

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Сумський державний університет**  
**Факультет технічних систем та енергоефективних технологій**  
**Кафедра прикладного матеріалознавства і ТКМ**

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Оксана ГАПОНОВА

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**на здобуття освітнього ступеня магістр**

зі спеціальності \_\_\_\_\_ 132 Матеріалознавство \_\_\_\_\_

освітньо-професійної програми \_\_\_\_\_ «Прикладне матеріалознавство» \_\_\_\_\_

на тему: «Дослідження структури та властивостей зміцнювальних покриттів на аустенітних сталях, отриманих методом наплавлення» \_\_\_\_\_

Здобувача групи \_\_\_\_\_ МТ.м-21 \_\_\_\_\_ Тягна Сергія Вячеславовича \_\_\_\_\_

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

\_\_\_\_\_ Сергій ТЯГНО

Керівник \_\_\_\_\_  
завідувачка кафедри ПМ і ТКМ,  
д.т.н., проф. Оксана ГАПОНОВА \_\_\_\_\_

Нормоконтроль \_\_\_\_\_  
доцент кафедри ПМ і ТКМ  
к.т.н., доц. Андрій ДЕГУЛА \_\_\_\_\_

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра «Прикладне матеріалознавство та технології конструкційних  
матеріалів»  
зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ О. П. Гапонова

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 року

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

**Тягно Сергій Вячеславович**

1. Тема проекту (роботи) «Дослідження структури та властивостей зміцнювальних покриттів на аустенітних сталях, отриманих методом наплавлення» затверджена наказом по університету від 09.11.2023 року №1254-VI.

2. Термін здачі студентом закінченого проекту(роботи) 03.12.2023

3. Вихідні дані до проекту (роботи) зразки, матеріали для проведення дослідження структурного стану модифікованих шарів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

1. Літературний огляд та аналіз умов роботи випускного клапану

2. Вибір матеріалу та методів дослідження

3. Результати досліджень

4. Економічна частина.

5. Охорона праці, довкілля та техніка безпеки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 13 слайдів презентації, що відображають зміст роботи.

6. Консультанти з проекту (роботи), із значенням розділів проекту, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці, довкілля і техніка безпеки	Говорун Т. П.	06.11.2023	11.12.2023
Економічна частина	Берладір Х. В.	06.11.2023	10.11.2-23

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пор.	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Літературний огляд та аналіз умов роботи випускного клапану	Листопад 2023	виконано
2	Вибір матеріалу та методів дослідження	Листопад 2023	виконано
3	Результати досліджень	Листопад - грудень 2023	виконано
4	Економічна частина	Грудень 2023	виконано
5	Охорона праці, довкілля і техніка безпеки	Грудень 2023	виконано

7. Дата видачі

завдання 06.11.2023

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Керівник проекту \_\_\_\_\_

(підпис)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра вміщує 83 сторінки, зокрема 12 таблиць, 30 рисунків, список із 70 використаних джерел на 7 сторінках.

**Мета роботи** — аналіз структурного стану та механічних властивостей наплавленого шару, отриманого методом ручного дугового наплавлення з метою удосконалення режиму відновлення поверхні випускних клапанів насосів, виготовлених з аустенітних сталей.

### **Завдання досліджень:**

1. Провести літературний огляд щодо пошуку технології відновлення працездатності деталі «випускний клапан» циліндричної пари.
2. Проаналізувати наплавочні матеріали, що використовуються для відновлення робочої поверхні деталі методом наплавлення.
3. Дослідити процеси наплавлення деталі з урахуванням обраних наплавлювальних матеріалів.
4. Охарактеризувати вплив обраних наплавлювальних матеріалів на структуру, механічні та експлуатаційні властивості наплавленого шару.
5. Розробити рекомендації для впровадження у виробництво.

**Об'єкт дослідження:** деталь «випускний клапан» циліндричної пари для перекачування рідин при температурі  $-196^{\circ}\text{C}$ .

**Предмет дослідження:** процес поверхневого відновлення робочої частини клапану методом наплавлення.

**Методи дослідження:** металографічний аналіз, спектральний аналіз, визначення механічних властивостей наплавленого металу, проведення випробувань на корозійну стійкість наплавленого металу, визначення феритної фази магнітним методом.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. У дослідженні розглянуті можливості подальшого розвитку концепцій для покращення якості поверхневого шару нержавіючої аустенітної сталі. Отримані результати свідчать про потенційну можливість впливу на структуру наплавлення за допомогою нових матеріалів для наплавлення.

2. Отриманий наплавлений шар з аустенітною структурою, хімічний склад якого відповідає сталі 12X18H10T. Установлений взаємозв'язок між структурою і властивостями отриманих поверхонь.

3. Доведено, що використання запропонованої технології наплавлення призводить до значного економічного ефекту, забезпечуючи зниження витрат на вихідні матеріали при збереженні високої якості покриття.

**Практична цінність** отриманих результатів полягає в тому, що удосконалена технологія наплавлення з використанням нових матеріалів рекомендується для впровадження у виробництво.

**Особистий внесок дослідника** включає проведення літературного огляду з теми кваліфікаційної роботи, формування мети і задач дослідження, підготовку зразків, проведення лабораторних і промислових випробувань, спільно з науковим керівником узагальнення та аналіз результатів, формулювання висновків і написання наукових публікацій.

**Ключові слова:** аустенітна сталь, випускний клапан, ручне дугове наплавлення, структура, корозія

## АНОТАЦІЯ

**Тягно Сергій Вячеславович. Дослідження структури та властивостей зміцнювальних покриттів на аустенітних сталях, отриманих методом наплавлення.**

Кваліфікаційна робота на здобуття кваліфікації магістра зі спеціальності 132 «Матеріалознавство». — Сумський державний університет, Суми, 2023.

Робота присвячена дослідженню впливу процесу поверхневого відновлення випусконого клапана циліндричної пари в кріогенних насосах методом наплавлення.

Проведені металографічний аналіз, спектральний аналіз, визначення механічних властивостей напавленого металу, проведення випробувань на корозійну стійкість напавленого металу. Показано, що в напавленій частині структура має литу дрібнозернисту кірку, що складається з дезорієнтованих дрібних кристалів - дендритів. Спектральний аналіз показав, що хімічний склад напавленого металу відповідає сталі 12X18H10T.

Проведені випробування на механічні властивості. Ударна в'язкість напавленого металу при кімнатній температурі становить 275 Дж/м<sup>2</sup>. Ударна в'язкість сталі 12X18H10T при температурі -196 °C становить 35 Дж/м<sup>2</sup>.

Міцність напавленого металу складає в середньому 720 МПа, що відповідає механічним властивостям сталі 12X18H10T. Напавлений шар не схильний до міжкристалічної корозії.

Представлений розрахунок економічного ефекту виготовлення продукції. Виходячи з цього показано, що економічний ефект від застосування пропонованих в роботі електродів більше ніж у два рази, порівняно із загально прийнятими аналогами.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** АУСТЕНІТНА СТАЛЬ, ВИПУСКНИЙ КЛАПАН, РУЧНЕ ДУГОВЕ НАПЛАВЛЕННЯ, СТРУКТУРА, КОРОЗІЯ.

## ABSTRACT

**Tiahno Serhii Viacheslavovych. Investigation of the structure and properties of hardening coatings on austenitic steels obtained by surfacing.**

Qualification work for a master's degree in speciality 132 "Materials Science."  
- Sumy State University, Sumy, 2023.

The work is devoted to the study of the influence of the process of surface restoration of the cylindrical steam outlet valve in cryogenic pumps by surfacing.

Metallographic analysis, spectral analysis, determination of the mechanical properties of the deposited metal, and tests for corrosion resistance of the deposited metal were carried out. It was shown that the structure in the deposited part has a cast fine-grained crust consisting of disoriented small crystals - dendrites. The spectral analysis showed that the chemical composition of the deposited metal corresponds to 12H18N10T steel.

Mechanical properties were tested. The impact strength of the deposited metal at room temperature is 275 J/m<sup>2</sup>. The impact toughness of 12H18N10T steel at -196°C is 35 J/m<sup>2</sup>.

The strength of the deposited metal averages 720 MPa, which corresponds to the mechanical properties of 12H18N10T steel. The deposited layer is not subject to intergranular corrosion.

The article presents a calculation of the economic effect of manufacturing products. On this basis, it is shown that the economic effect of using the electrodes proposed in the work is more than twice as high as compared to common analogues.

**KEYWORDS: AUSTENITIC STEEL, EXHAUST VALVE, MANUAL ARC SURFACING, STRUCTURE, CORROSION.**

## Зміст

<b>ВСТУП</b> .....	11
<b>РОЗДІЛ 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД</b> .....	14
<b>1.1 Аналіз умов роботи випускного клапану</b> .....	14
<b>1.2 Види зміцнення</b> .....	16
<b>1.2.1 Оксидування</b> .....	17
<b>1.2.2 Фосфатування</b> .....	18
<b>1.2.3 Хромування</b> .....	19
<b>1.2.4 Детонаційне нанесення покриття</b> .....	21
<b>1.2.5 Ручне дугове зварювання</b> .....	22
<b>1.2.6 Азотування</b> .....	24
<b>1.2.7 Лазерне зміцнення</b> .....	25
<b>1.2.8 Газове наплавлення</b> .....	26
<b>1.2.9 Магнітне зміцнення</b> .....	28
<b>ВИСНОВОК</b> .....	30
<b>РОЗДІЛ 2 ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ</b> .....	31
<b>2.1 Вибір матеріалу</b> .....	31
<b>2.2 Технологія і устаткування, що використовувалися для наплавлення</b> .....	37
<b>2.3 Методи дослідження отриманого покриття</b> .....	40
<b>2.3.1 Спектральний аналіз</b> .....	40
<b>2.3.2 Металографічний аналіз</b> .....	42
<b>2.3.3 Визначення механічних властивостей</b> .....	43
<b>2.3.4 Випробування на стійкість до міжкристалічної корозії (МКК)</b> .....	48
<b>2.3.5 Визначення вмісту феритної фази в наплавленому металі</b> .....	51



	9
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	54
<b>РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	55
<b>3.1 Результати спектрального аналізу наплавленого шару</b> .....	55
<b>3.2 Металографічний аналіз наплавленого шару</b> .....	56
<b>3.3 Механічні властивості наплавленого шару</b> .....	58
<b>3.4 Визначення корозійної стійкості після наплавки</b> .....	60
<b>ВИСНОВОК</b> .....	62
<b>РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА</b> .....	63
<b>4.1 Теоретична частина</b> .....	63
<b>4.2 Розрахунок технологічної собівартості</b> .....	63
<b>4.2 Розрахунок накладних витрат</b> .....	67
<b>ВИСНОВОК</b> .....	71
<b>РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ</b> .....	72
<b>5.1 Причини виникнення шкідливих та небезпечних факторів під час дугового зварювання</b> .....	72
<b>5.2 Шкідливі речовини, що утворюються під час зварювання</b> .....	72
<b>5.3 Класифікація шкідливих речовин</b> .....	73
<b>5.4 Зварювальні аерозолі</b> .....	74
<b>5.5 Ручне дугове зварювання покритими електродами</b> .....	74
<b>5.6 Вентиляція для зварювальних цехів</b> .....	76
<b>5.7 Дія на організм електромагнітних полів та безпека в зварювальному виробництві</b> .....	78
<b>5.8 Екологічні вимоги при проведенні зварювальних робіт</b> .....	79
<b>ВИСНОВОК</b> .....	81
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	82

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ..... 84**

С У М І Т

## ВСТУП

У сучасному світі криогенні продукти є невід'ємною частиною безлічі технологічних процесів в енергетиці, нафтогазовій галузі, металургії, космонавтиці, хімічній промисловості, медицині та багатьох інших сферах життя людини. До криогенних продуктів відносять речовини або суміші речовин, що перебувають при криогенних температурах (нижче 120 К). Найбільш широко поширені продукти низькотемпературного поділу повітря та інертні гази: азот, кисень, аргон, неон, криптон, ксенон, озон, фтор, метан, водень, гелій. Для отримання, зберігання, транспортування і використання криогенних продуктів потрібні спеціальні пристрої, що відповідають особливим властивостям скраплених газів і забезпечують безпеку персоналу під час роботи з криопродуктами.

Криогенні насоси призначені для перекачування криогенних продуктів і можуть бути поршневого або відцентрового типу. Поршневі кріонасоси використовують для отримання і переміщення таких зріджених газів, як кисень, азот, водень, гелій, аргон, природний газ. За допомогою насосів цього типу здійснюють перекачування криогенних рідин у резервуари і балони, також поршневі насоси входять до складу газифікаційних установок.

Роль випускного клапана в паливній системі двигуна дуже важлива, оскільки він відіграє ключову роль у контролі кількості повітря, що надходить у циліндри двигуна.

Випускний клапан регулює тиск повітря, що подається в циліндри двигуна. Він відкривається та закривається в певний час, залежно від ступеня роботи двигуна та потреби повітря. Зазвичай клапан закритий, що дозволяє зберігати повітря під тиском, необхідним для електричної системи.

Під час відкриття клапана в циліндрах формується підкачувана суміш повітря і палива, що є необхідною умовою для подальшого згорання. Крім того, нагнітальний клапан виконує важливу функцію у контролі апедаківного ефекту, який може виникати при високих обертах двигуна. Апедаківний ефект виникає, коли у циліндрі залишається зайве повітря, що може призвести до зниження

продуктивності двигуна. Нагнітальний клапан регулює цей ефект, контролюючи кількість повітря, яке потрапляє в циліндр, і створюючи оптимальні умови для стабільної та ефективної роботи двигуна.

**Мета роботи** — аналіз структурного стану та механічних властивостей наплавленого шару, отриманого методом ручного дугового наплавлення з метою удосконалення режиму відновлення поверхні випускних клапанів насосів, виготовлених з аустенітних сталей.

**Завдання досліджень:**

1. Провести літературний огляд щодо пошуку технології відновлення працездатності деталі «випускний клапан» циліндричної пари.
2. Проаналізувати наплавочні матеріали, що використовуються для відновлення робочої поверхні деталі методом наплавлення.
3. Дослідити процеси наплавлення деталі з урахуванням обраних наплавлювальних матеріалів.
4. Охарактеризувати вплив обраних наплавлювальних матеріалів на структуру, механічні та експлуатаційні властивості наплавленого шару.
5. Розробити рекомендації для впровадження у виробництво.

**Об'єкт дослідження:** деталь «випускний клапан» циліндричної пари для перекачування рідин при температурі  $-196^{\circ}\text{C}$ .

**Предмет дослідження:** процес поверхневого відновлення робочої частини клапану методом наплавлення.

**Методи дослідження:** металографічний аналіз, спектральний аналіз, визначення механічних властивостей наплавленого металу, проведення випробувань на корозійну стійкість наплавленого металу, визначення феритної фази магнітним методом.

Наукова новизна одержаних результатів.

4. У дослідженні розглянуті можливості подальшого розвитку концепцій для покращення якості поверхневого шару нержавіючої аустенітної сталі. Отримані результати свідчать про потенційну можливість впливу на структуру наплавлення за допомогою нових матеріалів для наплавлення.

5. Отриманий наплавлений шар з аустенітною структурою, хімічний склад якого відповідає сталі 12X18H10T. Установлений взаємозв'язок між структурою і властивостями отриманих поверхонь.

6. Доведено, що використання запропонованої технології наплавлення призводить до значного економічного ефекту, забезпечуючи зниження витрат на вихідні матеріали при збереженні високої якості покриття.

**Практична цінність** отриманих результатів полягає в тому, що удосконалена технологія наплавлення з використанням нових матеріалів рекомендується для впровадження у виробництво.

**Особистий внесок дослідника** включає проведення літературного огляду з теми кваліфікаційної роботи, формування мети і задач дослідження, підготовку зразків, проведення лабораторних і промислових випробувань, спільно з науковим керівником узагальнення та аналіз результатів, формулювання висновків і написання наукових публікацій.

## РОЗДІЛ 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

### 1.1 Аналіз умов роботи випускного клапану

Роль випускного клапана в паливній системі двигуна дуже важлива, оскільки він відіграє ключову роль у контролі кількості повітря, що надходить у циліндри двигуна. Цей процес допомагає досягти більш ефективного спалювання палива, тим самим покращуючи продуктивність і ефективність двигуна [1].

