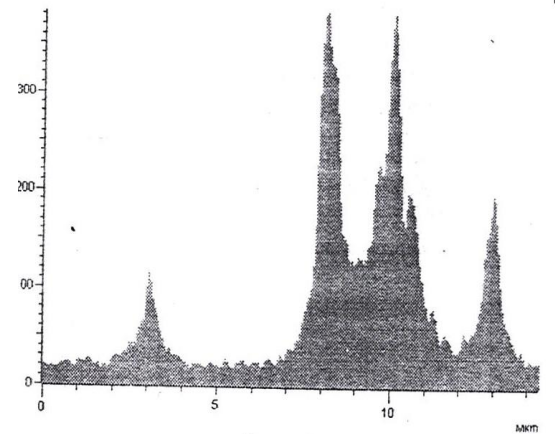
а



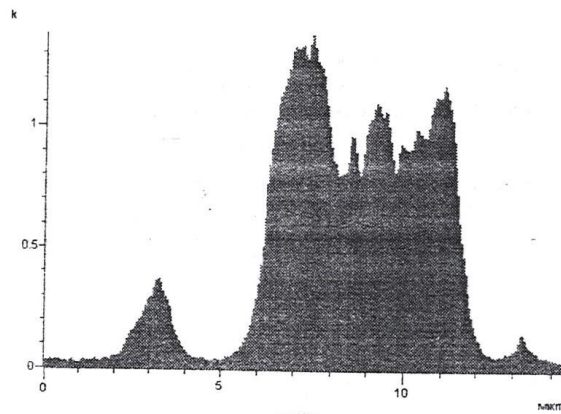
б



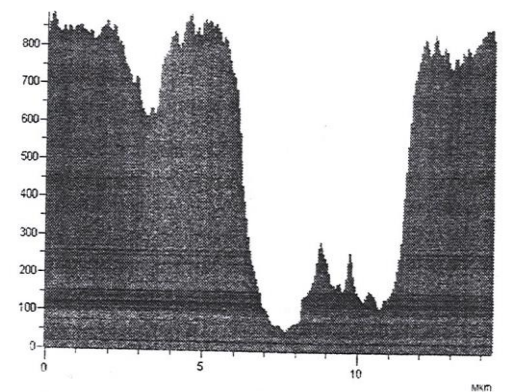
в



г



д



е

а – електронно- растрове зображення; б – характеристичний спектр $C_{K\alpha 2}$; в - $O_{K\alpha 1}$; г - $Al_{K\alpha 1}$; д - $Ti_{K\alpha 1}$; е - $Fe_{K\alpha 1}$;

Рисунок 3.6 – Результати МРСА дослідженої сталі 12Х18Н10Т

Досліджування у характеристичному спектрі вказують на наявність у місці дефекту оксидів (рис. 3.5 б), також явно видно, що міститься елементи алюміній та титан (рис 3.5 в, г). Випромінювання у характеристичному спектрі заліза (рис 3.5 г) засвідчує відсутність феруму у складі дефекту. Розподіл інтенсивностей (рисуюнок 3.6) однозначно визначає присутність у складі дефекту оксидів, що певно є оксидом алюмінію Al_2O_3 та титан, який зв'язався в карбід титану TiC .

Також проведено аналіз елементів у деяких конкретних спектрах в структурі в місцях виявлення дефекту. На рисунку 3.8 показано точки дослідження на растровому зображенні, дані занесені в таблицю 3.1.

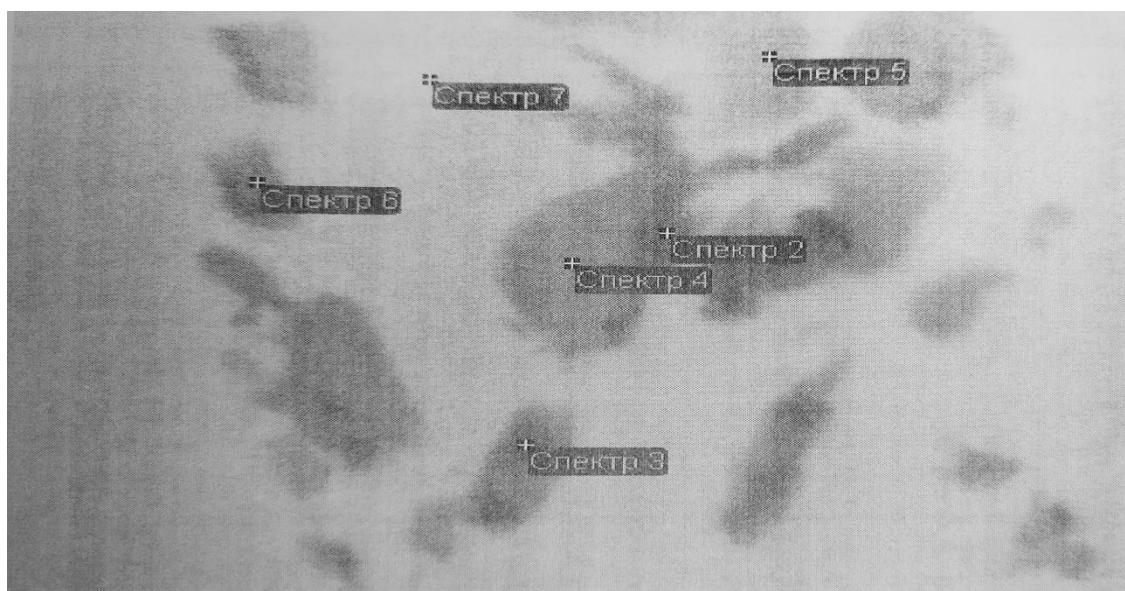


Рисунок 3.8 – Електронно-растрове зображення зразка із визначеним дефектом

Аналізуючи вміст елементів у визначеному спектрі, можна сказати, що дійсно майже весь вміст титану утворює карбід і наявний у показаному скупченні, також виявлено оксид алюмінію та, дивлячись на відносний вміст елементів, у спектрі 3 наявний магній. Магній при високому вмісті кисню та у сукупності із оксидом алюмінію зв'язується в магнезіальну шпінель $MgO - Al_2O_3$. Також виявлена наявність високого відсотку сірки в місці дефекту.

Таблиця 3.1- Відносний вміст елементів у визначеному спектрі, %

Спектр	C	O	Mg	Al	Si	S	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni
0	7.86	5.25		2.87	0.18		20.00	12.12		45.76	5.98
2	8.31	29.68		10.98	-		36.22	3.26		10.24	1.31
3	7.18	19.03	6.79	12.41	-		7.15	9.96		33.64	4.12
4	10.96	9.78		0.95	-		72.53	1.52		3.88	0.37
5	10.39	-		-	-	11.15	31.03	9.70		33.48	4.25
6	11.48	6.05		1.12	-		37.29	9.4	0.74	30.42	3.65
7	5.59			-	0.22		0.60	16.79		67.15	9.94

Отже дослідження встановили, що включення уявляють собою карбіди титану, магнезіальну шпінель, сульфід титану та оксид алюмінію.

Неметалеві включення в сталі 12X18H10T можуть впливати на її корозійностійкість за рахунок того, що в процесі кристалізації і подальшого охолодження сталі в зоні навколо них формується структурна неоднорідність, яка характеризується підвищеним рівнем запасеної поверхневої і пружної енергії. В результаті атоми на поверхні розділу металу з неметалевими частками мають значно вищий енергетичний стан в порівнянні з іншими ділянками сталі і, тому, схильні до прискореного корозійного впливу середовища. Дрібнодисперсні оксиди алюмінію в процесі прокатки можуть витягувати у такі собі лінії та призводити до руйнування. Магнезіальна шпінель утворюється при наявності в сталі легкоутворювальних комплексних з'єднань, наприклад шляхом реакції відновлення: $3(2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2) + 4[\text{Al}] = 2(\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3) + 4(\text{MgO}) + 3[\text{Si}]$, тобто утворюється в процесі виплавлення. Наявність такого роду дефектів може бути наслідком порушенням режиму виплавки, також виявлено, що наявність в шихті стружки перевищувала норму встановлену ТИ 143-С-12, а саме її кількість складає 63,2%, а повинна 15%.