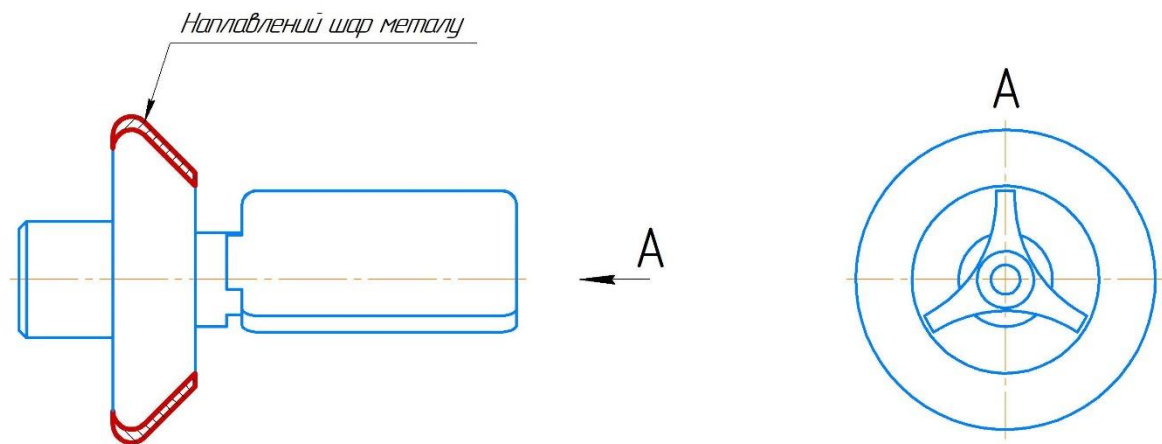


Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд випускного клапана після відновлення наплавленням

Випускний клапан регулює тиск повітря, що подається в циліндри двигуна. Він відкривається та закривається в певний час, залежно від ступеня роботи двигуна та потреби повітря. Зазвичай клапан закритий, що дозволяє зберігати повітря під тиском, необхідним для електричної системи.

Під час відкриття клапана в циліндрах формується підкачувана суміш повітря і палива, що є необхідною умовою для подальшого згорання. Крім того, нагнітальний клапан виконує важливу функцію у контролі апедаківного ефекту, який може виникати при високих обертах двигуна. Апедаківний ефект виникає, коли у циліндрі залишається зайве повітря, що може призвести до зниження

продуктивності двигуна. Нагнітальний клапан регулює цей ефект, контролюючи кількість повітря, яке потрапляє в циліндр, і створюючи оптимальні умови для стабільної та ефективної роботи двигуна.

Тип насоса двигуна з нагнітальним клапаном [2]:

- Насоси з нагнітальними клапанами є важливою частиною системи живлення двигуна. Вони служать для подачі повітря в циліндри двигуна під певним тиском, що сприяє ефективному згорянню палива. Залежно від типу двигуна, двигун може використовувати різні типи насосів з нагнітальними клапанами. Нижче описано три найпоширеніші типи насосів з випускним клапаном:

Ротаційні насоси з нагнітальним клапаном:

- Ротаційні насоси з нагнітальним клапаном становлять один із найпоширеніших типів насосів, що використовуються у системах живлення двигуна. Їх особлива роторна конструкція дозволяє генерувати підкачування повітря під час обертання ротора. Ротор обладнаний відкритими та закритими каналами, які регулюють потік повітря. Під час обертання ротора повітря всмоктується через відкриті канали, а потім стискається в закритих каналах перед подачею до циліндрів двигуна.

Центрифугальні насоси з нагнітальним клапаном [3]:

- Відцентрові насоси з нагнітальними клапанами використовують обертання ротора для створення потоку повітря. Ротор спеціально розроблений з лопатями, які створюють відцентрову силу. Коли ротор обертається, повітря під певним тиском всмоктується з входу в насос і з високою швидкістю виходить з випуску. Цей тип насоса зазвичай використовується в багатоциліндрових двигунах, де кожен циліндр має власний нагнітальний клапан і насос.

Електропневматичні насоси з нагнітальним клапаном [4]:

У сучасних електронних системах живлення двигунів використовуються електропневматичні насоси з нагнітальними клапанами. Ці насоси живляться від електричної енергії, яка перетворюється на тиск повітря для подачі повітря

в циліндри двигуна. Цим типом насоса можна керувати електронною системою, що дозволяє точно та контрольовано подавати повітря до двигуна відповідно до його потреб.

Дизельний двигун з прямим уприскуванням палива

Основні особливості та принципи роботи:

Пряме вприскування палива:

У дизельному двигуні з безпосереднім уприскуванням палива (дизель) подається безпосередньо в циліндри двигуна, минаючи стадію попереднього змішування вприскування палива, забезпечуючи більш точне дозування палива та краще керування процесом згоряння.

## 1.2 Види зміцнення

Усі відомі методи зміцнення розподілені на 4 основних класів [5]:

1. зміцнення з утворенням плівки на поверхні;
2. зі зміною хімічного складу поверхневого шару;
3. зі зміною структури поверхневого шару;
4. зі зміною енергетичного запасу поверхневого шару;

### 1. Зміцнення з утворенням плівки на поверхні

До методів зміцнення з утворенням плівки на поверхні належать [5, 6]:

а) осадження в результаті хімічної реакції (оксидування, фосфатування, осадження з газової фази);

б) електролітичне осадження (хромування, силіціювання, нікелювання, електрофорез, борування, борохромування, хромофосфатування);

в) термічне нанесення покриттів з матеріалів із потрібними властивостями (плазмове, детонаційне, електродугове; наплавлення матеріалів: лазерне, індукційне, плазмове, тощо).

### 2. Зміцнення зі зміною хімічного складу поверхневого шару металу

Існують такі методи зміцнення зі зміною хімічного складу поверхневого шару металу [5]:

а) дифузійне насичення (ціанування, азотування, нітроцементация тощо);



### 3. Зміцнення зі зміною структури поверхневого шару

До методів зміцнення зі зміною структури поверхневого шару належать [5, 7]:

- а) фізико-термічна обробка (лазерне гартування, плазмове гартування);
- б) електрофізична обробка (електроконтактна, магнітна);
- в) напилення легуючих елементів (газовим полум'ям, електричною дугою, плазмою, лазерним променем, пучком іонів тощо).

### 4. Зміцнення зі зміною енергетичного запасу поверхневого шару

Існують такі методи зміцнення зі змінюванням енергетичного запасу поверхневого шару [5, 8]:

- а) обробка в магнітному полі (термомагнітна, обробка магнітним полем);
- б) обробка в електричному полі.

#### 1.2.1 Оксидування

Оксидування – обробка поверхні металу або напівпровідникового матеріалу хімічними або електрохімічними (анодне окислення) методами з утворенням оксидної плівки на поверхні. Такі плівки (завтовшки від часток мікрона до 500...600 мкм) покращують корозійну стійкість, зносостійкість та електроізоляційні властивості виробів, надають їм естетичного вигляду [9]. Оксидування використовують у приладобудуванні, авіа- та машинобудуванні, оздобленні архітектури та архітектурних деталей, металевих побутових виробів тощо.

##### Принцип роботи

У цьому процесі поверхню металевої деталі обробляють розчином або розплавом відповідної речовини. У процесі окислення верхній шар металу пасивується і в процесі обробки втрачає хімічну активність. На пасивованому металі утворюється захисний шар.

Хімічне окислення металів здійснюється шляхом занурення підготовлених виробів у розчин певної концентрації лужних або кислих речовин. Після витримки в розчині протягом необхідного часу для завершення

окисно-відновної реакції деталі очищаються, висушуються і відправляються на стадію остаточної обробки.

Використовуються різні матеріали, наприклад суміш ортофосфорної кислоти (або азотної кислоти) і соляної кислоти з додаванням  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  і  $\text{Mn}$ . Розплави, що складаються з нітрату і нітриту натрію з додаванням оксиду марганцю ( $\text{MnO}_2$ ), також можна використовувати при температурах від 250 до 300 °С.



Рисунок 1.2 – Загальна схема установки для мікродугового окиснення [10]

Переваги включають швидкість процесу, простоту впровадження та використання наявного обладнання, щоб зробити процес економічно доцільним. Оброблений продукт довго зберігає свої структурні властивості, а зовнішній вигляд залишається незмінним. Під час обробки зникають дрібні тріщини та подряпини.

Однак він також має деякі недоліки, такі як обмежена механічна міцність, особливо при високих температурах, низька адгезія та схильність до втомного розтріскування.

### 1.2.2 Фосфатування

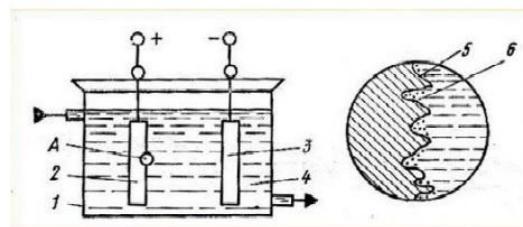
Фосфатування - це процес утворення тонкої плівки нерозчинного фосфату на металевій поверхні [11]. Процес може здійснюватися хімічним (у ванні з розчином або розчином для розпилення) або електрохімічним шляхом.

Температура ванни для обробки чорних металів зазвичай не перевищує 90°C, а товщина утвореної плівки коливається від 0,002 до 0,050 мкм.

Принцип дії полягає в тому, що перед початком процесу поверхня металу ретельно очищається гідроабразивними методами для досягнення найвищої якості. Далі йде підготовка, що включає обробку кислотою, содовим розчином і промивання водою. Після закінчення цих процедур виріб обробляють робочим розчином, основними компонентами якого є фосфати заліза і марганцю.

До фосфатуючих матеріалів належать первинні фосфати металів, переважно заліза, марганцю та цинку.

### Електрохімічна обробка



- 1 - ванна,
- 2 - деталь,
- 3 - електрод,
- 4 - електроліт,
- 5 - поверхня,
- 6 - продукти анодного розчинення

Рисунок 1.3 – Схема фосфатування [12]

Фосфатування застосовується як покриття, що забезпечує корозійний захист і володіє електроізоляційними властивостями. Основні переваги цього методу включають поліпшення якісних характеристик отриманих виробів, таких як [12]:

високий рівень антикорозійного захисту;

підвищена твердість та довговічність;

тривалий термін служби.

Недоліком цього процесу є зростання крихкості сталі.

### 1.2.3 Хромування

Хромування - це процес насичення поверхні виробів хромом. Дифузійному хромуванню піддають чавуни, сталі різних класів, сплави на основі нікелю, молібдену, вольфраму, ніобію, кобальту і металокерамічні матеріали. Процедура хромування відбувається в вакуумних камерах при тисці

$10^{-10} - 10^{-10}$  Па при температурі  $1420^{\circ}\text{C}$ . За 18-24 години отримують хромований шар товщиною 2,0 - 2,5 мм із концентрацією на поверхні до 70% хрому [13].

Принцип роботи процесу хромування включає наступні кроки для деталей, які піддаються обробці [14]:

- Очищення для видалення сильних забруднень.
- Тонке очищення для видалення слідів забруднень.
- Попередня підготовка, яка варіюється залежно від матеріалу основи.
- Поміщення у ванну з насиченим розчином і вирівнювання температури.
- Підключення струму і витримка до досягнення потрібної товщини хрому.



Рисунок 1.4 – Схема хромування деталей [15]

При хромуванні використовують аноди з чистого свинцю або сплаву свинцю з 4-6 % сурми, а також платинований титан стає популярним варіантом анодів. Аноди можуть бути виготовлені як із стрижнів діаметром 10-15 мм, так і з листів. Використання розчинних анодів не є доцільним, оскільки хром переважно розчиняється у вигляді тривалентних іонів. Важливо, щоб співвідношення між поверхнею анодів і катодів знаходилося в межах від 1:2 до 2:3.

Переваги хромування включають хімічну стійкість хрому проти багатьох кислот і лугів, його жаростійкість, що надає деталям високу зносостійкість навіть в екстремальних умовах експлуатації. Зносостійкість покриття може перевищувати в 2-5 разів зносостійкість загартованої сталі, особливо при твердості від 7000 до 9200 МПа.

Недоліки хромування включають його енергоємність, високі витрати та обмежену продуктивність, що робить його витратним та менш ефективним процесом.

#### 1.2.4 Детонаційне нанесення покриття

Для детонаційного методу використовується енергія киснево-ацетиленових вибухів, яка забезпечує необхідне розігрівання та прискорення напилюваного матеріалу. У випадку плазмового методу, енергія постачається плазмовим струменем [16]. Розпилювані частки матеріалу вдаряються в поверхню і розплющуються, утворюючи тонкі лусочки, які прикріплюються до поверхні через механічну та фізико-механічну взаємодію з основним матеріалом.

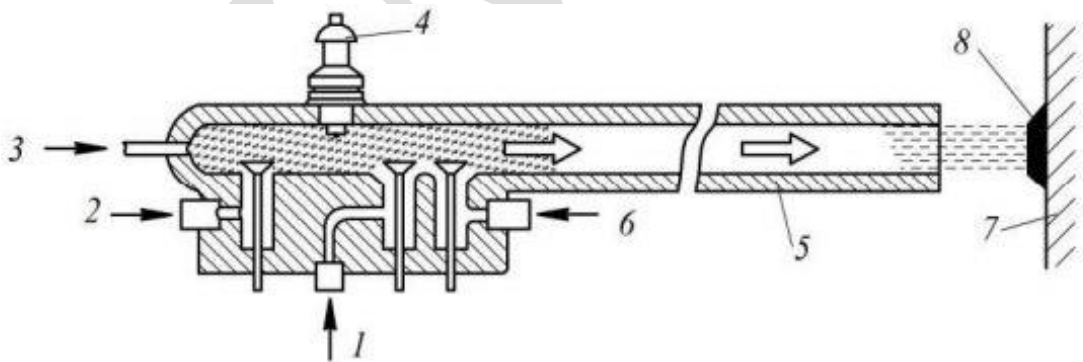


Рисунок 1.5 – Схема детонаційного пристрою з внутрішнім суміші створенням: 1 – ацетилен; 2 – азот; 3 – подача порошку; 4 – свічка запалювання; 5 – вихідна труба; 6 – кисень; 7 – деталь; 8 – пляма покриття [17]

Принцип роботи полягає в нагріванні та розгоні частинок матеріалу, який напилюється, за рахунок енергії детонації газової суміші (ацетилен-кисень), і подальшому їхньому направленні на підкладку (деталь).

Детонаційна установка з внутрішніми сумішоутворювачами складається з водоохолоджуючого стволу завдовжки 1-1,8 метра та внутрішнім діаметром від 10 до 40 мм. У ствол постачається суміш кисню і ацетилену разом із порцією порошку.

Для детонаційного напилення використовують такі матеріали як [17]:

- залізо, нікель, хром, мідні сплави, цинк, оксид алюмінію, вольфрам, молібден і багато інших;
- тверді сплави, композиційні суміші;
- карбід хрому-ніхрому, карбонітрид титану.

Переваги детонаційного нанесення покриття:

- Висока якість покриття;
- Велика швидкість нанесення;
- Здатність наносити на різні матеріали;
- Мінімальна деформація деталі;
- Висока стійкість до корозії та зношування.

Недоліки детонаційного нанесення покриття:

- Висока температура та тиск;
- Обмеженість розмірів деталей.

### **1.2.5 Ручне дугове зварювання**

Ручне дугове зварювання - це процес, при якому робітник вручну створює нероз'ємне з'єднання шляхом розплавлення крайок зварювальних заготовок і матеріалу для припою (електродів), за допомогою електричної дуги [18]. Під час цього процесу відбувається розплавлення металу та кристалізація розплавленої ванни, що призводить до формування зварного шва.

Електрична зварювальна дуга представляє собою електричний розряд у подовженому вогніщі між електродом і металом, який зварюється [19]. Вона відрізняється яскравим світінням і високою температурою, що може досягати 6000-7000 °С в середині дуги.

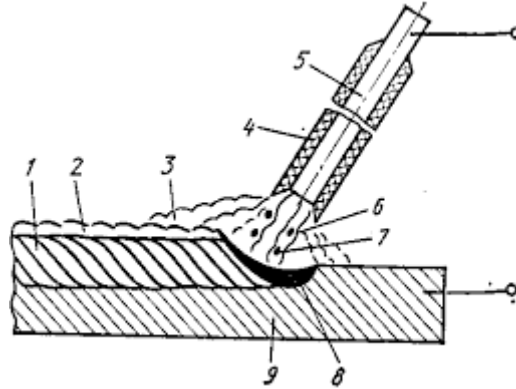


Рисунок 1.6 – Схема ручного дугового зварювання металевим покритим електродом: 1– зварний шов; 2 – газова шлакова корочка; 3 – захисна газова атмосфера; 4 – електродне покриття; 5 – електродний стержень; 6 – електрична дуга; 7 – краплі електродного металу; 8 – зварна ванна; 9 – заготовка [20]

Принцип роботи полягає в тому, що при контакті електрода з металевою деталлю утворюється електричне коло, кінець якого нагрівається. Піднявши електрод на 3-5 мм від деталі, утворюється дуговий розряд, який підтримує струм. Інтенсивне нагрівання викликає розплавлення металу основної деталі поблизу дуги, і розплавлений метал електрода поступово вливається в цю розплавлену "зварювальну ванну".

Матеріали для використання в ручному дуговому зварюванні включають широкий асортимент різноманітних електродів, кожен з яких призначений для досягнення конкретних властивостей:

Електроди для вуглецевих та низьколегованих сталей, такі як УОНІ-13/55, SF-6013, SF-7016, SF-7018, АНО-21, АНО-36 і інші.

Електроди для теплостійких сталей, такі як ТМЛ-1У, ТМЛ-3У, ТМУ-21У, ЦУ-5 та інші.



Електроди для нержавіючих сталей, наприклад, ОЗЛ-6, ОЗЛ-8, ЗІО-8, ЗІФ-8, ЦЛ-11, НІІ-48Г та інші.

Електроди для наплавлення, такі як Т-590, SF 55, ЦНІН-4, ОЗН-400М та інші.

Переваги ручного дугового зварювання включають гнучкість та портативність, низьку вартість обладнання і здатність зварювати різні матеріали. Однак цей метод має свої недоліки, такі як низька продуктивність і висока витрата робочого часу.

### 1.2.6 Азотування

Азотування - це процес, який включає дифузійне насичення азотом поверхневого шару сталі. Цей метод суттєво підвищує твердість поверхневого шару, його стійкість до зношування, межу витривалості та опір корозії у різних середовищах, таких як атмосфера, вода, пар та інше [21].

Для азотування використовується спеціальна муфельна піч із герметично закриваючимися дверцятами, яка може створювати температуру в межах 500-600 градусів за Цельсієм всередині. Коли поверхня розташованої в печі заготовки досягає цієї температури, її утримують при такому нагріванні протягом певного часу.

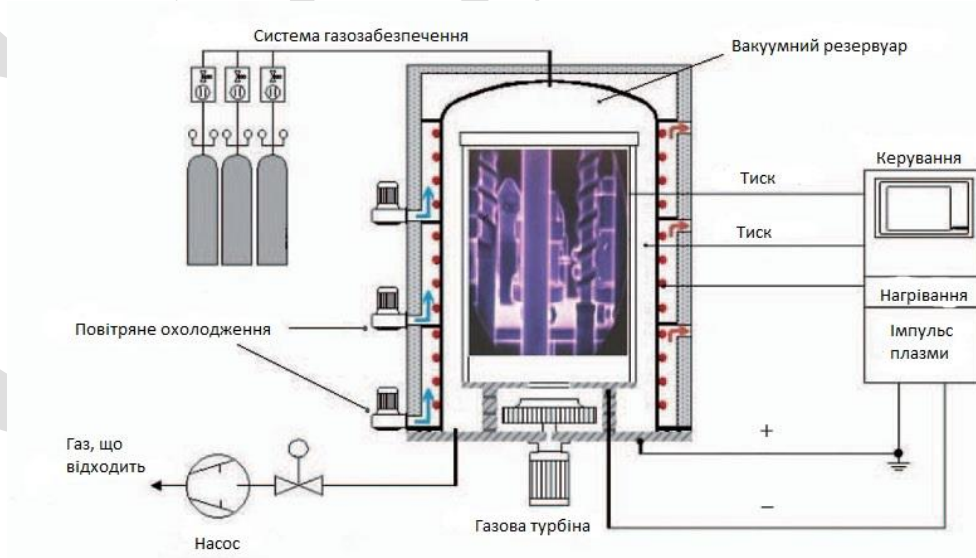


Рисунок 1.7 – Схема установки процесу азотування [22]



Процес азотування може тривати від 4 до 100 годин. Після 100 годин товщина шару збільшується дуже повільно, що робить процес недоцільним.

Переваги азотування:

- Покращення міцності і твердості;
- Захист від корозії;
- Покращення зносостійкості;

Недоліки азотування:

- Обмеженість матеріалів;
- Точність контролю товщини шару;

### 1.2.7 Лазерне зміцнення

Процес лазерного зміцнення ґрунтується на швидкому нагріванні поверхневого шару металу до високої температури, тобто температури плавлення, і наступному швидкому охолодженні. Це досягається відводженням тепла в основний об'єм металу, який залишається практично холодним. Загалом лазерне зміцнення є ефективним методом для поліпшення властивостей металевих виробів [5].

У лазерному зміцненні використовуються також неметалеві матеріали, які дозволяють отримати специфічні структури поверхневого шару з різним вмістом неметалевої фази.

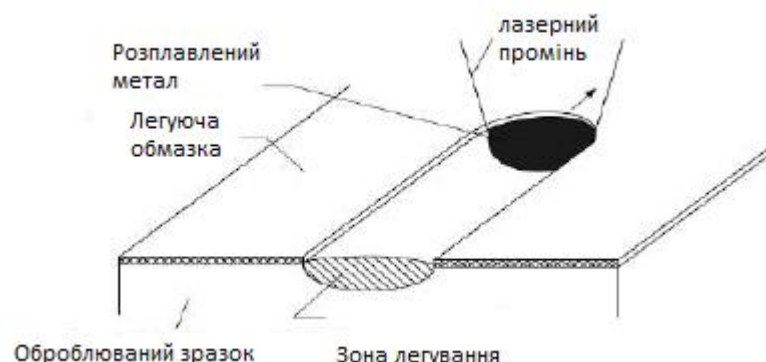


Рисунок 1.8 – Схема лазерного зміцнення [23]

Переваги лазерного зміцнення:

- Покращення механічних властивостей;
- Висока точність;
- Швидкість обробки;

Недоліки лазерного зміцнення:

- Висока вартість обладнання;
- Обмежена глибина зміцнення;
- Потреба високої енергії;

### **1.2.8 Газове наплавлення**

Газове наплавлення - це спосіб зварювання, при якому плавлення основного металу здійснюється за допомогою газового полум'я. Воно рідко використовується в промисловості, оскільки його важко механізувати. Зазвичай газове наплавлення застосовується для індивідуального проведення ремонтних робіт [24].

Принцип роботи газового наплавлення полягає в тому, що кисень і горючий газ подаються в газовий пальник через гумові шланги. На виході з сопла пальника утворюється полум'я, яке плавить основний метал. Потужність і склад полум'я можна регулювати, змінюючи витрату газу і співвідношення між киснем і горючим газом.

Присадковий матеріал у газовому наплавленні - це прутки, які мають той же склад, що й основний метал. Вони використовуються для заповнення зварювальної ванни і формування валика наплавленого металу.

Переваги газового наплавлення:

- Простота обладнання і технології.
- Можливість наплавлення металів різної товщини.
- Можливість наплавлення металів, які не можна зварювати іншими способами.

Недоліки газового наплавлення:

- Труднощі механізації процесу.
- Високий витрата газу.

- Небезпека вибуху і пожежі.

Застосування газового наплавлення:

- Ремонт металоконструкцій.
- Наплавлення деталей машин і механізмів.
- Наплавлення деталей, які працюють в умовах підвищеної температури або агресивного середовища.

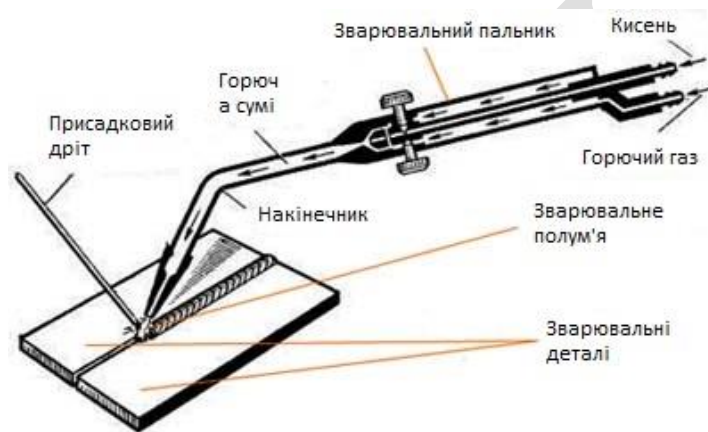


Рисунок 1.9 – Схема процесу газового зварювання [25]

Матеріали: для газового наплавлення розділяють на 2 групи основні та допоміжні. До основних матеріалів відносять полум'я-утворювальні гази (ацетилен, пропан, бутан та їхні суміші, кисень) і порошкові само-флюсувальні сплави.

Переваги газового наплавлення [26]:

- Висока якість наплавленого шару;
- Мінімальна деформація;
- Можливість наплавлення різних матеріалів;

Недоліки газового наплавлення:

- Потреба в спеціалізованому забезпеченні;
- Специфічні умови роботи;

### 1.2.9 Магнітне зміцнення

Люди цікавляться магнетизмом вже майже 200 років. Електро-магнітні поля успішно використовуються в сучасній техніці та технологіях для керування властивостями об'єктів і рідин. Магнітну обробку застосовують для покращення властивостей конструкційних матеріалів, води, розчинів, дисперсних систем, гуми, ріжучих та вимірювальних інструментів, зубчастих коліс, кабелів, заклепок та верстатів[5].

Як працює магнітна обробка

При обробці в магнітному полі (рис.1.10) заготовка поміщається в середину електромагніту, до якого підключений генератор імпульсів. Напруженість магнітного поля, тривалість імпульсу і кількість імпульсів залежать від конкретної заготовки, що обробляється, включаючи матеріал, форму, розміри і процес термообробки.

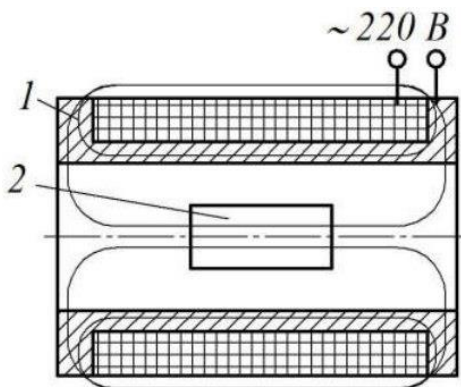


Рисунок 1.10 – Обробка імпульсним магнітним полем: 1 – заготовка; 2 – соленоїд [27]

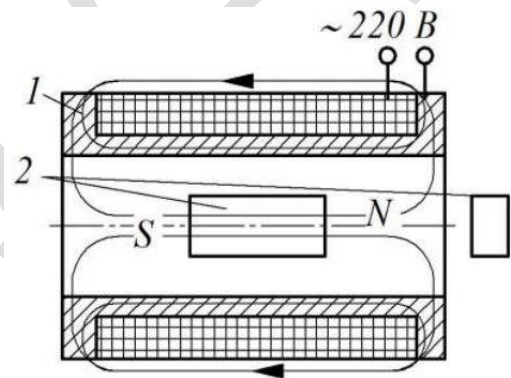


Рисунок 1.11 – Обробка постійним магнітним полем: 1 – соленоїд; 2 – заготовка [27]

Матеріали: для магнітної обробки деталі використовують соленоїд, джерело постійного струму.

Переваги магнітного зміцнення [28]:

- Застосування в технології;
- Можливості контролю;
- Підвищення міцності матеріалів;

Недоліки магнітного зміцнення:

- Вартість;
- Залежність від температури;
- Магнітні втрати.

## ВИСНОВОК

Нагнітальні клапани в кріогеніці - це важливі елементи, які забезпечують контроль потоку рідкого газу та його тиску. Вони використовуються в системах, де використовується кріогеніка, таких як кріогенні апарати, системи зберігання та транспортування рідкого газу.

Нагнітальні клапани в кріогеніці повинні бути герметичними, стійкими до низьких температур та корозії.

При виборі нагнітальних клапанів для конкретного застосування необхідно враховувати тип рідкого газу, обсяг потоку, максимальний тиск.

Методи обробки металів мають різні переваги та недоліки.

Ручне дугове зварювання є гнучким, портативним та вартісно-ефективним, але має низьку продуктивність і можливі дефекти.

Інші методи, такі як фосфатування, борування, детонаційне напилення, лазерне зміцнення, електронна гармата, газове наплавлення, магнітна обробка, також можуть бути ефективними в певних умовах застосування. Кожен метод має свої переваги та недоліки, які слід враховувати при виборі оптимального способу обробки металів.

Вибір методу обробки металів повинен бути обдуманим компромісом між ефективністю, вартістю, продуктивністю та здатністю враховувати специфічні вимоги конкретного проекту.

## РОЗДІЛ 2 ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Вибір матеріалу

В рамках магістерської кваліфікаційної роботи для дослідження була обрана сталь 12X18H10T.

Нержавіюча (корозійностійка) сталь 12X18H10T відноситься до аустенітного сімейства і характеризується високими міцнісними властивостями, стійкістю до негативного впливу атмосфери і різних видів кислот, в тому числі нітратів.

При цьому важливо відзначити, що сталь 12X18H10T не забруднює і не змінює хімічний склад газів, рідин і сипучих тіл, з якими вона контактує. [29].

Сталь 12X18H10T корозійностійка, стійка, високоякісна і високолегована.

Відповідно до [30] основним елементом сплаву 12X18H10T є залізо (Fe).

Крім того, до складу хромонікелевої сталі входять наступні співвідношення хімічних елементів: хром (Cr) 17-19%, нікель (Ni) 9-11%, титан (Ti) близько 0,8%, кремній (Si) 0,8 % або менше, сірки (S) 0,02 % або менше, марганцю (Mn) 2 % або менше, міді (Cu) 0,03 % або менше, фосфору (P) 0,035 %, вуглецю (C) 0,12 % або менше.

Цей вид сталі плавлять в електродуговій печі.

Таблиця 2.1

Хімічний склад сталі 12X18H10T, % [31]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	
≤ 0,12	≤ 0,8	≤ 2,0	9 - 11	≤ 0,02	≤ 0,035	17 - 19	≤ 0,12	(5 C – 0,8) Ti, решта Fe

Приналежність сталі до певного класу можна визначити по діаграмі Шеффлера (рис. 2.1) [32].

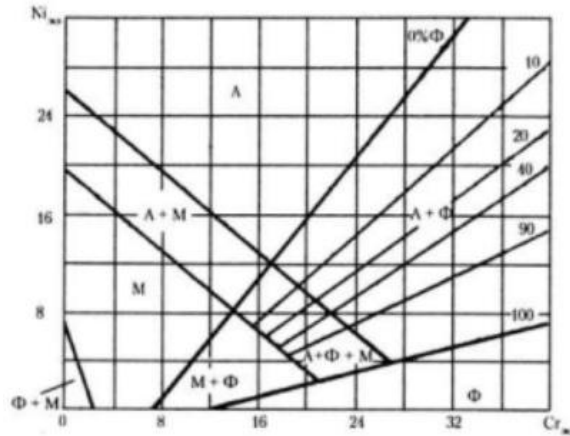


Рисунок 2.1 – Діаграма Шефлера [33]

Розрахунки нікелевих і хромових еквівалентів виконано за результатами спектрального (хімічного) аналізу сталі 12Х18Н10Т (Додаток А).

Коефіцієнти у формулах, які використовуються для визначення цих еквівалентів, наведені для конкретних хімічних елементів.

Що стосується позначення самих хімічних елементів у формулі, ми припускаємо процентний склад елемента, визначений спектральним аналізом.

Для визначення структури металу досліджуваної сталі 12Х18Н10Т необхідно:

1. Обчисліть еквіваленти хрому та нікелю ( $Ni_{екв}$  та  $Cr_{екв}$ ) на основі відомого хімічного складу сталі (Додаток А).
2. Відкладіть визначені дані вертикальної та горизонтальної осей і знайдіть перетин області діаграми.
3. Ця точка показує структуру сталі.

$$Ni_{екв} = Ni\% + 30C\% + 30N\% + 0,5Mn\%, \quad (2.1)$$

$$Cr_{екв} = Cr\% + 2Mo\% + 1,5Si\% + 5Ti\% + 2Nb\% + 2Al\% + 1,5W\% + V\%. \quad (2.2)$$

Враховуючи дані зазначені в додатку Б, отримав наступні значення (рисунок 2.2):

$$Ni_{екв} = 9,19 + 30 \cdot 0,08 + 0,5 \cdot 0,69 = 9,19 + 2,4 + 0,345 = 11,94$$



$$Cr_{\text{екв}} = 17,91 + 2 \cdot 0,38 + 1,5 \cdot 0,17 + 5 \cdot 0,69 = 17,91 + 0,76 + 0,255 + 3,45 = 22,38$$

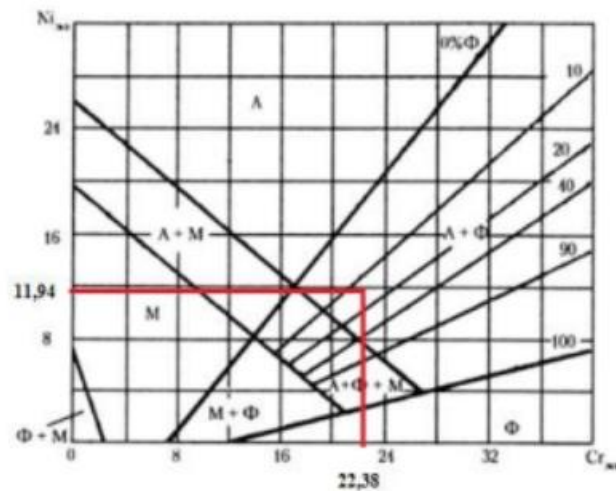


Рисунок 2.2 – Визначення структури сталі за підрахунками еквівалентів нікелю та хрому.

Враховуючи попередні розрахунки, сталь 12X18H10T відноситься до аустенітно-феритної системи.

Оскільки ці зразки сталі 12X18H10T належать до класу переходу аустеніт + ферит, необхідно визначити вміст фериту.