Отже, порушення режиму виплавки та перевищення кількості стружки в шихті при завалці призводить, до утворення неметалевих вкраплень та укрупнення карбідної фази, що в свою чергу спричиняє брак поковки.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Аналіз ринку корозійних сталей

В межах завдання послідовно проаналізовано та подано у вигляді таблиці:

- зміст ідеї, що пропонується ;
- можливі напрямки застосування;
- основні вигоди, що може отримати користувач товару
- здійснимо підбір команди;
- розробимо концепції реалізації проекту;
- визначимо перспективи ринкової реалізації проекту.

Таблиця 4.1 - Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
Попередження причини руйнування поковок виготовлених із корозійностійкої сталі 12X18H10T	1.Виготовлення конструкційних елементів (дисків, валів та ін)	Збільшення попиту з боку промислових галузей.
	2.Подальше виготовлення металопродукції корозійностійкої сталі	Зниження витрат виробництва на переплав, розлив та обробку матеріалу.

В межах завдання послідовно проаналізовано характеристику потенційного ринку та подано у вигляді табл.4.2:

Таблиця 4.2 - Попередня характеристика потенційного ринку

№	Показники стану ринку металопродукції	Характеристика
1	2	3
1	Головні конкуренти ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦТАЛЬ»	Російські виробники сталі, зокрема, АТ «Оскольський електрометалургійний комбінат» (Металоінвест), АТ «Челябінський металургійний комбінат» та ПАТ «Іжсталь» (Мечел), АТ «Волгоградський металургійний комбінат «Красний Октябрь», АТ «Металургійний завод «Електросталь», АТ «Златоустівський електрометалургійний завод» тощо.
2	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Збільшення попиту на металопродукції з нержавіючих, високолегованих інструментальних, швидкорізальних, порошкових, підшипникових, легованих і конструкційних марок сталі, у тому числі виплавлених методом порошкової металургії, електрошлакової і вакуумно-дугової переплавок.
3	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	1.Складне і вартісне устаткування; 2. Відповідно до цього великий обсяг інвестицій в устаткування та його обслуговування; 3.Складність організації технологічних процесів (складність розробки, введення та використання технології), якість підготовки персоналу; 4.Необхідність високого інтелектуального потенціалу задля якісного (швидкого та точного) використання досягнень НТП у розробці нових марок сталі; 5.Високі вимоги до стандартизації та сертифікації як самого виробника так і продукції, яку він виробляє.
4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Згідно вимогам міжнародного стандарту ISO 9001:2015.

4.2 Тенденції розвитку світового ринку корозійностійких сталей

Розробка на початку ХХ століття корозійностійкої сталі дало потужний поштовх технологічному розвитку в різноманітних сферах промисловості. Завдяки своїм властивостям, сьогодні «нержавійка» широко застосовується в хімічній промисловості, автомобілебудуванні, електроенергетиці, будівництві та інших галузях. Тому ринок стрімко зростає у відповідності із розвитком виробництв-споживачів. У 2019 році ринок збільшився на 5,85%. За рік Китай наростив виробництво на 3,6%, до 26,7 млн.т - більше половини всього світового обсягу. США збільшили випуск нержавійки на 2%, до 2,08 млн т, країни Азії (крім Китаю та Південної Кореї) - на 2,1%, до 8,1 млн т. Обсяги виробництва нержавіючої сталі в натуральному вираженні показані в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Географія виробництва корозійностійкої сталі (по країнам) млн.тонн

Країна	2015	2016	2017	2018	2019
Китай	21,6	24,9	25,8	26,1	26,7
Індія	3,1	3,3	3,5	3,6	3,8
Японія	3,1	3,1	3,2	3,3	3,4
США	2,3	2,5	2,6	2,7	2,8
Італія	1,5	1,4	1,5	1,6	1,5
Іспанія	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Представлені дані свідчать про те, що виробничі показники Індії та Японії також вирости. Європа, в тому числі і Україна, наростила виробництво нержавіючої сталі на 0,1%, до 7,3 млн т. Інші країни, серед яких Бразилія, ПАР, Індонезію, Південну Корею, РФ та інші виробники, за минулий рік наростили випуск нержавіючої сталі на 35,9%, до 5,6 млн т.

Україна споживає близько 100 тис. тонн корозійностійкої сталі в рік. Обсяг цього ринку залежить від економічного стану споживачів. Так, загальноекономічна криза в Україні призвела до зменшення обсягу ринку сталі в 2015 і 2016 роках. Його відновлення почалося тільки в 2017-му. Наразі у зв'язку із світовою пандемією споживання сталі дещо знизилась, проте це носить тимчасовий характер.

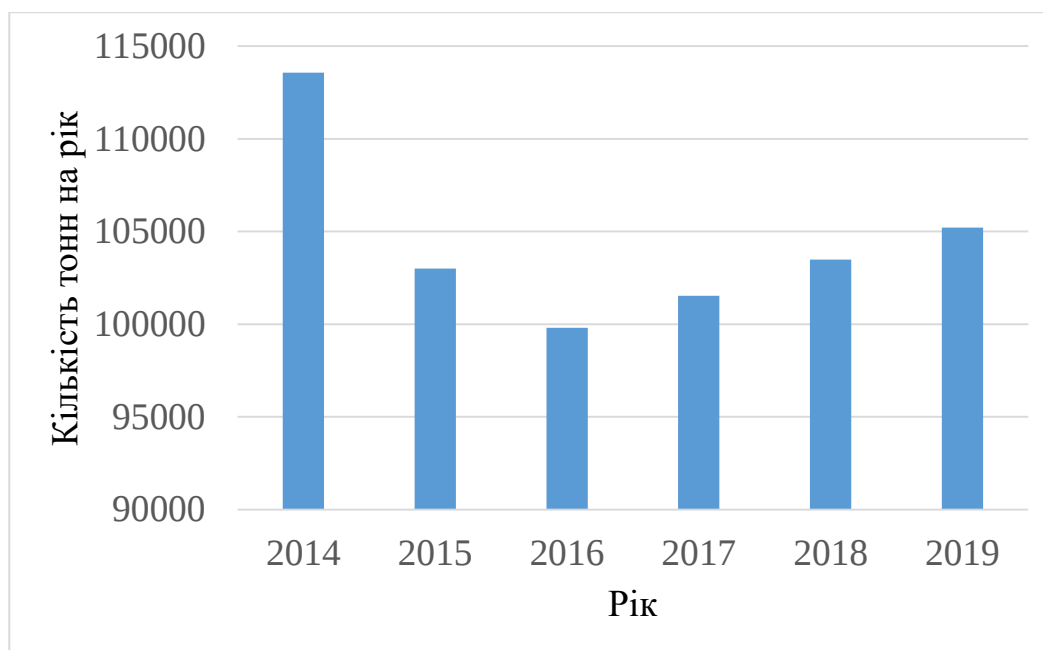


Рисунок 4.1 – Об'єм ринку корозійностійкої сталі в Україні 2014-2019 рр.

Спад українського ринку збігся зі світовим зниженням цін на корозійностійку сталь, які є наслідком біржових котирувань нікелю.

Іншим важливим компонентом корозійностійкої сталі є хром. Ціни на нього також зменшилися в 2016 році, що дозволило наростити імпорт даної сировини у вигляді ферохрому (ферохром - сплав хрому і заліза). Це стало підмогою для зростання виробництва корозійностійкої сталі. Проте вже в 2017 році вартість ферохрому піднялася з \$ 1900 до \$ 2500 за тону, що призвело до зниження його постачань в Україну з 16749 т до 15454 т. Продовження цієї тенденції негативно впливає на вартість нержавіючої сталі на внутрішньому ринку і негативно позначається на всій економіці.