Вміст фериту можна розрахувати за допомогою діаграми Шеффлера, враховуючи значення еквівалентів нікелю та хрому.

$$\Phi = 1,05 Cr_{\text{екв}} + 5,31 - \sqrt{1,1 Cr_{\text{екв}}^2 - 35,4 Cr_{\text{екв}} + 45,7 Ni_{\text{екв}} + 284}, \% \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} \Phi &= 1,05 \times 22,38 + 5,31 \\ &\quad - \sqrt{1,1 \times 22,38^2_{\text{екв}} - 35,42 \times 22,38_{\text{екв}} + 45,7 \times 11,94_{\text{екв}} + 284} \\ &= 4,51\% \end{aligned}$$

Значну кількість властивостей сталі 12X18H10T ми маємо можливість отримати з літературних джерел [31].

Основні характеристики та властивості сталі 12X18H10T наведені в табл. 2.2 - 2.5 [31].

Таблиця 2.2

## Характеристика сталі 12Х18Н10Т [31]

Марка сталі:	12Х18Н10Т
Замінник:	08Х18Г8Н2Т, 10Х14Г14Н4Т, 12Х17Г9АН4, 08Х22Н6Т, 08Х17Т, 15Х25Т, 12Х18Н9Т
Класифікація:	сталь конструкційна, криогенна
Застосування:	Деталі, що експлуатуються до 600 °С, включають зварні апарати і посудини, що функціонують в розчинах азотної, оцтової, фосфорної кислот, лугів і солей. Також до цієї категорії належать інші елементи, які працюють під тиском при температурі від -196 до +600 °С, і в разі взаємодії з агресивними середовищами - до +350 °С. Ці деталі виготовлені зі сталі аустенітного класу.

Таблиця 2.3

## Механічні властивості 12Х18Н10Т при підвищених температурах [31]

$T_{\text{випробування}},$ °С		700	650	600	550	500	20
$\sigma_{0,2},$ МПа	Гартування 1050-	120-	20-	120-	135-	135-	225-
		195	195	205	205	205	315
$\sigma_B,$ МПа	1100°С, оохолоджен	265-	270-	340-	380-	390-	550-
		360	390	410	450	440	650
$\delta_5,$ %	ня на повітрі	20-38	27-37	28-38	31-41	30-42	46-74
$\psi,$ %		40-70	52-73	51-74	61-68	60-70	66-80
КСУ, Дж/м <sup>2</sup>		255-	245-	196-	215-	196-	215-
		353	353	358	353	353	372

Таблиця 2.4

## Фізичні властивості 12X18H10T [31]

Температура випробування, °С	Модуль нормальної пружності, Е, Гпа	Модуль пружності при зсуві крутінням G, Гпа	Щільність, кг/см <sup>3</sup>	Коефіцієнт теплопровідності Вт/(м·°С)	Питомий електроопір (ρ, НОм·м)
20	198	77	7900	15	725
100	194	74		16	792
200	189	71		18	861
300	181	67		19	920
400	174	63		21	976
500	166	59		23	1028
600	157	57		25	1075
700	147	54		27	1115

Таблиця 2.5

## Механічні властивості при T=20 °С матеріалу 12X18H10T [31]

Сортамент	Розмір мм	σ <sub>в</sub> , МПа	σ <sub>т</sub> , Мпа	δ <sub>5</sub> , %	ψ, %	КСУ, кДж / м <sup>2</sup>	Термообр. -
Труби холоднодеформовані, [34]		549		35			
Труби гарячедеформовані, [35]		529		40			
Поковки, [36]	до 1000	510	196	35-38	40-52		Гартування 1050 - 1100 °С, вода

Основними легуючими елементами марки 12X18H10T є Cr (хром), Ni (нікель) і Ti (титан).

Високий вміст хрому (17-19%) є основним легуючим елементом, який надає металу пасивуючу здатність і надає сталі міцну корозійну стійкість.

Вміст нікелю (9-11%) призводить до аустенітності сталі [37].

Ця властивість дозволяє поєднувати технічні переваги нержавіючої сталі з широким спектром експлуатаційних властивостей.

Такі сталі легко прокатуються як в холодних, так і в гарячих умовах і мають вищу стійкість до корозії, ніж феритні сталі, в агресивних середовищах, таких як сірчана кислота. [37].

Вміст нікелю і хрому в сплаві особливо впливає на стійкість аустеніту при охолодженні до температури обробки (1050-1100 °C) до твердого розчину.

Присутності 0,1% вуглецю (C) достатньо для того, щоб сталь стала повністю аустенітною при температурах вище 900 °C.

Це пояснюється сильним аустенітоутворюючим ефектом цього хімічного елемента.

Крім впливу основних легуючих елементів, важливо враховувати наявність у сплаві елементів, таких як титан, алюміній і кремній, які надають сплаву феритних властивостей.

Додавання сильних карбідоутворюючих елементів, таких як титан (Ti), усуває сприйнятливність сталі до міжкристалічної корозії.

При взаємодії з вуглецем (C) утворює тугоплавкий карбід TiC, який перешкоджає зниженню концентрації хрому (Cr) у сплаві внаслідок утворення карбиду.

Кремній (Si) має вміст менше 0,8% в 12X18H10T, підвищує щільність сталі та призводить до дегазації.

Додавання цього елемента підвищує міцність матеріалу, але трохи знижує його пластичність, ускладнюючи холодну прокатку.

Марганець (Mn), введений в сплав, затримує ріст зерен і сприяє утворенню дрібнозернистої сталі.

Максимальний вміст фосфору (P) в сталі 12X18H10T не повинен перевищувати 0,035%.

Це важливий показник для сталей, які використовуються при криогенних температурах.

Високий вміст фосфору впливає на механічні властивості сплаву, створюючи міцну первинну ізоляцію під час кристалізації та знижуючи пластичність металу при низьких температурах.

Основними перевагами сталі 12X18H10T є висока ударостійкість і пластичність.

До недоліків відноситься відносно низька стійкість до корозії в середовищах, що містять іони хлориду, сірчану кислоту і соляну кислоту. [38].

## 2.2 Технологія і устаткування, що використовувалися для наплавлення

Для виготовлення електродів використовувався зварювальний дріт марки ER308, в таблиці 2.6 представлений хімічний склад дроту для наплавлення.

Таблиця 2.6

Типовий хімічний склад дроту ER308[39]

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	Cu	S	P
≤0,06	0,5 – 1,0	1,0 – 2,0	18,0 – 20,0	8,0 – 10,0	≤0,25	≤0,2	≤0,25	≤0,018	≤0,025

Визначення кількості компонентів, які входять в електроди

Для виготовлення електродів були використанні матеріали, які вказанні в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7

## Матеріали які входять в електроди ЗІФ-8

Матеріал	Кількість, %
Діоксид титану	2–10
Феротитан	5–10
Хром металевий	1–5
Феромарганець	1–7
Феромолібден	1–6
Сода	До 2,0
Слюда мусковит	1–5
Мармур	35–53
Плави́ковий шпат	25–45

Співвідношення мармуру до плави́кового шпату має становити від 1,0 до 2,0%.

Дослідження показали, що співвідношення мармуру до плави́кового шпату від 1,0 до 2,0% є найбільш позитивним показником для захисту металу при зварюванні [40].

Було встановлено, що плави́ковий шпат підвищує текучість шлаку.

Змінюючи співвідношення мармуру та плави́кового шпату, можна регулювати вихід шлаку та коефіцієнт шлакоутворення, а також роздільність шлаку.

Відношення мармуру до плави́кового шпату визначається за формулою:

$$R = \frac{M}{\Pi}, \% \quad (2.4)$$

де R - відношення мармуру до плави́кового шпату, %

M – кількість мармуру в шихті, кг

Π – кількість плави́кового шпату в шихті, кг

Наплавлення здійснюють на прямій полярності з підключенням «мінуса» на електроди і «плюса» на трубу. Вибраний струм: 200А, 25-27В.

Прокалювання електродів проводиться в камерних електричних печах (рисунок 2.3). Температура прожарювання для конкретних електродів повинна бути 320–350°C. Температура в печі при завантаженні повинна бути не вище 100°C. Підвищення температури в печі повинен тривати не більше 40 хвилин. Тривалість процесу прокалювання в печі електродів повинна сягати від 2 - 3 годин.



Рисунок 2.3 – Камерна піч СНО-4.6.4/12,5

Зварювальний випрямляч Selma ВД-306 М1 (рис. 2.4) для дугового зварювання та наплавлення електродами діаметрами 2,0-6,0мм при постійному та перемінному струмі призначений для виконання широкого кола робіт наплавлення.



Рисунок 2.4 – Зварювальний випрямляч Selma ВД-306 М1

Наплавлення здійснюють на прямій полярності з підключенням «мінуса» на електроди і «плюса» на деталь. Вибраний струм: 130А, 25-27В.

### **2.3 Методи дослідження отриманого покриття**

При дослідженні були проведені: металографічні випробування, спектральний аналіз, визначення механічних властивостей наплавленого металу, проведення випробувань на корозійну стійкість наплавленого металу, визначення феритної фази магнітним методом.

#### **2.3.1 Спектральний аналіз**

Спектральний аналіз проводили на спектрометрі «SPECTROLAB» M11 (рисунок 2.5).

Умови роботи на спектрометрі



Визначення хімічного складу сталі важливо для контролю якості, оптимізації виробничого процесу та розробки нових матеріалів.

Спектральні методи - це сучасні технології, які дозволяють аналізувати з високою роздільною здатністю і чутливістю.

Деякі аспекти, пов'язані з визначенням хімічного складу сталі та його перевагами [40]:

- Точність і надійність: спектроскопія, абсорбційна спектроскопія, визначає концентрацію окремих хімічних елементів у сталі.
- Це гарантує високу точність і надійність при прийнятті рішень.
- Широкий діапазон вимірювань: спектрометрія дозволяє вимірювати широкий спектр хімічних елементів у сталі, включаючи хром, нікель, вуглець, азот, титан тощо.
- Швидкість і ефективність: ви можете виконати аналіз .
- Він забезпечує результати відносно швидко, тому ви можете отримати результати за короткий проміжок часу.
- Контроль якості матеріалів: Визначення хімічного складу є важливим для контролю якості сталі, оскільки відмінності в концентрації елементів можуть впливати на механічні та хімічні властивості.
- Оптимізація виробничого процесу: Інформація про хімічний склад використовується для оптимізації технологічного процесу виробництва сталі та покращення її властивостей.

Визначення хімічного складу сталі 12X18H10T спектральними методами є важливим етапом вивчення та використання цього матеріалу в різних галузях промисловості.

Перед кожним випалюванням поверхню зразка необхідно перемістити на нове місце, щоб обпалені місця не перекривалися.



Рисунок 2.5 – Спектрометр “SPECTROLAB” M11 [40]

### 2.3.2 Металографічний аналіз

Мікроаналіз – дослідження структури металу за допомогою мікроскопа, тобто при великих збільшеннях [41, 42].

Мікроаналіз дозволяє визначати структурний склад металів і сплавів у різних станах (наприклад, у відлитому чи відпаленому стані, після різних термічних обробок).

За допомогою цього методу можна оцінити якість металів, виявити наявність включень, визначити розмір, форму та орієнтацію зерен, а також оцінити стан меж зерен та інших структурних деталей.

Вертикальний металургійний мікроскоп МИМ-7 (див. рис.2.6) призначений для спостереження та фотографування мікроструктури металів при збільшеннях від 60х до 1440х.

Оснащений потужним механізмом фокусування.

Джерелом світла є кінопроекційна лампа 17В К-30 потужністю 170Вт. [41, 42].



Рисунок 2.6 – Загальний вигляду мікроскопу МИМ-7 [41]

### **2.3.3 Визначення механічних властивостей**

В даній роботі було реалізовано визначення комплексу механічних властивостей сталі наплавленого металу електродами ЗІФ-8, таких як: властивості міцнісні, відносне видовження, відносне звуження та твердість матеріалу [42–47].

Для наплавленого металу дані механічні властивості були визначені в лабораторних дослідженнях, що підтверджує високу якість цього матеріалу та його застосування в різних галузях промисловості.

Для визначення механічних властивостей зразків наплавленого металу використані наступні методи:

- статичні, коли навантаження зростає повільно і плавно (випробування на розтяг, твердість);
- динамічні, коли навантаження зростає з великою швидкістю (випробування на ударний вигин).

При випробуванні на розтяг визначають межу міцності ( $\sigma_B$ ), межу плинності ( $\sigma_T$ ), відносне видовження ( $\delta$ ) і відносне звуження ( $\psi$ ). Випробування проводять на розривних машинах МР-200 (рисунк 2.7) з використанням стандартних зразків (тип III за [42]) з площею поперечного перерізу  $F_0$  і робочої (розрахункової) довжиною  $l_0$ .

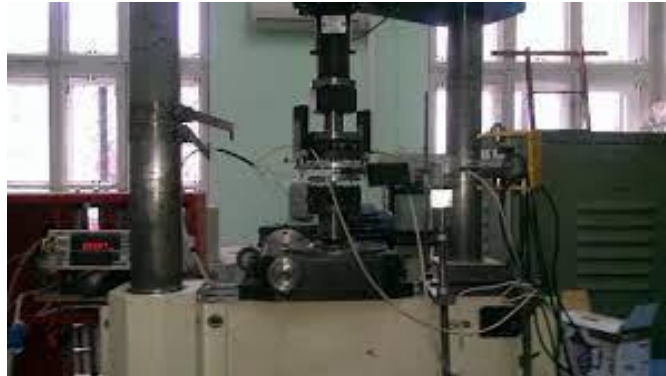


Рисунок 2.7 – Установка для випробувань на розрив УМЕ-10ТМ [42].

При випробуванні на розтяг визначають:

**Міцність ( $\sigma_B$ ):** Вимірювання міцності матеріалу надає важливу інформацію про його здатність витримувати навантаження та стійкість до руйнування під цим навантаженням.

Цей параметр є одним з основних критеріїв оцінки міцності і визначення можливості його застосування в певних умовах.

Міцність вказує на максимальне навантаження, яке може витримати матеріал до початку процесу руйнування.

Знання міцності матеріалу дозволяє створювати конструкції та вироби, які відповідають певним вимогам міцності.

Знання міцності дозволяє вибрати конкретні матеріали для конкретних застосувань і забезпечити оптимальне співвідношення міцності до ваги.

Під час вимірювання міцності зразків ви також можете виявити та запобігти раннім помилкам і дефектам ще до того, як вони потраплять на стадію виробництва.

$$\sigma_B = \frac{P_B}{F_0}, \quad (2.5)$$

де,  $P_B$  – найбільше навантаження, Н;

$F_0$  – початкова площа перерізу зразка, мм.

Межа текучості ( $\sigma_T$ ) визначається як навантаження, при якому настає пластична деформація, врахована відносно початкової площі поперечного перерізу зразка. [45].

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0}, \quad (2.6)$$

де,  $P_T$  – навантаження межі плинності, Н.

Відносне подовження ( $\delta$ ): Відносне подовження (або відносне подовження) матеріалу є важливим механічним параметром, який надає інформацію про здатність матеріалу деформуватися під навантаженням.

Цей параметр вимірюється як відношення збільшення довжини матеріалу після навантаження до початкової довжини.

Відносне видовження вказує на здатність матеріалу зазнавати пластичної деформації без руйнування.

Це особливо важливо для матеріалів, які використовуються в ситуаціях, коли важливі гнучкість і здатність матеріалу слідувати змінам форми без збоїв.

Також можна оцінити, наскільки матеріал деформується під впливом навантаження.

Високе відносне подовження свідчить про хорошу здатність матеріалу зазнавати глибокої деформації.

Цей метод контролю дозволяє зрозуміти, як матеріал реагує на різні види навантажень, такі як розтяг, стиск і вигин.

Відносне звуження ( $\psi$ ): Відносне звуження (або відносне зменшення поперечного перерізу) матеріалу є ще одним важливим механічним параметром, який надає інформацію про здатність матеріалу зазнавати поперечної деформації під навантаженням.

Цей параметр вимірюється як відношення зменшення поперечного перерізу матеріалу після руйнування до початкового поперечного перерізу.

Відносна усадка означає здатність матеріалу протистояти бічним усадковим деформаціям і вдавненням без руйнування.

Це важливо при оцінці опору деформації і міцності матеріалу.

Знання відносної усадки є важливим для інженерів і дизайнерів, оскільки воно допомагає передбачити поведінку матеріалів під навантаженням і забезпечує безпеку конструкції.

Відносне подовження є важливою для контролю якості зварювання, оскільки вона може вказувати на ефективність і надійність зварного з'єднання.

Інформація про відносну усадку допомагає визначити характер пошкодження матеріалу.

Це важливо для подальшого вдосконалення конструкції та матеріалів.

Твердість – властивість металів чинити опір проникненню в них інших, більш твердих тіл [43–45].

Твердість визначає властивості обробки металів, зносостійкість, ріжучі властивості металообробного інструменту, стійкість до ерозії тощо.

Твердість: Твердість матеріалу — це механічна властивість, яка характеризує ступінь стійкості матеріалу до стирання, стиснення, подряпин та інших видів деформації, викликані механічними впливами.

Його вимірюють за допомогою різних тестів, таких як твердість за Брінеллем, Роквеллом і Віккерсом.

Вимірювання твердості дозволяє оцінити, наскільки матеріал стійкий до зносу та стирання.

Це важливо при виборі матеріалів для предметів із високим коефіцієнтом тертя та зносу, таких як механічні частини та інструменти.