Український ринок нержавіючих сталей в первинних формах формується за рахунок внутрішнього виробництва, обсяг імпорту нержавіючих поковок не перевищує 1% ринку. У 2019 році відзначена тенденція збільшення імпорту цієї продукції з 140 т до 421 т. Також варто відзначити, що український ринок заготовок для нержавіючих безшовних труб до 2019 був захищений антидемпінговим митом у 41,07% від китайського виробника.

Для візуалізації актуальності та зацікавленості у реалізації продукції на рисунку 4.2 наведено карту стейкхолдерів. Створення карти має відбуватись у 4 етапи:

- 1) ідентифікація – окреслення актуальних груп стейкхолдерів;
- 2) аналіз – дослідження впливу та інтересів стейкхолдерів;
- 3) візуалізація – візуальна ілюстрація взаємодії зі стейкхолдерами;
- 4) пріоритезація – вибір ключових стейкхолдерів, які найкраще відповідали б істотним питанням, визначеним на попередньому етапі.



Рисунок 4.2 - Карта стейкхолдерів

Отже, дослідження та виробництво корозійностійких сталей в Україні є надзвичайно важливим витком в економіці. Подальший стан ринку буде залежати від попиту з боку промислових галузей - споживачів даного матеріалу. У минулому році обсяги виробництва в будівництві, хімічній промисловості і автомобілебудуванні значно зросли, що дає учасникам ринку привід для оптимізму. Невживаним резервом нарощування виробництва корозійностійкої сталі українського походження є пошук і опанування зовнішніх ринків.

4.3 Розрахунок кошторису витрат на проведення науково-дослідницької роботи

Основною проблемою висвітлених в даній роботі є дослідження причин руйнування поковок виготовлених із ширококовжованої корозійностійкої сталі 12X18H10T на провідному підприємстві Запоріжжя задля попередження їх в майбутніх плавках.

Метою цього розділу є обґрунтування доцільності проведення аналізу причин руйнування поковки зі сталі 12X18H10T.

До складу витрат на виконання науково-дослідницької роботи включається вартість всіх ресурсів, необхідних для реалізації комплексу робіт.

Так як сталь виготовляється на металургійному підприємстві, розрахуємо фонд заробітної плати виробничих працівників, тобто витрати на виплавлення сталі.

Таблиця 4.4 - Склад, чисельність та фонд заробітної плати виробничих працівників

Категорії працівників	Наявна чисельність, осіб		Тарифна ставка за розрядом виконуваних робіт, грн / годину	Ефективний фонд робочого часу, годин	Тарифний заробіток, грн.	Преміальний відсоток до тарифного заробітку	Розмір премії, грн.	Річний фонд заробітної плати, грн.	ЄСВ, грн
	за зміну	на добу							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<i>Виробничі працівники, в тому числі:</i>									
<u>1.Основні працівники</u>									
Металург	1	3	90	8	10800	15	1600	129600	20512
Інженер-технолог (металург)	1	1	100	8	17600	20	3500	0	59520
Майстер	1	3	80	8	12800	10	1280	153600	33792
<u>2.Допоміжні працівники</u>									
Контролер ВТК	1	3	50	8	8800	10	880	105600	23232

Продовження таблиці 4.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<u>3.Черговий</u> <u>та</u> <u>ремонтний</u> <u>персонал</u> Електрик	1	3	80	8	12800	10	1280	153600	33792
Механік	1	3	80	8	12800	10	1280	153600	33792
Разом виробничих працівників		16							

Для проведення дослідницької були залучені науковці. Розрахунок заробітної плати науково персоналу наведено в табл. 4.5. Ці витрати вважаються основними для даного дослідження

Таблиця 4.5 - Склад, чисельність та фонд заробітної плати адмінперсоналу (наукового персоналу)

№	Посада виконавця	Кіл-ть людей	Місячний оклад, грн	Середньоденна зарплата, грн	Зайнятість НДР, днів	Загальна сума, грн
1	2	3	4	5	6	7
1	Головний науковий співро- бітник	1	5400	270	35	9450
3	Лаборант	1	3200	160	14	2240
4	Разом					24 990

Відрахування на соціальне страхування ЄСВ

Ці витрати визначаються в розмірі 22% основної та додаткової зарплати. Ці дані заносяться до табл. 4.3.

$$C_{\text{соц.стр.}} = (3\Pi_{\text{осн}} + 3\Pi_{\text{доп}}) \cdot 0,22 = (24\,990 + 2249) \cdot 0,22 = 5992 \text{ грн.} \quad (4.1)$$

Накладні витрати по проведенню науково-дослідницької роботи визначаються у відсотках від основної заробітної плати її виконавців (у межах 80-100%). До них відносяться витрати, пов'язані з управлінням, утриманням і експлуатацією устаткування й приміщень, створенням необхідних санітарно-гігієнічних умов.

$$C_{\text{н}} = 3\Pi_{\text{осн}} \cdot 0,9 = 24\,990 \cdot 0,9 = 22\,491 \text{ грн.} \quad (4.2)$$

Стаття "Інші витрати" складає 2-3 % суми усіх попередніх статей витрат на утримання і експлуатацію устаткування.

$$C_{\text{і}} = (C_{\text{соц.стр.}} + C_{\text{н}}) \cdot 0,02 = (5992 + 22\,491) \cdot 0,02 = 569,66 \text{ грн.} \quad (4.3)$$

Таблиця 4.6- Розрахунок вартості матеріалів для дослідження

Матеріал	Витрати матеріалу, кг	Ціна за одиницю, т	Сума витрат
Сталь 12X18H10T	20	13100	262
Реактиви	-	-	512
Фотопапір			69
Усього			843
Транспортно-заготівельні витрати (5%)			43
Всього			886

2) Спеціальне обладнання для наукової (експериментальної) роботи

В цій статті враховуються витрати на купівлю, доставку та монтаж лабораторних установок, вимірювальних та регулюючих приладів, пристроїв, випробувальної апаратури та тощо.

Таблиця 4.7 – Витрати на спеціальне устаткування

Перелік устаткування	Ціна за один., грн	Срок експлуатації	Амортизація	Кіл-ть днів	Вартість експлуатації
1	2	3	4	5	6
Оптичний мікроскоп	23500	25	940	2	705
Растровий електронний мікроскоп РЕМ 1061	2077092	15	138472,8	6	62312
Разом					63017

Таблиця 4.8 – Кошторис витрат на виконання науково-дослідницької роботи

Стаття витрат	Сума
Матеріали	886
Витрати на спеціальне устаткування	63017
Основна заробітна плата	24990
Додаткова заробітна плата	2240
Єдиний соціальний внесок	5992
Накладні витрати	22491
Інші витрати	569.66
Разом	120195

Економічний ефект від зниження витрат на переплавку виробу визначається згідно з формулою:

$$\mathcal{E}_И = (K_C \cdot C - C^1) \cdot B$$

де C та C^1 - вартість виготовлення виробу

B – кількість виробів, виготовленого з 1 т сталі.