Деякі процеси зварювання можуть впливати на твердість матеріалів, тому визначення твердості є корисним для контролю якості зварювання.

Твердість може опосередковано визначати міцність і межу текучості металу без розрізання зразка.

Більшість методів вимірювання твердості засновані на принципі вдавлювання більш твердого сферичного, конічного або пірамідального індентора в метал, що перевіряється [42].

Для випробування твердості металів і сплавів застосовують твердомір Брінелля типу ТШ-2М (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 – Стационарний твердомір ТШ-2М [43]

Випробування на твердість за Брінеллем проводиться шляхом вдавлювання загартованої сталеві кульки в досліджуваний метал.

Після зняття тиску на поверхні зразка залишається відбиток кульки.

Твердість за Брінеллем позначається літерою НВ і відповідає відношенню навантаження на кульку в кг до площі вдавнення в мм.

Чим твердіший метал, тим менша площа друку.

Діаметр і навантаження кульки встановлюються в залежності від металу, що перевіряється, його твердості і товщини.

На практиці ми використовуємо таблицю для переведення площ тиску в числа твердості.

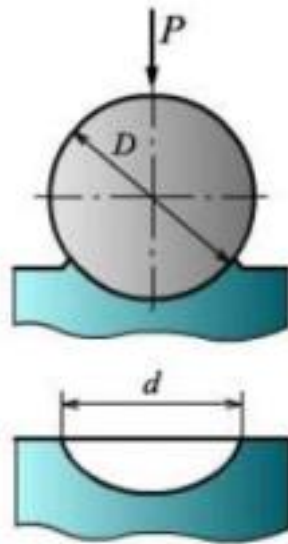


Рисунок 2.9 – Схема визначення твердості по Брінеллю[43].

Твердість за Брінеллем  $HB$  розраховується за формулою:

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} = \frac{P}{\pi D h'} \quad (2.7)$$

де  $P$  — прикладене навантаження, кПа;

$F$  — площа поверхні відбитку;

$D$  — діаметр кульки, мм;

$d$  — діаметр відбитку, мм;

$h$  — глибина вдавлення індентера.

### 2.3.4 Випробування на стійкість до міжкристалічної корозії (МКК)

Міжкристалічна корозія — це вид корозії, при якому основним об'єктом руйнування є межі між частинками металу.

Цей процес може послабити зв'язки між частинками, утворити тріщини та, зрештою, призвести до крихкого руйнування металу [48, 49].

Міжкристалічна корозія характерна для нержавіючих сталей, виникає, зокрема, у зварних швах і проявляється розподілом численних тріщин на критичних ділянках поверхні конструкції.

Випробування корозійних властивостей сталі 12X18H10T важливо для розуміння та оцінки її стійкості до впливу корозійних середовищ.



Основними аспектами та перевагами проведення таких тестів є: Цей тест дозволяє визначити стійкість матеріалу до руйнівної дії корозійних середовищ, таких як вода, кислоти та луги.

Це важливо для прогнозування довговічності та надійності матеріалу в реальних умовах експлуатації.

Знаючи корозійні властивості, можна передбачити, як матеріал працюватиме в середовищі певної хімічної агресивності та температури.

Запобігання корозії дозволяє підтримувати екосистеми, запобігаючи споживанню ресурсів і уникаючи викидів забруднюючих речовин через руйнування матеріалів.

Стійкість наплавлених металевих зразків до міжкристалічної корозії визначали згідно [49] методом АМУ (А – аббревіатура латинської назви методу, М – наявність у розчині для випробування металеві міді, У – прискорене випробування).

Суть методу АМУ полягає в впливі на зразок сталі киплячим водним розчином мідного купоросу і сірчаної кислоти в присутності металеві міді (стружки) [48].

Для проведення випробувань застосовують такі реактиви:

Таблиця 2.8

Реактиви для випробування сталі на МКК [49].

Назва реактиву (хімічна формула)	Мідний купорос ( $\text{CuSO}_4$ )	Кислота сірчана ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )	Вода дист ильована	Мідна стружка
Кількість	50 г	250 г	1000 $\text{cm}^3$	50 г



Рисунок 2.10 – Випробування зразків сталі 12X18H10T та наплавленого металу на стійкість проти міжкристалічної корозії за методом АМУ

Як провести випробування на корозію зразка сталі Щоб провести випробування на корозію зразка сталі, вам знадобляться такі матеріали: Скляна колба зі зворотним холодильником Зразок сталі тієї ж марки Мідна стружка Випробувальний розчин Тестовий розчин Розчин Фаза впровадження Тест Зразки сталі поміщали в скляні колби тієї ж марки.

Зразки можна помістити в кілька колонок, розділених мідними наконечниками.

Мідний файл запобігає контакту зразка зі зразком і запобігає корозії між зразками.

Колбу заповнюють досліджуваним розчином.

Кількість розчину залежить від поверхні зразка.

Як правило, використовується співвідношення від 4 до 8 см<sup>3</sup> розчину на см<sup>2</sup> поверхні зразка.

Рівень розчину повинен бути на 1,0-1,5 см вище поверхні зразка або шару стружки.

Колбу закупорюють і ставлять у термостат при температурі 20-25°C.

Після певного періоду часу (зазвичай 24, 48 або 72 години) з поршня відбирають зразки для оцінки ступеня корозії.

Оцінка ступеня корозії Ступінь корозії можна оцінити візуально шляхом вимірювання втрати маси зразка або іншими методами.

Дозволяється багаторазове використання тестових розчинів за умови збереження кольору. [49].

Після закінчення випробувань для виявлення МКК зразки згинають на кут  $90^{\circ} \pm 5^{\circ}$ . Радіус заокруглення оправки вибирають в залежності від товщини зразків, класу сталі і виду металопродукції, з якої виготовлені зразки.

### **2.3.5 Визначення вмісту феритної фази в наплавленому металі**

Феритометр ФЦ-2 - це прилад для визначення вмісту феритної фази в сталі за магнітним методом [50].

Прилад складається з наступних основних частин:

- Випрямляч
- Генератор магнітного поля
- Вимірювальний блок
- Притискний пристрій



Рисунок 2.11 – Феритометр ФЦ-2[50]

Для проведення вимірювань необхідно зробити наступне:

- Підготовка зразків Зразки сталі слід вирізати з брусків діаметром або товщиною від 80 до 270 мм.

Зразки повинні бути чистими і сухими.

Для очищення зразка можна використовувати дротяну щітку або наждачний папір.

Щоб видалити залишки масла та жиру із зразка, промийте його очисним розчином.

Після миття зразок необхідно висушити.

- Підключення феритометра

Феритометр підключається до джерела живлення за допомогою кабелю.

- Прикріпіть зразок Прикріпіть зразок до затискного пристрою.

Затискний пристрій повинен міцно притискати зразок до магнітного датчика.

- Увімкнення феритометра Щоб увімкнути феритометр, використовуйте кнопку «увімк.».

- Налаштування режиму вимірювання Режим вимірювання встановлюється за допомогою перемикача режимів.

Для вимірювання вмісту феритної фази аустенітної сталі необхідно встановити режим «Аустенітна сталь».

- Вимірювання Щоб виконати вимірювання, необхідно натиснути кнопку «Вимірювання».

Пристрій видає значення вмісту феритової фази у відсотках.

Технічні характеристики феритометра ФЦ-2:

Діапазон вимірювання: 0-30%

Клас точності: 1

Час вимірювання: 10 секунд

Живлення: 220 В, 50 Гц

## ВИСНОВКИ

У цьому розділі ознайомлюються з основними методами дослідження та тестування, які використовуються у магістерській кваліфікаційній роботі.

Для наплавлення було використано промислове обладнання, зварювальний випрямляч Selma ВД-306 М1. В ході дослідження було вибрано оптимальний струм 130А та з напругою 25—27В. Наплавлення здійснювали на прямій полярності з підключенням «мінуса» на електроди і «плюса» на деталь.

Запропоновані методики визначення хімічного складу та структурного класу обраної сталі. Для аналізу хімічного складу зразків сталі 12Х18Н10Т після наплавлення пропоновано використовувати спектральний аналіз. Структурний клас зразків визначали за вмістом хімічних елементів за допомогою діаграм Шефлера. Показано, що сталь 12Х18Н10Т належить до аустенітного класу.

Представлені методики для визначення механічних властивостей таких як: випробування на ударний згин, визначення відносного подовження та міцності на розрив.

Для дослідження на міжкристалічну корозію було використано методику АМУ, даний метод показав що наплавлений метал стійкий до міжкристалічної корозії

Визначення феритної фази проводилося на промисловому феритометрі, отримані результати вимірювання відображає вміст феритної фази в матеріалі у відсотках.

## РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1 Результати спектрального аналізу наплавленого шару

Для визначення хімічного складу зразків застосовували спектральний аналіз. Цей метод є точним і надійним і може визначати концентрації широкого діапазону хімічних елементів, включаючи хром, нікель, вуглець, азот і титан.

Аналіз є швидким і ефективним, дає результати за короткий час.

Показано, що поверхневий шар після наплавлення містить очікувану кількість вуглецю, хрому та молібдену, тобто  $C = 0,08\%$ ,  $Cr = 19,87\%$ ,  $Mo = 0,72\%$ , що відповідає вимогам.

Виходячи з хімічного складу (табл. 3.1) можна припустити, що при вмісті  $0,08\%$  вуглецю і  $19,87\%$  хрому в такому випадку можливо утворення карбідів хрому, що забезпечать додаткове підвищення поверхневої твердості і зносостійкості.

Хром сприяє утворенню оксиду хрому ( $Cr_2O_3$ ) на поверхні сталі, що утворює пасивний захисний шар. Цей оксидний шар дозволяє сталі залишатися стійкою до корозії в агресивних середовищах. Крім того, хром може утворювати карбіди в структурі, які підсилюють міцність та корозійну стійкість.

В металі присутній титан, в свою чергу він може утворює карбіди та нітриди в структурі сталі, підсилюючи її механічні властивості. Ці включення можуть допомогти підтримувати структурну стабільність при високих температурах і підвищити стійкість сталі до окислення.

Нікель часто формує аустенітну структуру, яка є немагнітною та забезпечує високу міцність та пластичність. Утворення аустеніту зумовлене зміною кристалічної структури сталі на високих температурах.

При додаванні нікелю в сталь вона стає стійкою до магнітних полів.

## Хімічний склад наплавленого металу

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S	P
0,08	0,2	1,3	19,87	8,81	0,72	0,004	0,014

## 3.2 Металографічний аналіз наплавленого шару

Для дослідження якості наплавленого шару виготовляли зразки зі сталі 12Х18Н10 після наплавлення електродами марки ЗІФ-8. Зразки для дослідження представлені на рисунку 3.1

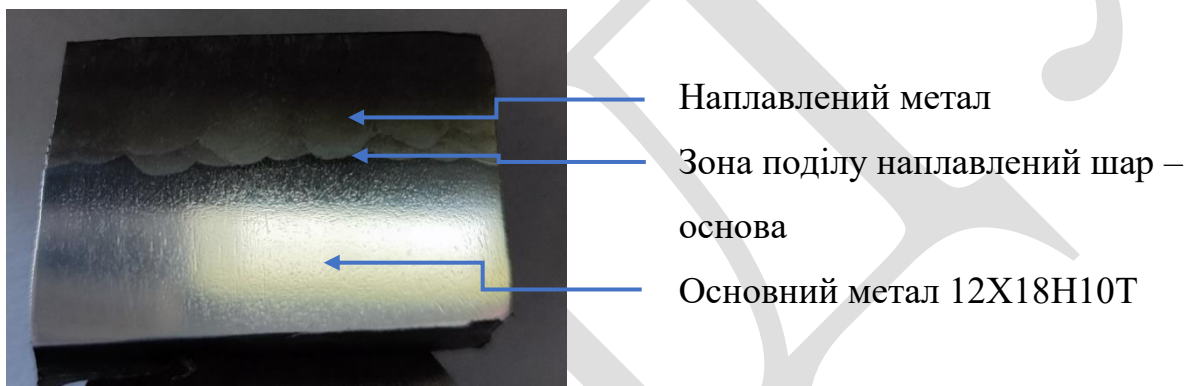


Рисунок 3.1 - Зразок наплавленого металу



Рисунок 3.2 - Структура основного металу та лінія переходу наплавленого металу



Математичні розрахунки на основі діаграми Шеффлера та хімічного складу зразків сталі 12X18H10 показали, що ці зразки сталі містять невелику кількість  $\delta$ -фериту. Ці розбіжності можна пояснити тим, що частка  $\delta$  фериту становить 3,55%, а таку малу частку фаз важко визначити металографічними методами.

$\delta$ -ферит є одним із залізо-вуглецевих твердих розчинів і є високотемпературною фазою і існує вище 1390 °С.

Критична концентрація вуглецю для  $\alpha$ -фериту становить 0,025%, а для  $\delta$ -фериту – приблизно 0,1%.

Властивості фериту подібні до властивостей заліза.

Крім того,  $\delta$ -ферит негативно впливає на механічні властивості.

Металографічний аналіз дозволив визначити розмір і форму зерен підкладки (сталі 12X18H10T) і структурні зміни після наплавлення. Показано, що в наплавленій частині структура має литу дрібнозернисту структуру, що складається з дезорієнтованих дрібних кристалів - дендритів. Під час першого зіткнення зі стінками основного металу в тонкому прилеглому шарі рідкого металу виникає різкий градієнт температур і явище переохолодження, що призводить до утворення великої кількості центрів кристалізації. У результаті поверхневий шар отримує дрібнозернисту будову.

В зоні термічного впливу (ЗТВ) під впливом високих температур при наплавленні в ЗТВ відбувається розігрів та швидке охолодження, що призводить до змін в структурі. Відбувається перетворення кристалічної структури внаслідок нагріву і охолодження, і це може вплинути на механічні властивості матеріалу. Також в цій зоні відбувається утворення теплових відновних зон з більш однорідною структурою.

В одно час в зоні сплавлення основного металу та наплавленого з'являються нові зони:

- Метастабільні зони:

У зв'язку зі змінами температури відбувається утворення метастабільних фаз, таких як карбіди та нітриди, що впливає на твердість та міцність структури.

– Мікроструктурні зміни:

Внаслідок наплавлення відбувається подрібнення зерен структури, що призводить до покращення механічних властивостей металу.

– Формування міжфазних включень:

Внаслідок змін у хімічному складі та температурі можуть утворюватися міжфазні включення, які можуть впливати на стійкість до корозії.

Феритна фаза наплавленого металу

Для визначення феритної фази було проведено випробування на кількісну складову фериту в наплавленому металі.

Феритна фаза наплавленого металу є одним з основних структурних компонентів, що утворюється за певних умов термічної обробки та складу сплаву.

При дослідженні наплавленого металу аустенітного класу сталі 12X18H10T було виявлено феритну фазу. Проведенні дослідів на наявність феритної фази в сталі 12X18H10T та наплавленому металі. По результатам дослідів феритна фаза в наплавленому металі середньому складає 3,55%.

У випадку, коли вміст феритної фази становить 3,55%, це означає, що в матеріалі присутні як феритна, так і аустенітна фази. При цьому вміст феритної фази є досить низьким, тому вона не буде мати суттєвого впливу на властивості матеріалу.

### **3.3 Механічні властивості наплавленого шару**

Для визначення механічних властивостей наплавленого металу виміряли міцнісні властивості, відносно подовження та звуження металу, а також твердість матеріалу.

Механічні властивості матеріалів, такі як міцність, подовження, усадка та твердість, відіграють важливу роль у визначенні їхньої здатності протистояти навантаженню та виконувати певні функції.

При дослідженні механічних властивостей було отримано результати які представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Температура випробування, С	$\sigma_b$ , МПа	$\delta_5$ , %	КСУ, Дж/м <sup>2</sup>	Твердість, НВ
+20	720	45	262	180
+20	690	46	275	183
+20	700	49	256	177
-196			30	
-196			40	
-196			32	

Ударна в'язкість наплавленого металу при кімнатній температурі становить 275 Дж/м<sup>2</sup>. Це відповідає бажаному результату, по своїх механічних властивостях наплавлений метал подібний до основного металу, а саме сталь 12Х18Н10Т.

Ударна в'язкість сталі 12Х18Н10Т при температурі -196°С становить 35 Дж/м<sup>2</sup>.

Зменшення ударної в'язкості при низьких температурах є загальним явищем для багатьох матеріалів. Це пов'язано з тим, що при низьких температурах деформація матеріалу відбувається менш пластично, що призводить до більшого накопичення енергії в матеріалі і, як наслідок, до більшого ймовірності його руйнування при ударному навантаженні.

У випадку наплавленого металу зниження ударної в'язкості при низьких температурах пояснюється тим, що при низьких температурах аустенітна фаза,

яка є основною структурною фазою в цій сталі, переходить у феритну фазу. Феритна фаза має меншу ударну в'язкість, ніж аустенітна фаза.

Твердість сталі 12X18H10T становить 180НВ. Це означає, що сталь має досить високу твердість, але вона не є надтвердою.

Хоча в наплавленому металі присутні хром та титан, вони не підвищують твердість без термічної обробки.