Повний економічний ефект $\mathcal{E}_П$:

$$\mathcal{E}_П = \mathcal{E}_М + \mathcal{E}_И$$

Розрахунок економічного ефекту:

$$\mathcal{E}_М = 3,8 \cdot [56000 - 0,9 \cdot (0,4 \cdot 0,4 \cdot 2500 + 0,6 \cdot 1000)] - [13100 - 0,9 \cdot (0,4 \cdot 0,4 \cdot 5000 + 0,6 \cdot 1500)] = 209380 - 11570 = 197810 \text{ грн/т}$$

$$\mathcal{E}_И = (3,8 \cdot 120 - 120) \cdot 12 = 4032 \text{ грн/т}$$

$$\text{Повний економічний ефект рівний: } \mathcal{E}_П = 197810 + 40320 = 201842 \text{ грн/т}$$

Отже, застосування результатів даної науково-дослідницької роботи на практиці має економічне обґрунтування. Попередження руйнування поковок зі сталі 12X18H10T значно знизить витрати виробництва на переплав, розлив та обробку матеріалу. Доцільність впровадження даної розробки підтверджується проведеними вище розрахунками та допоможе попереджувати подальші відхилення від норми. Тобто встановлення причини руйнування попередить виникнення дефектів в майбутньому. Очікуваний економічний ефект від впровадження науково-дослідницької роботи становить 201842 грн/т при витратах на дослідження 120195 грн.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи з охорони праці, при аналізі причин руйнування поковок зі сталі 12Х18Н10Т.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

а) Можливість ураження електричним струмом. Основними причинами є порушення правил з електробезпеки, зокрема допуск до виконання робіт осіб, які не пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки, або несправності енергоспоживаючого обладнання, які можуть призвести до електричних травм або до летальних наслідків.

б) Небезпеки, які пов'язані з невиконанням вимог ергономіки стосовно організації робочого місця дослідника в приміщенні дослідницької лабораторії, зокрема недостатності площі на одне робоче місце або нераціональне розташування дослідницького обладнання.

в) Небезпеки, які пов'язані з підготовкою дослідницьких зразків або матеріалу для подальшого проведення досліджень, зокрема можливість отримання механічних травм при нарізанні заготовок на відрізному станку, проведенні шліфувально-полірувальних операцій.

г) Небезпеки пов'язані із визначенням виду дефектів рентгеноспектральним методом внаслідок негативного впливу іонізуючих випромінювань, що може привести до розвитку тяжких захворювань.

г) Можливість ушкодження органів зору внаслідок хибного вибору світлофільтрів мікроскопу при визначенні мікроструктури;

д) Небезпеки, які пов'язані з обробкою результатів досліджень з використанням ПК, зокрема ушкодження кістково-м'язового апарату внаслідок довготривалої роботи в однотипній позі.

е) Незадовільні метеорологічні параметри повітряного середовища в приміщенні дослідницької лабораторії, внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітрообміну.

є) Можливість загоряння в наслідок порушення правил пожежної безпеки, порушень правил зберігання легкозаймистих речовин, або коротких замикань, що може призвести до пожежі.

ж) Небезпеки, які пов'язані з умовами праці у надзвичайних ситуаціях, зокрема порядок проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт.

5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

а) Основними заходами захисту від можливості ураження електричним струмом є:

- організаційні заходи: до виконання робіт допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки ПУЕ-2017 «Правила безпеки експлуатації електроустановок споживачів» [45], групу з електробезпеки (2 група - при напрузі 2000 В. 3 група при напрузі більше 3000 В). Експлуатацію та ремонт електрообладнання повинен здійснювати тільки спеціально підготовлений персонал. Для кожного виду обладнання повинні бути складені схеми нормування роботи та роботи в аварійних ситуаціях.

- технічні заходи: усі не ізольовані струмопровідні елементи електрообладнання повинні бути надійно огорожено суцільними огороженнями, зняття або відкриття, яких можливе тільки за допомогою

спеціальних пристроїв; розташування струмоведучих ланцюгів виконується на недоступній висоті (при напрузі до 1000 В - не менше 3,5 м; при напрузі більше 1000 В - не менше 6 м); обов'язковим є наявність захисного заземлення з опором не більше 4 кОм.

б) Для виключення негативного впливу факторів, пов'язаних з ергономічністю робочого місця технолога ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» [46]. Передбачено:

- конструкція та взаємне розташування елементів робочої зони, повинні відповідати характеру роботи, а також антропометричним, фізіологічним та психологічним особливостям дослідника;

- як правило, основним приладдям в робочих зонах дослідника є комп'ютерний стіл та стілець. Для оптимізації негативних наслідків синдрому статичного навантаження, площа комп'ютерного стола повинна забезпечувати зону повного досягнення. Для запобігання тунельного синдрому, кут згину руки в лікті має бути прямим, оптимальна висота клавіатури відносно поверхні стола не більше 30 мм, при куті підйому від

2 до 15°. Комп'ютерна «миша» не повинна розташовуватися на краю стола, щоб долоня при роботі звисала. Робочий стілець або крісло повинно мати підлокітники, бути поворотним та регульованим за висотою та кутом нахилу спинки.

в) Для уникнення механічних травм при виготовленні зразків до випробування необхідно виконувати вимоги інструктажів з охорони праці при роботі на відрізних, заточних та полірувальних станках згідно з ГОСТ 12.3.028-82 «Процесс обработки абразивными и эльборовым инструментом» [47] зокрема, установка абразивних кіл на верстатах повинна проводитися тільки спеціально проінструктованими наладчиками, використання абразивних кіл з дефектами заборонено, абразивні кола повинні мати штамп або наклейку про випробування, порядковий номер кола і підпис особи, відповідальної за випробування, біля кожного верстата

необхідно вивісити табличку із зазначенням допустимої роботи колової швидкості використовуваних кіл і частоти обертання шпинделя верстата в хвилину, при обертанні абразивного кола, виступаючі кінці шпинделя і кріпильні деталі захистити захисними кожухами, підручники повинні мати достатній за величиною майданчик для стійкого положення оброблюваного виробу. Зазор між краєм підручника і робочою поверхнею шліфувального круга повинен бути не більше 3 мм. Використовувати індивідуальні засоби захисту, зокрема для виключення травмування органів зору передбачено застосування захисних окулярів.

г) Для безпеки досліджень пов'язаних із визначенням виду дефектів рентгеноспектральним методом необхідно закрити місця можливого розсіяння рентгенівських променів захисними свинцевими екранами. При встановленні камер з люмінесцентними екранами для візуального спостереження за юстировкою зразка необхідно користуватися захисним просвинцованим склом. Для забезпечення захисту рук оператора від опромінення при юстировці гоніометра необхідно користуватися подовженими торцевими ключами. При використанні іонізаційного методу реєстрації гоніометр під час роботи має бути закритий ширмою або іншим захисним пристроєм, що забезпечує зменшення інтенсивності розсіяного випромінювання до припустимих величин. При випадковому попаданні в сферу дії іонізуючого випромінювання необхідно негайно відключити аварійну установку від електромережі та повідомити про це відповідального за радіаційну безпеку в університеті та керівника.

г) При визначенні типу структури використовується горизонтальний металографічний мікроскоп МИМ-8 призначений для дослідження мікроструктури металів та інших не прозорих об'єктів в світловому полі при прямому і відбитому освітленні, а також в темному полі і в поляризованому світлі. Для візуального спостереження об'єктів мікроскоп забезпечений монокулярною і біноккулярною насадками. Власне збільшення біноклярної насадки – 2,5 х. Освітлення здійснюється від електролампи розжарювання

потужністю 170 Вт, 17 В, живиться від освітлювальної мережі 220 В через понижуючий трансформатор ,забезпечений секційним перемикачем для регулювання яскравості напруження лампи. 42 Правильне використання мікроскопа виходить тільки за умови раціональної комбінації об'єктів, окулярів. При вживанні їх треба враховувати, тому що збільшення повинно знаходитися в межах від 500 до 1000 апертур. Крім правильної комбінації об'єктів і окулярів, не менш важливе значення має і правильне застосування світлофільтрів. Як правило , при роботі з об'єктивами-ахроматами слід застосовувати світлофільтри , а з апохроматами можна працювати і без них. 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.

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

д) Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці для приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, офісу, тощо) обладнаного ПК з ВДТ розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МІОУ 06.05.2014 р. за № 472/25249, ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних

машин»[48] і НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» [49].