Хром і титан, які присутні в сталі 12X18H10T, сприяють підвищенню її твердості. Хром утворює тверді карбонидні фази, такі як хромокарбид, які підвищують твердість стали. Титан також утворює тверді карбонидні фази, а також сприяє утворенню щільності оксидної плівки на поверхні стали, що також підвищує її твердість.

Однак, твердість сталі також залежить від її структури. У сталі 12X18H10T та наплавленому металі основною структурною фазою є аустеніт. Аустеніт є м'якою структурною фазою, тому він не може забезпечити високу твердість сталі.

### **3.4 Визначення корозійної стійкості після наплавки**

Випробування корозійних властивостей сталі 12X18H10T важливо для розуміння та оцінки її стійкості до впливу корозійних середовищ.

При дослідженні наплавленого металу на міжкристалічну корозійну стійкість було виявлено позитивні результати, а саме стійкість металу до корозії, що означає достатню кількість хрому, щоб утворювати плівку оксиду, яка захищає його від корозії. Також виявленні можливі причини стійкості наплавленого металу до корозії:

- Вміст хрому в наплавленому металі достатній для утворення плівки оксиду.
- Структура наплавленого металу є однорідною, що запобігає утворенню тріщин і інших дефектів, які можуть призвести до міжкристалічної корозії.

– Наплавлений метал був правильно термічно оброблений, що також сприяє підвищенню його стійкості до корозії.

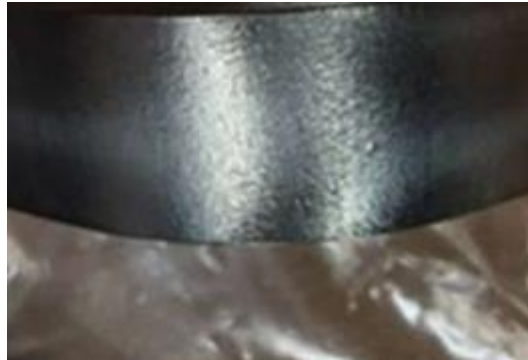


Рисунок 3.3 - Поверхня зразка сталі 12X18Н10 після випробування на стійкість проти міжкристалічної корозії за методом АМУ.



x100



x500

Рисунок 3.4 - Мікроструктура сталі 12X18Н10 після випробування на стійкість проти міжкристалічної корозії за методом АМУ

## ВИСНОВОК

Для визначення хімічного складу був використаний спектральний аналіз, який показав, що хімічний склад наплавленого металу відповідає запланованому, та за хімічним складом наближений до основного металу, а саме сталі 12X18H10T.

Вивчення мікроструктури сталі методом металографічного аналізу показало, що структура наплавленого шару протравленого зразка відповідає структурі сталі 12H18H10T – аустеніту, а далі за цим шаром є перехідна зона, яка складається з аустеніту і  $\delta$ -фериту.

Кількість фериту в наплавленому металі складає 3,55%, що дає підвищену міцність та стійкість до корозії.

Після проведення механічних випробувань і вимірювань твердості можна спостерігати поступовий розподіл твердості від покриття до основи.

Ударна в'язкість наплавленого металу при кімнатній температурі становить 275 Дж/м<sup>2</sup>. Це відповідає бажаному результату, по своїх механічних властивостях наплавлений метал подібний до основного металу, до сталі 12X18H10T.

Ударна в'язкість сталі 12X18H10T при температурі -196 °C становить 35 Дж/м<sup>2</sup>.

Середнє значення відносного подовження 720 МПа, що є подібним до механічних властивостей сталі 12X18H10T.

Сталь 12X18H10T не схильна до міжкристалітної корозії.

## РОЗДІЛ 4

### ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

#### 4.1 Теоретична частина

Оцінка економічної ефективності результатів науково-дослідної кваліфікаційної магістерської роботи виконується для виявлення доцільності їх впровадження. Економічний ефект визначається за різницею зведених витрат початкового (базового) рівня і рівня, що досягається після впровадження у виробництво результатів роботи.

В якості бази для порівняння беру:

- при визначенні економічної ефективності НДР, в результаті якої створюється новий, раніше ніде не застосований технологічний процес або нова техніка – вищий рівень техніки (технології), впровадженій, запроєктованій або такій, що перебуває на стадії завершеного наукового дослідження;
- при визначенні економічної ефективності роботи, спрямованої на вдосконалення діючої техніки і технології – рівень діючої техніки і технології, який буде досягнутий до моменту впровадження даної НДР на виробництві.

Деталь – випускний клапан масою 0,15 кг.

Розрахунок проводиться для 2-х токарних станків обладнання, яке використовується у базовому та пропонованому варіанті. Привести технологічні характеристики обладнання для розрахунку.

Усі розрахунки проводяться як для базового, так і для пропонованого варіанту.

#### 4.2 Розрахунок технологічної собівартості

Для визначення технологічної собівартості я проводжу розрахунок окремих елементів витрат.

Вартість матеріалу виробу:

$$B_m = (Q \cdot C_m) \cdot a, \quad (4.1)$$

де  $Q$  – норма витрати матеріалу (маса заготовки), кг;

$C_m$  – ціна матеріалу (заготовки), грн.

$a$  – коефіцієнт, що враховує витрати на термообробку (умовно приймаємо 1,4).

$$B_m = (0,15 \cdot 120) \cdot 1,4 = 25,20$$

Основна і додаткова зарплата виробничого робітника з відрахуваннями на соціальне страхування та до інших фондів (за виконувану операцію):

$$Z_p = C_q \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \frac{t_{шт}}{60} \cdot K_{мн} \cdot n \quad (4.2)$$

де  $C_q$  – годинна тарифна ставка відповідного розряду, грн.;

$K_1$  - коефіцієнт, що враховує додаткову зарплату (приймаємо: базовий варіант  $K_1 = 1,5$ ; проектувальний  $K_1 = 1,3$ );

$K_2$  - коефіцієнт, що враховує багатостанковий обслуговування (приймається  $K_2 = 1,375$ );

$t_{шт}$  - штучний час на операцію, хв.;

$K_{мн}$  - коефіцієнт, що враховує обслуговування кількома одиницями обладнання; приймається  $K_{мн} = 1$ ;

$n$  - кількість одиниць обладнання на даній операції, шт.

Базовий розрахунок:

$$Z_p = 54,8 \cdot 1,5 \cdot 1,375 \cdot \frac{120}{60} \cdot 1 \cdot 2 = 452,10$$

Проектований розрахунок:

$$Z_p = 54,8 \cdot 1,3 \cdot 1,375 \cdot \frac{120}{60} \cdot 1 \cdot 2 = 391,82$$

Амортизаційні відрахування по обладнанню, віднесені на дану операцію:

$$A_0 = \frac{S_0 \cdot K \cdot a \cdot n}{N_{річ} \cdot 100} \quad (4.3)$$

де  $S_0$  – вартість одиниці обладнання, грн.;

$K$  – коефіцієнт, що враховує витрати на транспортування і монтаж устаткування; приймаємо: базовий варіант  $K = 1,15$ , проектувальний = 1,1;



$a$  - норма амортизаційних відрахувань (10% від вартості обладнання);

$n$  - кількість одиниць обладнання на даній операції, шт.;

$N_{\text{річ}}$  - річна програма деталей, шт.

Базовий розрахунок:

$$A_0 = \frac{172\,000 \cdot 1,15 \cdot 17\,200 \cdot 2}{10\,000 \cdot 100} = 6804,32$$

Проектований розрахунок:

$$A_0 = \frac{172\,000 \cdot 1,1 \cdot 17\,200 \cdot 2}{10\,000 \cdot 100} = 6508,48$$

Витрати на ремонт обладнання приймаємо укрупнено пропорційно величині амортизаційних відрахувань:

$$B = A_0 \cdot K, \quad (4.4)$$

де  $K$  - коефіцієнт, що встановлює залежність величини витрати на ремонт від величини амортизаційних відрахувань; приймаємо: базовий варіант 180%, проектувальний 160%.

Базовий розрахунок:

$$B = 6804,32 \cdot 180\% = 12\,247,78$$

Проектований розрахунок:

$$B = 6508,48 \cdot 160\% = 10\,413,57$$

Витрати на силову електроенергію з даної операції:

$$B = [K_1 \cdot N_y \cdot (t_{\text{шт}} - t_{\text{маш}}) + K_2 \cdot N_y \cdot t_{\text{маш}}] \cdot \frac{S_3}{60}, \quad (4.5)$$

де  $N_y$  - сумарна встановлена потужність електродвигунів одиниць обладнання, кВт;

$t_{\text{маш}}$  - машинний час, хв;

$K_1$  - коефіцієнт, що враховує використання встановленої потужності, що витрачається при небажаній роботі обладнання; приймається  $K_1 = 0,25$ ;

$K_2$  - коефіцієнт використання встановленої потужності устаткування в процесі термообробки, приймаємо: базовий варіант 0,8, проектувальний 0,5;

$S_3$  – вартість одного кВт/год. електроенергії, грн.;

Базовий розрахунок:

$$B = (0,25 \cdot 11 \cdot (120 - 80) + 0,8 \cdot 11 \cdot 80) \cdot \frac{4,3}{60} = 58,33$$

Проектований розрахунок:

$$B = (0,25 \cdot 11 \cdot (120 - 80) + 0,5 \cdot 11 \cdot 80) \cdot \frac{4,3}{60} = 39,41$$

Витрати на допоміжні матеріали, віднесені на операцію укрупнено приймаємо:

$$B_m = \frac{M \cdot n}{N_{\text{річ}}}, \quad (4.6)$$

де  $M$  – річні витрати на допоміжні матеріали; приймається 50 грн./рік на одиницю обладнання;

$n$  - кількість одиниць обладнання, шт.;

$N_{\text{річ}}$  - річна програма деталей, шт.

$$B_m = \frac{50 \cdot 2}{10\,000} = 0,01$$

Витрати на утримання виробничої площі, віднесені на операцію:

$$Z_{\text{п}} = \frac{S_{\text{пл}} \cdot K \cdot n \cdot P}{N_{\text{річ}}}, \quad (4.7)$$

де  $S_{\text{пл}}$  - площа, яку займає одиниця обладнання,  $\text{м}^2$ ;

$K$  - коефіцієнт, що враховує додаткову площу під проходи і проїзди;

$n$  - кількість одиниць обладнання, шт.;

$P$  - річна норма витрат за змістом одного метра квадратного виробничої площі, грн.; приймаємо: базовий варіант 120 грн., проектувальний 100 грн.

Базовий розрахунок:

$$Z_{\text{п}} = \frac{4 \cdot 1,3 \cdot 2 \cdot 120}{10\,000} = 0,124$$

Проектований розрахунок:

$$Z_{\text{п}} = \frac{4 \cdot 1,3 \cdot 2 \cdot 120}{10\,000} = 0,104$$

Зведемо раніше обраховані результати в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1

Технологічна собівартість одиниці виробу, грн.

Найменування елементів витрат	Базовий варіант	Пропонований варіант
Основна та додаткова зарплата	452,1	391,82
Амортизаційні відрахування	6 804,32	6 508,48
Витрати на ремонт устаткування	12 247,78	10 413,57
Витрати на силову електроенергію	58,33	39,41
Витрати на утримання виробничої площі	0,124	0,104
<b>Разом</b>	<b>19 562,654</b>	<b>17 353,384</b>

#### 4.2 Розрахунок накладних витрат

Загальновиробничі витрати:

$$V_{\text{заг}} = \left( \frac{z_p}{K_1 \cdot K_2} \right) \cdot 1,2, \quad (4.8)$$

де  $K_1$  - коефіцієнт, що враховує додаткову зарплату (приймаємо: базовий варіант  $K_1 = 1,5$ ; проектувальний  $K_1 = 1,3$ );

$K_2$  - коефіцієнт, що враховує багатостатне обслуговування (приймається  $K_2 = 1,375$ );

Базовий розрахунок:

$$V_{\text{заг}} = \left( \frac{452,1}{1,5 \cdot 1,375} \right) \cdot 1,2 = 263,04$$

Проектований розрахунок:

$$V_{\text{заг}} = \left( \frac{391,82}{1,3 \cdot 1,375} \right) \cdot 1,2 = 263,04$$

Виробнича собівартість:

$$C_{\text{вир}} = C_M + z_p + A_0 + P + \text{Э} + B_M + z_{\text{п}} + C_{\text{заг}}, \quad (4.9)$$

Базовий розрахунок:

$$C_{\text{вир}} = 1500 + 452,1 + 6804,32 + 120 + 58,33 + 25,2 + 0,124 + 263,04 \\ = 9\,223,121$$

Проектований розрахунок:

$$C_{\text{вир}} = 1500 + 391,82 + 6508,48 + 100 + 39,41 + 25,2 + 0,104 + 263,04 \\ = 8\,828,061$$

Позавиробничі витрати:

$$C_{\text{в}} = C_{\text{вир}} \cdot 0,03, \quad (4.10)$$

Базовий розрахунок:

$$C_{\text{в}} = 9\,223,121 \cdot 0,03 = 276,69$$

Проектований розрахунок:

$$C_{\text{в}} = 8\,828,061 \cdot 0,03 = 264,84$$

Повна собівартість:

$$C_{\text{п}} = C_{\text{вир}} + C_{\text{в}}, \quad (4.11)$$

Базовий розрахунок:

$$C_{\text{п}} = 9\,223,121 + 276,69 = 9\,499,81$$

Проектований розрахунок:

$$C_{\text{п}} = 8\,828,061 + 264,84 = 9\,092,9$$

Прибуток:

$$\text{ПР} = 0,3 \cdot C_{\text{п}}, \quad (4.12)$$

Базовий розрахунок:

$$\text{ПР} = 0,3 \cdot 9\,499,81 = 2\,849,94$$

Проектований розрахунок:

$$\text{ПР} = 0,3 \cdot 9\,092,9 = 2\,727,87$$

Оптова ціна:

$$C_{\text{оп}} = C_{\text{п}} + \text{ПР}, \quad (4.13)$$

Базовий розрахунок:

$$C_{\text{оп}} = 9\,499,81 + 2\,849,94 = 12\,349,76$$

Проектований розрахунок:

$$C_{\text{оп}} = 9\,092,9 + 2\,727,87 = 11\,820,77$$

Роздрібна ціна:

$$Ц_p = 1,2 \cdot Ц_{оп}, \quad (4.14)$$

Базовий розрахунок:

$$Ц_p = 1,2 \cdot 12\,349,76 = 14\,819,71$$

Проектований розрахунок:

$$Ц_p = 1,2 \cdot 11\,820,77 = 14\,184,93$$

На підставі отриманих даних можна зробити відповідні висновки.

Економічний ефект склав:

$C_n$  (базового варіанту) –  $C_n$  (пропонованого варіанту) = (грн.) - для одного виробу.

$$9\,499,81 - 9\,092,9 = 634,78 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект складає:

Економічний ефект · Програма випуску на рік = (грн.)

$$634,78 \cdot 10\,000 = 6\,347\,837 \text{ грн.}$$

Таким чином, у пропонованому варіанті при фіксованому значенні обсягу виробництва ми домоглися мінімізації витрат у порівнянні з базовим.

Таблиця 4.2

Економічна ефективність пропонованого процесу в порівнянні з базовим, грн.

Показник	Базовий варіант	Пропонований варіант
1. Технологічна собівартість одиниці виробу		
1.1 Основна і додаткова заробітна плата робітника	452,1	391,82
1.2 Амортизаційні відрахування по обладнанню	6 804,32	6 508,48
1.3 Витрати на ремонт обладнання	12 247,78	10 413,57
1.4 Витрати на силову електроенергію	58,33	39,41
1.5 Витрати на утримання виробничої	0,124	0,104

площі		
2. Повна собівартість	9 499,81	9 092,9
3. Ціна виробу	25,2	25,2
4. Програма випуску за рік, шт	10 000	10 000
<b>5. Річний економічний ефект</b>	<b>3 970 891</b>	<b>6 347 837</b>

## ВИСНОВОК

Підготовка виробництва вимагає ресурсів у вигляді операційних витрат і капітальних вкладень.

До першої належать витрати, пов'язані з технологією, дизайном, матеріалами та виробничою документацією.

Попередньо готуються кошториси на розробку нової продукції, створення виробничих процесів, розробку технічного оснащення, розрахунків і узгодження норм витрат, а також формування цінових пропозицій на продукцію, пов'язану з придбанням або модернізацією обладнання.

Ці витрати пов'язані з розробкою і впровадженням нової продукції і визначаються різницею між плановими і фактичними витратами на випущену при реалізації продукції.

Крім того, також включено витрати на креслення, офісні витрати та витрати на друк.

Зазначені витрати на будівництво нових підприємств і комплексів обладнання в межах затвердженого кошторису на освоєння нових видів продукції та технологічних процесів з урахуванням особливих вимог замовника в межах узгоджених тимчасових цін Входять до загальної вартості розробки.

Згідно з даними розрахунків, що актуальні на момент написання кваліфікаційної роботи магістра, було встановлено амортизаційні відрахування по обладнанню (основних і допоміжних) та інших витрат та розраховано загальну вартість витрат в ході мінімізації коштів на виготовлення за рахунок вдосконаленої технології. Річний економічний прибуток складає **6 347 837 грн** (Шість мільйонів триста сорок сім тисяч вісімсот тридцять сім гривень 00 копійок).