За характером трудової діяльності виділено три професійні групи, згідно з ДК 003:2010 «Національний класифікатор України. Класифікатор професій» [50]: група А - робота зі зчитування інформації з екрана з попереднім запитом; група Б - робота з введення інформації; група В - творча робота в режимі діалогу із ПК.

Перша категорія тяжкості й напруженості роботи на ПК визначається за рівнем навантаження за робочу зміну: для групи А - по сумарному числу зчитувальних знаків (до 20000), для групи Б - по сумарному числу зчитувальних або знаків, що вводяться (до 15000); для групи В - за сумарним часом безпосередньої роботи на ПК (до 2,0 год). При 8-годинній робочій зміні й роботі на ПК регламентовані перерви варто встановлювати через 2 години від початку зміни й через 2 години після обідньої перерви тривалістю 15 хвилин кожна. При 12-годинній робочій зміні регламентовані перерви повинні встановлюватися в перші 8 годин роботи аналогічно перервам при 8-годинній робочій зміні, а протягом останніх 4 годин роботи, незалежно від категорії й виду робіт, щогодини тривалістю 15 хвилин. Тривалість безперервної роботи на ПК без регламентованої перерви не повинна перевищувати 2 години. Регламентовані перерви й мікропаузи доцільно використовувати для виконання комплексу вправ і гімнастики для очей, пальців рук, а також масажу, які наведені у Державних санітарних правилах і нормах роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

Всі професійні користувачі ПК повинні проходити обов'язкові попередні медичні огляди при надходженні на роботу, періодичні медичні огляди з обов'язковою участю терапевта, невропатолога й окуліста, а також проведенням загального аналізу крові й ЕКГ.

е) Для забезпечення задовільних параметрів повітряного середовища робочого простору (температура, вологість, швидкість переміщення повітряних мас) обов'язковими є природна вентиляція, загально обмінна штучна вентиляція, та кондиціонування приміщення згідно ГОСТ 2.2.137-96 «Оборудование для кондиционирования воздуха и вентиляции. Общие требования безопасности», СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [51], ГОСТ 30646-99 «Кондиционеры центральные общего назначения. Общие технические условия» [52], ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [53].

4) Виділення теплоти та вологи людьми залежить від кількості енергії, яку вони витрачають при роботі, та температури повітря в приміщенні. Жінки виділяють в середньому 85%, а діти – 75% від тепла, яке виділяють чоловіки. Кількість теплоти яку виділяють чоловіки, при температурі повітря в приміщенні $25^{\circ}\text{C} = 55 \text{ ккал/год}$. Отже:

$$Q_{\text{л}} = 55 \times 3 + 55 \times 2 \times 0,85 = 259 \text{ ккал/год}$$

5) Загальна кількість теплоти в розрахункову годину, яку необхідно відвести за допомогою кондиціонування, визначається сумою теплоти джерел тепло надходження і визначається за формулою:

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{с.пр.}} + Q_{\text{осв.}} + Q_{\text{л}} = 12,39 + 645 + 259 = 916,39 \text{ ккал/год}$$

6) Вибір кондиціонера здійснюється в першу чергу за його розрахунковою потужністю та розмірами приміщення. Рекомендований діапазон потужності кондиціонера має максимально наближатися до розрахованого значення загальних теплонадходжень в приміщення.

Висновок: Оскільки площа приміщення складає 30 м^2 , то найбільш доцільним є використання кондиціонера типу HITACHI RAS-10JH4 з

холодопродуктивністю 1150 ккал/год. Знаходимо час, необхідний для охолодження приміщення за допомогою цього кондиціонера:

$$\tau = C \times \gamma \times V \times (t_{\text{вид}} - t_{\text{норм}}) / 3600 \times 1,163 \times Q_{\text{конд}}$$

$$\tau = 1000 \times 1,2 \times 150 \times (25 - 22) / 3600 \times 1,163 \times 916,39 = 0,15 \text{ год}$$

C - масова теплоємність припливного повітря = 1000 Дж/(кг•°C);

γ - густина припливного повітря = 1,2 кг/м³;

V - об'єм приміщення = $S \cdot h = 150 \text{ м}^3$;

$t_{\text{вид}}$ - температура повітря, що видаляється з приміщення = 25 °C;

$t_{\text{норм}}$ - нормована (оптимальна) температура в приміщенні, яку необхідно досягти шляхом кондиціонування = 22°C).

Вибір системи освітлення залежить від зорових робіт і визначається за Державними будівельними нормами України ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення» [54], ГОСТ 12.2.007.13-2000 ССБТ «Лампы электрические. Требования безопасности», ГОСТ МЭК 60598-2-2-2002 «Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 2. Светильники встраиваемые».

При цьому враховується вимога, що при виконанні в приміщеннях робіт I-III, IVa, IVб, IVв, Va розрядів слід застосовувати систему комбінованого освітлення. Використання системи загального освітлення передбачено при технічній неможливості або недоцільності влаштування місцевого освітлення при узгодженні з органами державного санітарного нагляду. При комбінованому освітленні доля загального повинна складати не менше 10%.

5.4 Заходи з пожежної безпеки

є) Для забезпечення пожежної безпеки в приміщенні лабораторного типу передбачено використання первинних засобів пожежогасіння, до яких відносяться вогнегасники різного призначення та системи автоматичного пожежосповіщення та пожежогасіння.

Розробку заходів з пожежної безпеки починають з аналізу речовин і матеріалів, що використовуються при роботі на об'єкті, з метою визначення класу можливої пожежі (А, В, С, D, F, E) згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж» (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT та категорії його пожежної небезпеки, відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» [55] та СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания». Тобто указати до якої категорії виробництва з пожежної небезпеки (А, Б, В, Г, Д) належить об'єкт (дослідницька лабораторія, конструкторське бюро, дільниця, підстанція, цех, тощо).

Відповідно до категорії виробництва з пожежної небезпеки і вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» [56], указати ступінь вогнестійкості приміщення об'єкта (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, дільниці, підстанції, цеху, тощо).

Відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», передбачити шляхи евакуації працівників на випадок пожежі (переходи, евакуаційні виходи). Указати максимальне видалення від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу згідно п. 2.29 (табл. 2) СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания».

Показати відповідність обладнання, силових і освітлювальних мереж об'єкту (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, офісу, дільниці, підстанції, цеху, тощо), вимогам пожежної безпеки, згідно вимог НПАОП

40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок».

Показати наявність засобів виявлення загорянь і пожеж згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту»:

- автоматичних сигналізаторів про пожежу;
- системи пожежної сигналізації;

З огляду на пожежну небезпеку виробництва, передбачити систему пожежного водопостачання або автоматичного пожежогасіння та первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники різних видів) відповідно до вимог «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», затверджених наказом МВСУ 15.01.2018 № 25 та зареєстрованих в МЮУ 23.02.2018 р. за № 225/31677.

Виходячи з аналізу речовин та матеріалів, які використовуються при роботі у дослідницькій лабораторії обладнаному ПК з ВДТ:

- згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж» (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT) у приміщенні дослідницької лабораторії обладнаній ПК з ВДТ можлива пожежа класів – А (що супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В);

- відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», воно належить до категорії «Д» з пожежної небезпеки – простір у приміщенні, у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали, тому відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» воно має II ступінь вогнестійкості.

В дослідницької лабораторії встановлена система пожежної й охоронної сигналізації «Сигнал-ВК6», яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика.

Вибір типу та визначення необхідної кількості вогнегасників виконується згідно з залежністю від протипожежної здатності вогнегасників обмежувальної площі дії, класу пожежі в захисному приміщенні.

5.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

Найбільшу небезпеку для життєдіяльності виробничого персоналу представляють аварії технічних систем. Причинами аварій можуть бути стихійні лиха, порушення режимів технологічних процесів (недотримання технологічної дисципліни) або правил експлуатації виробничого, енергетичного, транспортного та ін. обладнання, а також правил техніки безпеки.

З особливостей небезпечних аварій слідуює: захисні заходи і, перш за все, прогнозування, виявлення і періодичний контроль за змінами обстановки, оповіщення персоналу підприємства повинні проводитися з надзвичайно високою оперативністю.

Згідно з Кодексом цивільного захисту України забезпечення захисту населення і територій від НС покладено на Єдину державну систему цивільного захисту (ЄДСЦЗ), яка є сукупністю суб'єктів забезпечення цивільного захисту (ЦЗ), котрі здійснюють реалізацію державної політики у сфері цивільного захисту.

Суб'єктами забезпечення цивільного захисту в межах своїх повноважень є:

- Рада національної безпеки і оборони України;
- Кабінет Міністрів України;
- центральний орган виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту (нині це Державна служба України з надзвичайних ситуацій – ДСНС);

- інші центральні органи виконавчої влади;
- місцеві державні адміністрації;
- органи місцевого самоврядування;
- суб'єкти господарювання;
- громадяни України.

Загальне керівництво ЄДСЦЗ здійснює Кабінет Міністрів України. Безпосереднє керівництво діяльністю ЄДСЦЗ покладається на спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади з питань цивільного захисту (ДСНС). Діяльність ДСНС спрямовується і координується Кабінетом Міністрів України через Міністра оборони України.

ЄДСЦЗ базується на функціональних та територіальних підсистемах цивільного захисту та їх ланках, підпорядкованих ДСНС. Кожна підсистема має координуючі органи, постійні органи управління, сили та засоби, матеріальні ресурси, системи оповіщення тощо.

Таким чином, в Україні реалізований територіально-виробничий принцип цивільного захисту: у кожній територіальній одиниці відповідно до адміністративно-територіального поділу країни (область, район, місто, селище) є свій територіальний підрозділ ЦЗ. Паралельно в усіх сферах життєдіяльності населення, на кожному виробництві (підприємстві, установі, організації) функціонує відповідний виробничий підрозділ ЦЗ.

Режим функціонування єдиної системи цивільного захисту у межах конкретної території встановлюється залежно від існуючої або прогнозованої обстановки, масштабу надзвичайної ситуації за рішенням відповідно Кабінету Міністрів України.

Режим повсякденного функціонування єдиної системи цивільного захисту встановлюється за умов нормальної виробничо-промислової, радіаційної, хімічної, біологічної (в тому числі бактеріологічної), сейсмічної, гідрогеологічної та гідрометеорологічної обстановки, за відсутності епідемій.

Режим підвищеної готовності єдиної системи цивільного захисту встановлюється в разі істотного погіршення виробничо-промислової,

радіаційної, хімічної, біологічної (у тому числі бактеріологічної), сейсмічної, гідрогеологічної та гідрометеорологічної обстановки, за наявності загрози виникнення надзвичайної ситуації.

Режим надзвичайної ситуації єдиної системи цивільного захисту встановлюється в разі виникнення та під час ліквідації наслідків надзвичайної ситуації.

ВИСНОВКИ

Корозійностійка сталь у матеріалознавстві визначена як залізовуглецевий сплав з вмістом хрому не менш ніж 12,5%. Нержавіюча сталь стійка до корозії не тільки в атмосфері, а й в більш агресивних середовищах, має тривалий (20 - 50 років) термін експлуатації, а так само задовольняє гігієнічним вимогам. Має естетичний зовнішній вигляд, що дозволяє використовувати матеріал без фарбування, в тому числі, в декоративних роботах. Піддається повній переробці. Сталь проста в обробці, що дозволяє виготовляти різні за складністю конструкції. Розглянуті основні способи легування корозійностійких сталей, і зазначено, що окрім хрому основними легувальними елементами є нікель, молібден, марганець, титан. Також розглянуто типи сталей і особливо детально досліджено аустенітні сталі.

Визначено причину руйнування поковок зі сталі 12X18H10T. Визначено, що порушення режиму виплавки та перевищення кількості стружки в шихті при завалці призводить, що утворення неметалевих вкраплень та укрупнення карбідної фази призводить до погіршення властивостей сталі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Улиг, Г. Г. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику : пер. с англ. Ленинград : Химия, 1989. Пер. изд., США, 1985. 456 с.
2. Avner, S. H. Introduction to physical metallurgy. *Hill Edition*, 1997. 696 p.
3. Гольдштейн, М. И. Специальные стали : учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : МИСИС, 1999. 408 с.
4. Чигал, В. Межкристаллитная коррозия нержавеющей сталей Ленинград : Химия, 1969. 231 с.
5. Corrosion of Weldments : Metals Handbook.: *ASM International*, 1993. Vol. 6. P. 1065–1069.
6. Ульянин, Е. А. Структура и коррозия металлов и сплавов: атлас Москва : Металлургия, 1989. 400 с.
7. Томашов, Н. Д. Теория коррозии и коррозионно-стойкие конструкционные сплавы : учебное пособие для вузов. Москва : Металлургия, 1993. 416 с.
8. Жук, Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов. Москва : Металлургия, 1976. 473 с.
9. Семенова, И. В. Коррозия и защита от коррозии. Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2002. 336 с.
10. Lippold, J. C. Welding metallurgy and weldability of stainless steels *Interscience*, 2005. 357 p.
11. Пикеринг, Ф.Б. Физическое металловедение и разработка сталей. Москва : Металлургия, 1982. 184 с.
12. Лякишев Н. П. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник. М.: Машиностроение. 1996. Т. 1. С. 992.

13. Металловедение и термическая обработка стали. В 3-х т. Т. II. Основы термической обработки. под ред. Бернштейна М. Л., Рахштадта А. Г. Москва : Металлургия, 1983. 368 с.
14. Федорова О. А. Перспективные коррозионностойкие аустенитные хромоникелевые стали для высоконагруженных деталей криогенной техники. Вестник международной академии холода. 2004. №. 3.
15. Хижняк В. Г. и др. Газова корозія хромоалітованої сталі 12X18H10T *Наукові вісті Національного технічного університету України Київський політехнічний інститут*. 2012. №. 6. С. 110-114.
16. Семенова И. В., Флорианович Г. М., Хорошилов А. В. Коррозия и защита от коррозии. Общество с ограниченной ответственностью Издательская фирма «Физико-математическая литература», 2010. С. 1- 416.
17. Фомин Г. С. Коррозия и защита от коррозии. М. : ИПК Изд-во стандартов, 1999.
18. Кравцов В. В. и др. Коррозия и защита нефтезаводского и нефтехимического оборудования. –2010.
19. Баранов А. Н. и др. Межкристаллитная коррозия аустенитных сталей. *Системы. Методы. Технологии*. 2015. №. 2. С. 142-147.
20. Эванс Ю. Р. Коррозия и окисление металлов:(Теоретические основы и их практическое приложение): Пер. с англ. Машгиз, 1962.
21. Кеше Г. Коррозия металлов. Физико-химические принципы и актуальные проблемы: Пер. с нем. Металлургия, 1984
22. Томашов Н. Д., Чернова Г. П. Коррозия и коррозионностойкие сплавы. 1973.
23. Stainless steels : An introduction and their recent developments. ed. by J. K. Lai, C. H. Shek and K. H. Lo. Hong Kong : *Bentham Books*, 2015. 168 p.
24. Cortie, M. B. Embrittlement and aging at 475 °C in an experimental ferritic stainless steel containing 38 wt % chromium. *Sci. Eng. A*. 1995. 199(2). P. 153–163.