## **РОЗДІЛ 5**

### **ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ**

#### **5.1 Причини виникнення шкідливих та небезпечних факторів під час дугового зварювання**

Причини виникнення шкідливих факторів полягає у тому, що значна частина енергії зварювальної дуги надходить в навколишнє середовище, створюючи певну загрозу для здоров'я людини [52].

Сам електричний струм у зварювальному колі, як джерело енергії, також може бути небезпечним для зварника [53]. Враховуючи, що на нього діють ще й шкідливі фактори виробничого середовища, особливості устаткування робочого місця і зварювального обладнання, а також психофізіологічні фактори в організації праці, отримуємо повний комплекс шкідливих та небезпечних виробничих факторів.

Професійні захворювання зварників.

Захворювання, викликане дією на працюючого шкідливих умов праці, класифікується як професійне захворювання. Професійне отруєння також відноситься до професійних захворювань. Явище, яке характеризується сукупністю професійних захворювань, називають професійною захворюваністю. В деяких випадках вплив шкідливих факторів виробничого середовища призводить до виникнення виробничо обумовленої захворюваності [53].

#### **5.2 Шкідливі речовини, що утворюються під час зварювання**

У сучасній техніці застосовується безліч речовин, які можуть надходити в повітря, де знаходяться люди, і становити небезпеку їх здоров'ю [54]. Для визначення небезпечності медики досліджують вплив цих речовин на організм людини і встановлюють безпечні для людини концентрації та дози, які можуть потрапити різними шляхами в організм людини.



На машинобудівних підприємствах повітря робочої зони може забруднюватися шкідливими речовинами, які утворюються в результаті технологічного процесу при виробництві різноманітної машинобудівної продукції, устаткування, конструкцій та елементів машин (зварювання, термічна обробка заготовок, фарбування та ін.) і які містяться в металах, з яких виготовляють цю продукцію [55, 56].

### 5.3 Класифікація шкідливих речовин

Шкідливі речовини, що утворюються в процесі зварювання і забруднюють повітря, знаходяться в повітрі у формі аерозолу, який прийнято називати - зварювальний аерозоль (ЗА), та газів [57]. Основні фізико-хімічні властивості пилу (аерозолу): хімічний склад, дисперсність (ступінь подрібнення), будова частинок, розчинність, щільність, питома поверхня, нижня та верхня концентраційні межі вибуховості суміші з повітрям, електричні властивості та ін. Значення усіх цих показників дає можливість оцінити ступінь небезпеки та шкідливості пилу, пожежо- та вибухонебезпеку [53].

За токсичною дією шкідливі речовини поділяють на [58]:

- кров'яні отрути, які взаємодіють з гемоглобіном крові і гальмують його здатність до приєднання кисню (оксид вуглецю);
- нервові отрути, які викликають збудженість нервової системи, її виснаження, руйнування нервових тканин (наркотики – ацетилен, спирти, сірководень та ін.);
- пропалюючі та подразнюючі шкіру і слизові оболонки (сірчана та соляна кислоти, луги);
- канцерогени, що спричиняють утворення злоякісних пухлин (шестивалентний хром у вигляді зварювальних аерозолів, кам'яновугільна смола).

## 5.4 Зварювальні аерозолі

Під час електродугового процесу внаслідок впливу на основний метал і матеріал електрода тепла дуги виникає їх плавлення та часткове випаровування [58]. Пари матеріалів електрода і зварювальної ванни, що утворюються в високотемпературній зоні, виділяються в повітря навколишнього середовища, яке має більш низьку температуру, де, конденсуючись в тверді частинки, утворюють в повітрі зважені дрібнодисперсні частинки, які за рахунок аеродинамічних сил тривалий час можуть знаходитися в зваженому стані (рис. 5.1).

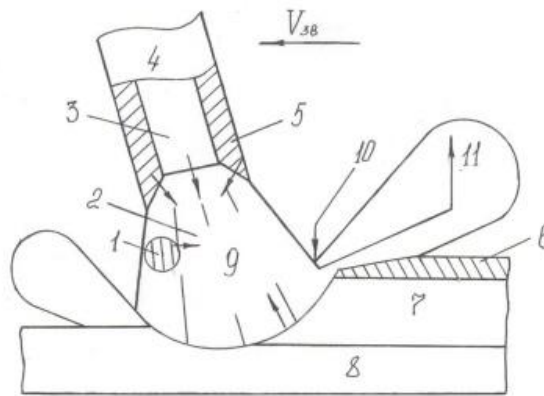


Рисунок 5.1. Механізм утворення ЗА при зварюванні покритими електродами:

- 1 – крапля металу; 2 – дуга; 3 – стрижень електрода; 4 – електрод, що плавиться; 5 – покриття електрода; 6 – шлак; 7 – метал шва; 8 – основний метал; 9 – високотемпературна пара; 10 – границя конденсації; 11 – аерозоль [55]

В процесі зварювання в ЗА можуть переходити елементи, що входять до складу зварювальних матеріалів (електродів, флюсів, дротів та ін.) і основного металу, - залізо, марганець, кремній, кальцій, калій, магній, натрій, титан, алюміній, хром, нікель, фтор тощо [59].

## 5.5 Ручне дугове зварювання покритими електродами

Рівні виділень і хімічний склад ЗА, які утворюються при зварюванні покритими електродами, визначаються рядом основних факторів: вмістом в

шлаковому розплаві, що утворюється в результаті плавлення покриття на торці електрода, хімічних елементів чи сполук з високою пружністю пари, які вносять великий вклад в утворення аерозолів; характеристикою основності (кислотності) шлаку, від якої залежить інтенсивність випаровування окремих його складових; окиснювальним потенціалом атмосфери дуги; діаметром електрода і режимом зварювання (сила зварювального струму та напруга дуги) [60].

Електроди з кислим, рутиловим і ільменітовим покриттям за рівнем виділення ЗА розрізняються між собою незначно, а порівняно з електродами з целюлозним та основним покриттям характеризуються значно меншим виділенням аерозолу (рис. 5.2).

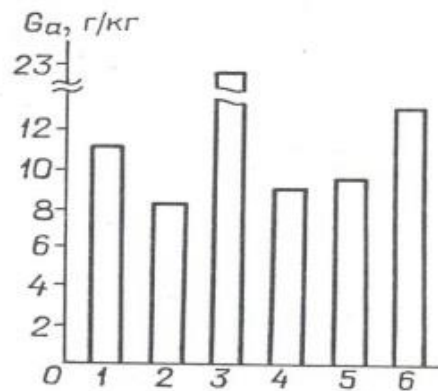


Рисунок 5.2 Питомі виділення ЗА при зварюванні електродами з покриттями: 1 – ільменітове; 2 - рутил-карбонатне; 3 – целюлозне; 4 – рутилове; 5 – кисле; 6 – основне (діаметр електрода – 5 мм, зварювальний струм – 230 А) [54]

Високий рівень виділення ЗА при зварюванні електродами з основним покриттям обумовлено наявністю в покритті летучих сполук фтору ( $\text{CaF}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ ) і високою основністю шлакової фази, яка сприяє більш інтенсивному надходженню в ЗА сполук лужних металів [59]. Великий вміст карбонатів (мармуру, крейди, вапняку, магнезиту, доломіту) в покритті сприяє стисненню дуги вуглекислим газом, який утворюється при їх розкладанні, що також призводить до підвищення інтенсивності виділення ЗА.

Аналіз багатьох даних щодо визначення хімічного складу ЗА показує, що при зварюванні електродами з рутиловим, кислим і ільменітовим покриттям утворюються ЗА близькі за хімічним складом [58]. Основою ЗА є оксиди заліза. Із шлакової фази в ЗА переходять, переважно,  $\text{SiO}_2$  (20...30 %),  $\text{K}_2\text{O}$  (5...10 %),  $\text{Na}_2\text{O}$  (6...10 %). Вміст у ЗА сполук кальцію, магнію, алюмінію та титану незначний: 0,1...0,8 %  $\text{CaO}$ ; 0,1...3 %  $\text{MgO}$ ; 0,1...0,3 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 0,1...2 %  $\text{TiO}_2$  [60]. Вміст найбільш токсичної складової ЗА - сполук марганцю - при зварюванні електродами загального призначення складає 5...10 %. Це є результатом випаровування його, переважно, з металічного розплаву, в якому концентрація марганцю при зварюванні електродами різних марок також змінюється в порівняно вузькому інтервалі [62].

### **5.6 Вентиляція для зварювальних цехів**

Вентиляція – процес повітрообміну у виробничих приміщеннях, який забезпечує нормовані значення параметрів мікроклімату та чистоту повітря.

При проектуванні вентиляції необхідно дотримуватися таких вимог:

Вентиляція повинна забезпечувати необхідну чистоту повітря та параметри мікроклімату виробничого приміщення в відповідності з [60].

Загальнообмінна вентиляція повинна забезпечувати ефективний баланс між об'ємами повітря, що надходять в приміщення та видаляються з нього.

Вентиляційне обладнання не повинно заважати рухові внутрішньоцехового транспорту, знижувати продуктивність праці, впливати на якість зварювання.

Вентиляція повинна забезпечувати економічність та надійність при експлуатації.

Види систем вентиляції

Системи вентиляції можна умовно класифікувати за такими основними ознаками [56]:

- спосіб організації повітрообміну (природна, механічна та змішана (застосовується і природна, і механічна вентиляція));

- спосіб подачі та видалення повітря (припливна, витяжна та припливновитяжна);

#### Природна вентиляція

При природній вентиляції повітрообмін здійснюється під дією природних сил – різниці густини теплого повітря всередині приміщення, більш холодного зовнішнього та сили вітру [53]. Природна вентиляція буває неорганізованою, якщо здійснюється через відчинені вікна, двері (рис. 5.3) або нещільності у зовнішніх огорожувальних конструкціях (інфільтрація), та організованою і регульованою (аерація).

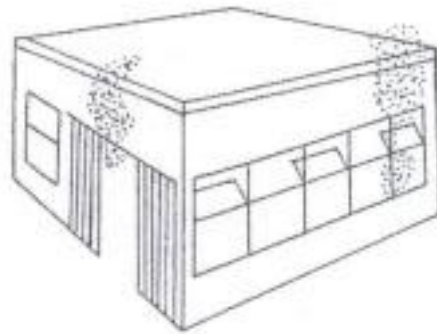


Рисунок 5.3. Природна вентиляція [63]

Аерація застосовується у приміщеннях з невеликим аеродинамічним опором, які мають значні виділення теплоти і вимагають великих витрат припливного зовнішнього повітря без попередньої його обробки (котельні, складальні цехи без зварювання, приміщення складів та ін.), а також коли не відбувається конденсація вологи із повітря на будівельних конструкціях та утворення туману. Здійснюється аерація за допомогою аераційних ліхтарів, спеціальних вентиляційних каналів, фрамуг та вікон [64].

#### Місцева вентиляція.

При значних об'ємах виробничих приміщень, невеликій кількості працюючих та наявності постійних робочих місць технічно обґрунтовано та економічно доцільно створювати необхідні метеорологічні умови та чистоту повітря безпосередньо на робочих місцях місцевими способами вентиляції – витяжною (локалізована) чи припливною (душування) та ін [65].

На постійних робочих місцях при ручному дуговому та напівавтоматичному зварюванні, зокрема в захисних газах, які мають більшу від повітря питому вагу, рекомендується застосовувати спеціальні стаціонарні столи з вмонтованою нахиленою панеллю рівномірного верхнього та нижнього відсмоктування (рис. 5.4). Об'єм повітря, що витягується даною системою місцевої вентиляції (продуктивність вентилявання), становить 1500...1800 м<sup>3</sup>/год [66].

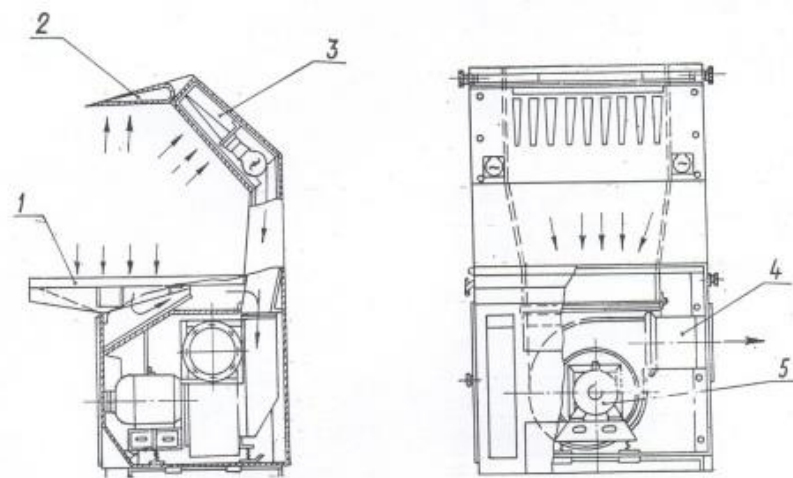


Рис. 5.4. Стіл зварника з вмонтованою вентиляцією (УкрІЗВ): 1 – нижня всмоктувальна решітка; 2 – поворотний козирок; 3 – нахилена панель рівномірного всмоктування; 4 – патрубок; 5 – вентиляційний агрегат [65]

### 5.7 Дія на організм електромагнітних полів та безпека в зварювальному виробництві

Не дивлячись на досягнення у вирішенні проблеми дії ЕМП на організм людини при зварюванні, вона все ще не має достатнього рішення. Ця проблема є предметом суспільної дискусії тривалий час і залишається невирішеною, дослідження продовжуються [67].

Вплив ЕМП на організм працюючих викликає зміни у функціональному стані нервової і серцево-судинної систем, що проявляються в збільшенні часу реакції на зовнішні подразники, зниження артеріального тиску, які залежать від напруженості даного фактора і тривалості опромінення. Результати

фізіологічних досліджень були підтверджені при поліклінічному обстеженні зварників [68].

Вимоги до персоналу, що виконує зварювальні роботи

До виконання електрошлакового зварювання допускаються зварники і помічники зварників, які пройшли додаткове навчання технології електрошлакового зварювання і перевірку знань вимог безпеки. Помічник зварника до самостійного виконання електрошлакового зварювання не допускається [54].

Повторний інструктаж проводиться не рідше ніж один раз у три місяці з відміткою в журналі.

Зварювання виробів середніх і малих розмірів в стаціонарних умовах слід виконувати в спеціально обладнаних кабінах. Кабіна повинна мати відкритий верх та виготовлятися з негорючих матеріалів [69]. Між стіною та підлогою кабіни необхідно залишати зазор, висота якого визначається видом зварювання. Площа кабіни повинна бути достатньою для розміщення зварювального устаткування, стола, пристрою місцевої витяжної вентиляції, зварювального виробу та інструменту [70].

### **5.8 Екологічні вимоги при проведенні зварювальних робіт**

Сучасні норми та вимоги встановлюють, що підприємства, такі як ТОВ "Суми-Електрод", повинні відповідати визначеним екологічним стандартам. Ці вимоги спрямовані на зменшення впливу діяльності підприємства на навколишнє середовище та забезпечення безпеки для працівників.

Однією з ключових екологічних вимог є додержання максимально допустимих рівнів викидів забруднюючих речовин у повітря, воду та ґрунт. Для досягнення цієї мети необхідно встановлювати спеціалізоване обладнання, яке забезпечує очищення стічних вод та повітря від забруднюючих речовин.

Крім того, підприємство повинно відповідати вимогам щодо утилізації та переробки відходів виробництва. Збір та утилізація відходів повинні

відбуватися відповідно до законодавства та засновуватися на застосуванні сучасних технологій та процесів відновлення для мінімізації обсягу відходів.

Додаткові екологічні вимоги можуть включати скорочення використання шкідливих речовин у виробництві, застосування енергозберігаючих технологій і матеріалів, а також забезпечення безпеки працівників у виробничому середовищі.

Всі ці екологічні стандарти є важливими для досягнення сталого розвитку підприємства, спрямованого на збереження природних ресурсів для майбутніх поколінь та зменшення негативного впливу підприємства на довкілля. Виконання цих вимог сприятиме зниженню негативного впливу на довкілля та створенню безпечного та здорового робочого середовища.

Щодо напрямків зменшення впливу виробництва на довкілля, можна виділити кілька основних груп:

- Енергоефективність виробництва: використання енергоефективних технологій та обладнання, перехід на відновлювані джерела енергії, зменшення втрат енергії.
- Використання екологічних матеріалів та компонентів: відмова від небезпечних речовин, заміна їх менш небезпечними аналогами. Раціональне використання ресурсів для зменшення кількості води, електроенергії та використання сировини.
- Впровадження систем управління довкіллям: встановлення систем контролю за викидами шкідливих речовин, ефективне очищення води та повітря, моніторинг забруднення навколишнього середовища.
- Соціально-економічні аспекти: зменшення кількості відходів та їх повторне використання, зниження кількості шкідливих викидів у повітря та використання екологічно безпечних технологій та матеріалів для збереження здоров'я та добробуту працівників підприємства.

Реалізація цих напрямків сприятиме зменшенню негативного впливу підприємства ТОВ "СУМИ-ЕЛЕКТРОД" на довкілля та поліпшенню життя працівників та мешканців регіону.