25. Nys, T. D. Spinodal decomposition in the Fe–Cr system . *Metall Trans.* 1971. 2(5). P. 1423–1428.
26. Kruml, T. Microstructure in 316LN stainless steel fatigued at low temperature . *Mater. Sci. Eng. A.* 2000. № 293(1–2). P. 275–280.
27. Strengthening via the formation of strain-induced martensite in stainless steels . *Mater. Sci. Eng. A.* 2004. № 387–9. P. 873–881.
28. Lee, W. S. The morphologies and characteristics of impact-induced martensite in 304L stainless steel . *Scr. Mater.* 2000. № 43 (8). P. 777–782.
29. Morphologies and characteristics of deformation induced martensite during tensile deformation of 304 LN stainless steel. A. Das [et al.] . *Mater. Sci. Eng. A.* 2008. № 486 (1–2). P. 283–286.
30. Родионова И.Г., Бакланова О.Н., Удод К.А., Шапошников Н.Г., Мельниченко А.С. Особенности формирования структуры и свойств хромистых коррозионностойких сталей, легированных азотом. *Металлург.* 2015. №10. С. 34–39.
31. Мальцева Л. А. и др. Высокопрочные коррозионно-стойкие аустенитно-ферритные стали. *Инновации в материаловедении и металлургии.* Екатеринбург, 2012. 2012
32. Григоренко В. Б. Особенности применения коррозионностойких сталей. *Сталь.* 2014. №. 1. С. 60-65.
33. Каблов Е. Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 г. *Авиационные материалы и технологии.* 2012. № 5. С. 84 – 88.
34. Банных О. А., Блинов В. М., Шалькевич А. Б. и др. Влияние термической обработки на структуру и механические свойства особо высокопрочной коррозионностойкой мартенситно-аустенитной стали. *Металлы.* 2005. № 3. С. 51 – 61.
35. Горынин И. В., Малышевский В. А., Калинин Г. Ю. и др. Коррозионностойкие высокопрочные азотистые стали. *Вопросы материаловедения.* 2009. № 3 (59). С. 7 – 16.

36. Терентьев В. Ф., Блинов Е. В., Мушникова С. Ю. и др. Механические свойства аустенитной коррозионностойкой стали с повышенным содержанием азота. *Деформация и разрушение материалов*. 2011. № 5. С. 30 – 37.
37. Туфанов Д. Г. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей, сплавов и чистых металлов : справочник. М. : Металлургия, 1990. 320 с
38. Vertesy, G. Non-destructive indication of plastic deformation of cold-rolled stainless steel by magnetic adaptive testing. G. Vertesy, I. Tomas, I. Meszaros. *J. Magn. Mater.* 2007. № 310(1). P. 76–82.
39. Detection of martensite transformation in high temperature compressively deformed austenitic stainless steel by magnetic NDE technique. K. Mumtaz [et al.] // *J. Mater. Sci.* 2003. № 38(14). P. 3037–3050.
40. The relationship between alloying elements and retained austenite in martensitic stainless steel welds. W. Wu [et al.]. *Scr. Mater.* 2000. № 42(11). P. 1071–1076.
41. Temperature dependence of martensitic transformation in austenitic stainless steel. K. Mumtaz [et al.]. *J. Mater. Sci. Lett.* 2003. № 22(6). P. 423–427.
42. Takaya, S. Estimation of stress corrosion cracking sensitivity of type 304 stainless steel by magnetic force microscope . S. Takaya [et al.]. *J. Nucl. Mater.* 2004. № 327(1). P. 19–26.
43. Ведяков И. И., Одесский П. Д. Применение нержавеющей сталей в строительных металлических конструкциях. *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. №. 2. С. 19-29.
44. Березовская В. В., Березовский А. В. Коррозионно-стойкие стали и сплавы: учебное пособие. 2019.
45. Правила улаштування електроустановок: ПУЕ-2017. На заміну ПУЕ-86; чинний з 2017-08-21. К.: Міненерговугілля України, 2017. 617 с. (Правила)

46. ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»
47. ГОСТ 12.3.028-82 «Процесс обработки абразивными и эльборовым инструментом»
48. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин: 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)
49. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроям: 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)
50. ДК 003:2010 «Національний класифікатор України. Класифікатор професій»
51. Опалення, вентиляція та кондиціонування: ДБН В.2.5-67:2013. – На заміну СНиП 2.04.05-91 ; крім розділу 5 та додатка 22. ; чинний від 2014-01-01. К.: Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с. (Державні будівельні норми України)
52. ГОСТ 30646-99 «Кондиционеры центральные общего назначения. Общие технические условия»
53. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»
54. Природне і штучне освітлення: 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)
55. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою: ДСТУ Б В.1.1- 36:2016. На

заміну НАПБ Б.03.002-2007; чинний від 2017-01-01. К. :Мінрегіонбуд України, 2016. 66 с. (Національний стандарт України)

56. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги :ДБН В.1.1-7:2016. На заміну ДБН В.1.1.7-2002 ; чинний від 2017-06-01. К.: Мінрегіон України, 2017. 47 с. (Державні будівельні норми)

57. Системи протипожежного захисту: ДБН В.2.5-56:2014. На заміну ДБН В.2.5-56:2010; СНиП 2.04.05-91 (розділи 5 та 22) ; чинний від 2015-07-01. К. : Мінрегіон України, 2014. 191 с. (Державні будівельні норми)

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 - Хімічний склад сталі 12Х18Н10Т

С	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	W	V	Mo	Ti	Al	Cu	Nb	N	
Згідно вимог ТП 1428-15															
0,12	≤2,0	≤0,8	≤0,04	≤0,015	17,0-19,0	10,0-11,0	≤0,2	≤0,2	≤0,3	0,6	-	0,3	-	-	0,
Згідно плавки А04985															
0,12	1,42	0,29	0,038	0,10	17,11	9,34	0,11	0,06	0,23	0,54	0,063	0,29	0,02	0,013	001



Рисунок А.1 - Зовнішній вигляд проби поверхні

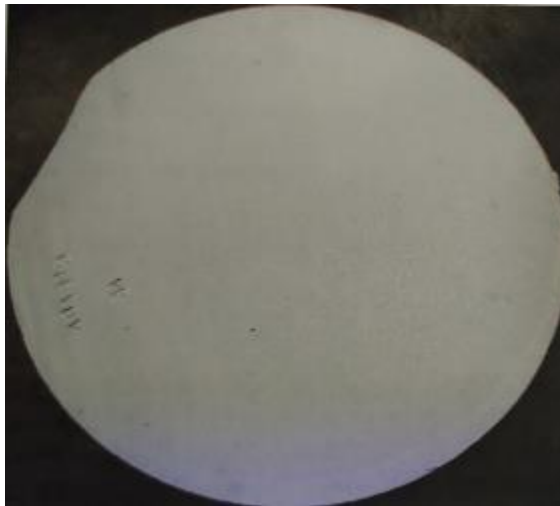


Рисунок А.2 - Макроструктура поверхні злитку зі сталі 12X18H10T

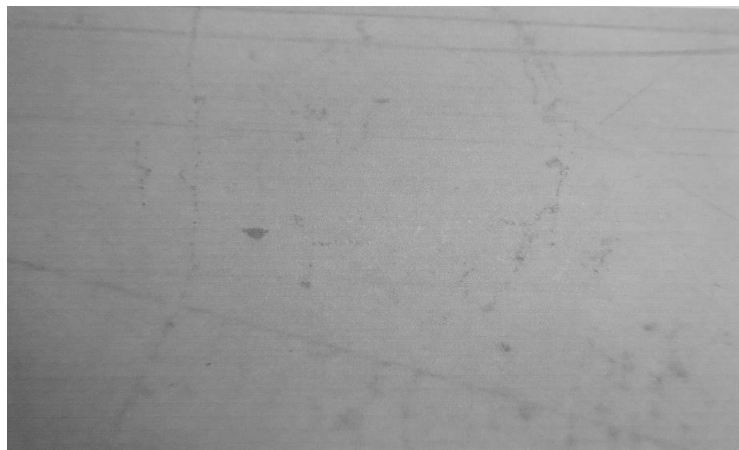


Рисунок А.3 - Мікроструктура зразка в місці розташування дефекту

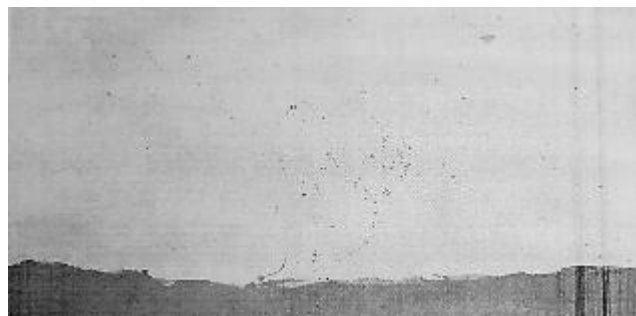
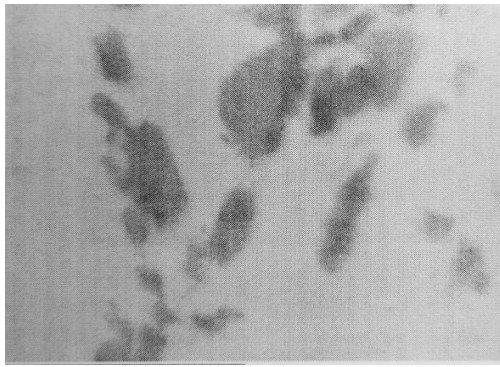
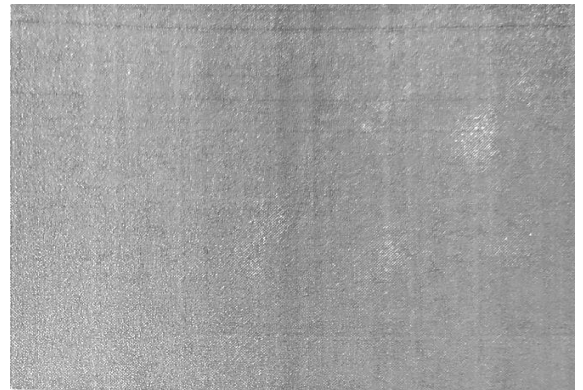


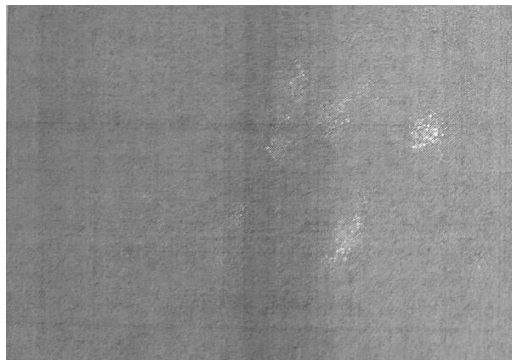
Рисунок А.4 - Мікроструктура поверхні дефекту



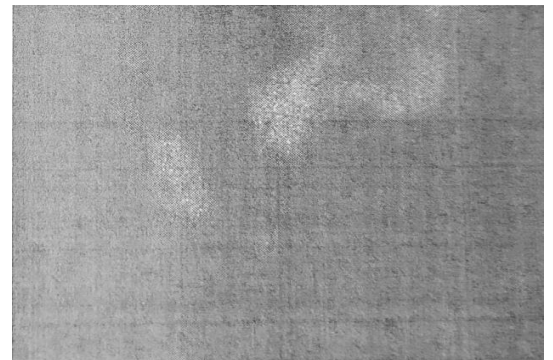
а



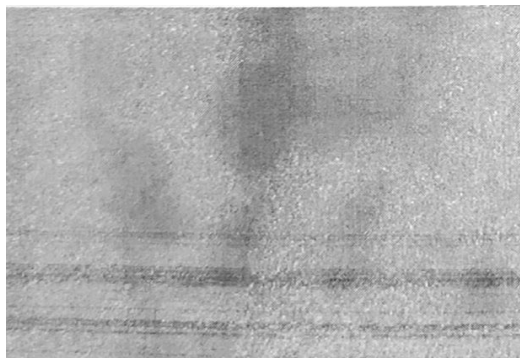
б



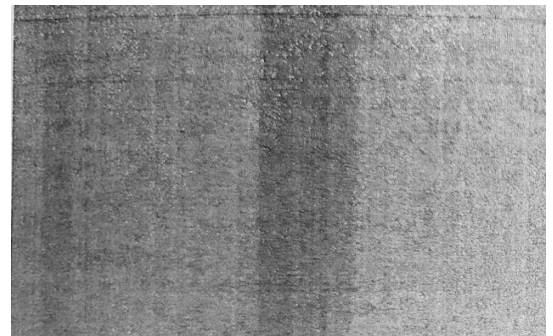
в



г



г

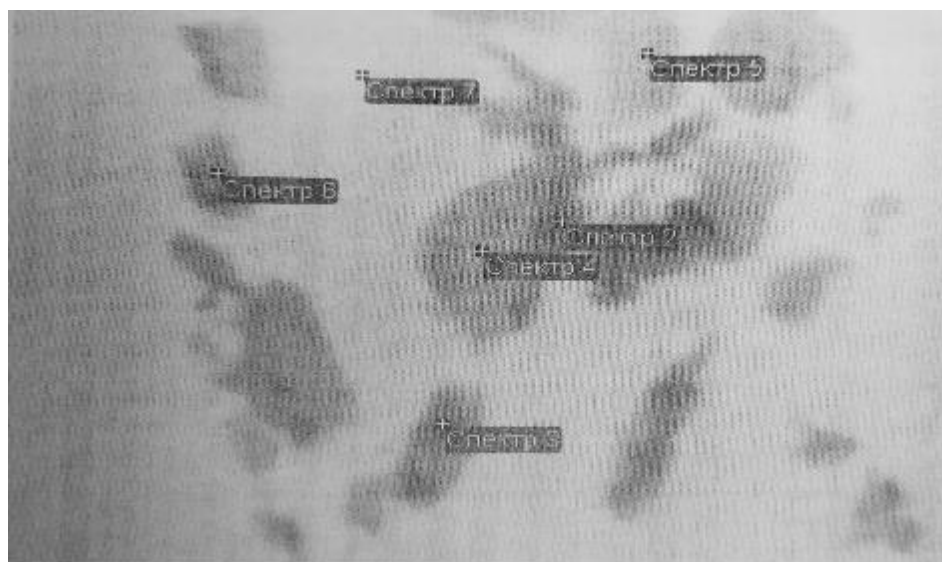


д

а- електронно-растрове зображення; б – зображення в спектрі $O_{K\alpha 1}$;

в - $Al_{K\alpha 1}$; г - $Ti_{K\alpha 1}$; г - $Fe_{K\alpha 1}$; д - $C_{K\alpha 1}$

Рисунок А.5- Якісний МРСА дефекту в сталі 12Х18Н10Т



Спектр	C	O	Mg	Al	Si	S	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni
0	7.86	5.25		2.87	0.18		20.00	12.12		45.76	5.98
2	8.31	29.68		10.98	-		36.22	3.26		10.24	1.31
3	7.18	19.03	6.79	12.41	-		7.15	9.96		33.64	4.12
4	10.96	9.78		0.95	-		72.53	1.52		3.88	0.37
5	10.39	-		-	-	11.15	31.03	9.70		33.48	4.25
6	11.48	6.05		1.12	-		37.29	9.4	0.74	30.42	3.65
7	5.59			-	0.22		0.60	16.79		67.15	9.94

Рисунок А.6 – Відносний вміст елементів у визначеному спектрі, %