## ВИСНОВОК

Зварювання може створити середовище з високим вмістом шкідливих речовин, які можуть негативно вплинути на здоров'я людини. У зварювальних процесах виробництва різних металевих конструкцій і елементів машин використовують різні покриті електроди, які можуть виділяти шкідливі аерозолі, гази та пил. Ці речовини можуть бути досить небезпечними для здоров'я робітників, які вдихають це повітря.

Одним із способів захисту від небезпеки забруднення повітря шкідливими речовинами є використання відповідного захисного обладнання. Робітники, які працюють у зоні зварювання, повинні носити спеціальні респіратори, які можуть фільтрувати аерозолі та гази, що знаходяться під час зварювання. Крім того, захисні окуляри та одяг, що відповідає вимогам безпеки, також повинні використовуватися для захисту очей та тіла від можливого бризку розплавленого металу чи іскору.

Усі ці заходи повинні бути вжиті разом для забезпечення найвищого рівня захисту робітників, які займаються зварюванням. Правильний вибір та використання захисного обладнання, розумне планування робочого простору та дотримання норм безпеки є ключовими елементами забезпечення безпеки під час зварювання.

## ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз умов роботи та вимог до матеріалів нагнітальних клапанів. Нагнітальні клапани в криогеніці - це важливі елементи, які забезпечують контроль потоку рідкого газу та його тиску. Вони використовуються в системах, де використовується криогеніка, таких як криогенні апарати, системи зберігання та транспортування рідкого газу. Вимогами до матеріалу є корозійна стійкість, збереження достатньої ударної в'язкості при криогенних температурах та підвищене відносне подовження. Для виготовлення деталей використовують переважно сталі аустенітного класу.

2. Розглянуті способи відновлення деталей, виготовлених з аустенітних сталей. Перспективним і найуживанішим є метод ручного дугового наплавлення.

3. Визначені методи та матеріали дослідження. Це металографічний аналіз, спектральний аналіз, визначення механічних властивостей наплавленого металу, проведення випробувань на корозійну стійкість наплавленого металу, визначення феритної фази магнітним методом. Випробування матеріалів проводили на сучасному обладнанні відповідно до стандартів. В якості дослідження був використаний матеріал 12X18H10T.

4. Спектральний аналіз наплавленого шару показав, що хімічний склад наближений до сталі 12X18H10T. Вивчена мікроструктура отриманого покриття. Він складається з наплавленого шару з дендритною будовою, під ним знаходиться перехідна зона (зона сплавлення), що складається з аустеніту і невеликої кількості  $\delta$ -фериту (3,55%), зона термічного впливу і основний метал – сталь 12X18H10T.

5. Випробування механічних властивостей свідчать про те, що властивості наплавленого металу відповідають сталі 12X18H10T: межа міцності на розрив 720 МПа, відносне подовження і звуження 47% і 65%, відповідно. Ударна в'язкість при  $-196^{\circ}\text{C}$  складає  $33\text{Дж/м}^2$ . Ударна в'язкість при  $+20^{\circ}\text{C}$  складає  $265\text{Дж/м}^2$ .

6. Випробування основи - сталі 12Х18Н10Т і наплавленого шару показали, що вони не схильні до міжкристалічної корозії.

7. Проведений розрахунок економічного ефекту від впровадження нової технології наплавлення. Згідно з даними розрахунків, що актуальні на момент написання кваліфікаційної роботи магістра, було встановлено амортизаційні відрахування по обладнанню (основних і допоміжних) та інших витрат та розраховано загальну вартість витрат в ході мінімізації коштів на виготовлення за рахунок вдосконаленої технології. Річний економічний прибуток складає **6 347 837 грн** (Шість мільйонів триста сорок сім тисяч вісімсот тридцять сім гривень 00 копійок).

8. Проаналізовані шкідливі фактори, що виникають під час зварювальних робіт. Зварювання може створити середовище з високим вмістом шкідливих речовин, які можуть негативно вплинути на здоров'я людини. У зварювальних процесах виробництва різних металевих конструкцій і елементів машин використовують різні покриті електроди, які можуть виділяти шкідливі аерозолі, гази та пил. Крім того, захисні окуляри та одяг, що відповідає вимогам безпеки, також повинні використовуватися для захисту очей та тіла від можливого бризку розплавленого металу чи іскру.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Автомобільні двигуни / Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є., Тимченко І. І. Київ : Арістей, 2006. 476 с.
2. Robert Bosch GmbH: Системи управління дизельними двигунами. Видавництво «За рулем», 2004. 29 с.
3. Приклади і задачі з курсу процесів і апаратів хімічної технології / К. Ф. Павлов, П. Г. Романов, А. А. Носков. А.Носков. Львів : Хімія, 1987. 359 с.
4. Електропневматичний прилад веб-сайт. URL: <https://techtrend.com.ua/index.php?newsid=25630>. а (дата звернення: 12.12.2023).
5. Інженерія поверхні: Підручник / К. А. Ющенко, Ю. С. Борисов, В. Д. Кузнецов, В. М. Корж Київ: Наукова думка, 2007. 559 с.
6. Спеціальні покриття в машинобудуванні [Текст]: навч. посіб. / А.Г. Фесенко, М.М. Убізький, О.В. Кулик, Д.І. Шевчук. – Д: РВВ ДНУ, 2009 – 92 с.
7. Основи творення машин / Бучинський М. Я., Горик О. В., Чернявський А. М., Яхін С. В. Харків: Вид-во «НТМТ», 2017. 448 с.
8. Магнітна обробка матеріалів. веб-сайт. URL: <http://um.co.ua/8/8-9/8-90363.html>. (дата звернення: 11.12.2023).
9. Авер'янов Є. Є. Довідник з анодування. - М.: Машинобудування, 1988. - 224 с.
10. Сахненко Н. Д., Ведь М. В., Майба М. В. Конверсійні і композиційні покриття на сплавах титана: монографія. Харків, НТУ «ХПЮпубл., 2015. 176 с.
11. Фосфатування // Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури / Р. А. Шмиг, В. М. Боярчук, І. М. Добрянський, В. М. Барабаш ; за заг. ред. Р. А. Шмига. Львів, 2010. 204 с.

12. Фосфатування, Амінування: веб-сайт. URL: [http://oscada.org/wiki/Using/Kramatorsk\\_Water/uk](http://oscada.org/wiki/Using/Kramatorsk_Water/uk). (дата звернення: 01.12.2023).
13. Хромування. Сутність: процесу веб-сайт. URL: <http://um.co.ua/9/9-4/9-4562.html>. (дата звернення: 08.12.2023).
14. Мовчан В. П., Бережний М. М. Основи металургії. Дніпропетровськ: Пороги, 2001. 336 с.
15. Відновлення деталей електролітичними способами: веб-сайт. URL: [https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv\\_6/page24.html](https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv_6/page24.html). (дата звернення: 23.11.2023).
16. Астахов Є.А. Науково-технологічні основи управління властивостями детонаційних покриттів. Дис. д-ра техн.наук: 05.03.06 / НАН України; Інститут електрозварювання ім. В.М. Горького. Є.О. Патона Київ. 2005. 382 с.
17. Види покриття металевих виробів веб-сайт. URL: <https://krepsila.com/ua/a335701-vidy-pokrytiya-metallicheskih.html>. (дата звернення: 11.12.2023).
18. Стеклов О. І. Основи зварювального виробництва: Київ.: Вища школа, 1987. 214 с.
19. Попович В., Голубець В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Кн. 1 Суми, "Університет книга", 2002.-264с., т.2-260с
20. Ручне дугове зварювання: [веб-сайт. URL: <https://studfile.net/preview/5025290/page:4/>. (дата звернення: 03.12.2023).
21. Афтандіянц Є. Г., Зазимко О. В., Лопатько К. Г. Матеріалознавство: Підручник Київ.: Вища освіта, 2012. 548 с.
22. Азотування сталі: веб-сайт. URL: <https://vseznyako.com.ua/azotuvannja-stali-priznachennja-ta-osob.html>. (дата звернення: 02.11.2023).
23. Котова Н. Е. СПОСОБИ ЗМІЦНЕННЯ МЕТАЛІВ / Н. Е. Котова, В. З. Куцова, Т. В. Погребна. // УДК 621.91. – 2021. – С. 89.

- 24.Газова зварювання: веб-сайт. URL: [https://ferrum.at.ua/publ/tekhnologija\\_metaliv/39\\_gazova\\_zvarjuvannja/1-1-0-39](https://ferrum.at.ua/publ/tekhnologija_metaliv/39_gazova_zvarjuvannja/1-1-0-39). (дата звернення: 12.11.2023).
- 25.Газополуменеве наплавлення: веб-сайт. URL: <http://um.co.ua/6/6-8/6-84359.html>. (дата звернення: 26.11.2023).
- 26.Білий І. В., Фертик С. М., Хищенко Л. Т. Довідник з магнітно-імпульсної обробки металів: Харків : Вища школа, 1977. 168 с.
- 27.Фесенко А. Г. МЕТОДИ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ У ПРОЦЕСІ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН Бечке К. В., Манжеліївський С. В.. – Дніпро: Ліра ЛТД, 2015. 105 с.
- 28.Дорофеев Ю.Г, Маринепко Л.Г, Устименко В.І. Конструкційні порошкові матеріали та вироби. М.: Металургія, 1986. - 296 с.
- 29.ГОСТ 5632-72 Сталі високолеговані і сплави корозійностійкі, жаростійкі і жароміцні. М.: Видавництво стандартів, 1972 р. 26 с.
- 30.Сорокін В. Г., Гервасьєв М. А. Сталі та сплави. Довідник / М.: Інтернет Інжиніринг, 2001. 608 с.
- 31.Klueh R.L., Harries D.R. High-chromium ferritic and martensitic steels for nuclear applications. ASTM, West Conshohocken, PA, 2001, p. 220
- 32.Жароміцні і жаростійкі сталі: веб-сайт. URL: <https://krepsila.com/ua/a345177-zharoprochnye-zharostojkie-stali.html>. (дата звернення: 12.12.2023).
- 33.ГОСТ 9941-81 Труби безшовні холодно- і теплодеформовані з корозійностійкої сталі. М.: Вид-во стандартів, 1982. – 29 с.
- 34.ГОСТ 9940-81 Труби безшовні гарячодформовані з корозійно-стійкої сталі. М.: Вид-во стандартів, 1981. – 28 с.
- 35.ГОСТ 25054-81 Поковки з корозійно-стійких сталей і сплавів. М.: Вид-во стандартів, 1981. – 31 с.
- 36.Кульпіна О.В Глотка О.А Дослідження причин руйнування поковки зі сталі 12X18H10T. Запоріжжя. 2020. 53 с.

- 37.Новий спосіб дифузійного термоциклічного зміцнення поверхонь залізовуглецевих сплавів / О.О. Іванов, та ін.: Харків.: ХНАГХ, 2008. 5-7с.
- 38.ДРІТ ER 308: веб-сайт. URL: <https://weldingdragon.ua/ua/p1174520569-provoloka-308-welding.html>. (дата звернення: 14.12.2023).
- 39.Speich G.R. //Trans. AIME. 1962. V. 224. № 4. P. 850-858.
- 40.Мікроаналіз металів і сплавів: веб-сайт. URL: [https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmbt/shapovalova\\_materialoznavstvo/2.htm](https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmbt/shapovalova_materialoznavstvo/2.htm) (дата звернення: 25.11.2023).
- 41.ГОСТ 1497-84. Методи випробувань на розтягнення. М.: ІПК Видавництво стандартів,1984 р.
- 42.В.О. Пчелінцев, А. І. Дегула, Т. П. Говорун. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів" : у 2 частинах. Ч.1 Випробування металів. - Суми : Сумський державний університет, 2015. - 53 с.
43. ГОСТ Р ІСО 6507-1-2007. Метали та сплави. Вимірювання твердості за Віккерсом. - Частина 1. Метод вимірювання. - М. : Стандартінформ, 2008. - 19 с.
44. ГОСТ Р ІСО 6507-2-2009. Метали та сплави. Вимірювання твердості за Віккерсом. - Частина 2. Повірка та калібрування твердомірів. - М.: Стандартінформ, 2010. - 24 с.
- 45.Методичний посібник до лабораторних робіт з опору матеріалів (для студентів усіх спеціальностей) / Ф.Л.Шевченко, О.Г. Татяниченко, С.М. Царенко, В.М. Савенков, О.М. Картунов, Л.В. Оберемок - Донецьк: ДонНТУ, 2014. - 66с.
- 46.Гурняк Л.І. Опір матеріалів / Л.І.Гурняк, Ю.В. Гуцуляк, Т.В. Юзьків - Львів: "Новий світ - 2000", 2006. - 364с.
- 47.Карпенко В.І. Визначення схильності металевих зразків до міжкристалітної корозії: Посібник до лабораторної роботи/ В.І. Карпенко. - Сіверськ: Вид-во СТИ НІЯУ МІФІ, 2011. - 14 с

- 48.ГОСТ 6032-2017 (ISO 3651-1:1998, ISO 3651-2:1998) Сталі та сплави корозійностійкі. Методи випробувань на стійкість проти міжкристалітної корозії. Видавництво стандартів, 2017 р.
- 49.Pricerutu, I.L., Moisa, B., Chiran, A., Nicolescu, G., Bacinschi, Z. (2011): Delta ferrite influence in AISI 321 stainless steel welded tubes. The Scientific Bulletin of Valahia University of Targoviste, Materials and Mechanics, Vol. 9, pp. 87-96.
- 50.Świtalski P. Skowroński M. Pompy wirowe. Sprawność i niezawodność. – Wrocław: Drukarnia Duet sc, 2019. – 312 s.
- 51.Mahaffey R. M. Review of pump suction reducer selection: Eccentric or concentric reducers / Mahaffey R. M., van Vuuren S. J. // Journal of the South African Institution of Civil Engineering. – 2014. – Vol. 56(3). – P. 65-76.
- 52.Третьяков О. В., Зацарний В. В., Безсонний В. Л. Охорона праці : навчальний посібник з тестовим комплексом на CD / за ред. К. Н. Ткачука. — К. : Знання, 2010. — 167 с.
- 53.Левченко А. Г., Полукаров А. І. Охорона праці у зварювальному виробництві: Навчальний посібник. - К.: Основа, 2014 р. - 352 с.
- 54.Левченко А. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві: Навчальний посібник. - К.: Основа, 2010. - 240 с.
- 55.Законодавство України про охорону праці. Т. 1–3. – Київ, «Основа» 2006.
- 56.Левченко А. Г. Гігієна праці та виробнича санітарія у зварювальному виробництві: Навчальний посібник - К.: Основа, 2004. - 98 с.
- 57.Гогіташвілі Г. Г., Карчевські Є. Т., Лапін В. М. Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами: Навч. посіб. — К. : Знання, 2007. — 367 с.
- 58.Основи охорони праці / Купчик М.П., Гандзюк М. П., Степанець І. Ф. та ін. К.: Основа, 2000 - 416 с.
- 59.Основи охорони праці / К. М. Ткачук, М. А. Халімовський, В. В. Зацарний та ін. за ред. К. М. Ткачука та М. О. Халімовського - К.: Основа, 2006 - 448 с.



60. Средства защиты сварщиков: Каталог / О. Г. Левченко, В. Д. Воробьев, Ю.И. Шульга, А. О. Левченко, А. О. Лукьяненко // Под ред. О. Г. Левченко. –К.: Экотехнология, 2012. – 136 с.
61. Науково-практичний коментар до нової редакції Закону України "Про охорону праці" - Х.: Форт, 2003 - 72 с.
62. Правила поведінки електроустановок. "Електрозобов'язання спеціальних законів". ДНАОП 0.00-1.32.01: Укрдержбудінформ, 2001. 118 с.
63. Ткачук К.Н., Халімовський М.О., Зацарний В.В., та ін. Основи охорони праці: Підручник. – 2-ге вид., допов. і перероб. – К.: Основа, 2006. –444с.
64. Протоєрейський О.С., Запорожець О.І., Охорона праці в галузі: Навч. Посіб. К.: книжкове вид-во НАУ, 2005. – 268с.
65. Основи охорони праці. Підручник / За ред. Проф. В.В. Березуцького Х.: Факт, 2005. – 480 с.
66. Русаловський А.В., Правові та організаційні питання охорони праці: Навч. Посіб. – 4-те вид., допов. і перероб. –К.: Університет «Україна», 2009. – 295 с.
67. Катренко Л. А., Кіт Ю. В., Пістун І. П. Охорона праці. Курс лекцій. Практикум : навч. посіб. — Суми : Університетська книга, 2009. — 540 с.
68. Офіційний сайт Національного науково-дослідного інституту промислової безпеки та охорони праці. Режим доступу: <http://www.ndiop.kiev.ua> (дата звернення: 01.12.2023).
69. Гогіташвілі Г. Г., Карчевські Є. Т., Лапін В. М. Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами: Навч. посіб. — К. : Знання, 2007. — 367 с.
70. Грибан В. Г., Негодченко О. В. Охорона праці : навч. посіб. — 2-ге вид. — К. : Центр учбової літератури, 2011. — 280 с.