

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: «Створення зміцнюючих покриттів на сталях аустенітного класу методом електроіскрового легування»

Здобувача групи _____ МТ.м-21/1 _____ Голуб Наталії Романівни

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

_____ Наталія ГОЛУБ

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

Голуб Наталії Романівні

1. Тема проекту (роботи) «Створення зміцнюючих покриттів на сталях аустенітного класу методом електроіскрового легування» затверджена наказом по університету від «09» листопада 2023 р. № 1254-VI
 2. Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи) _____
 3. Вихідні дані до проекту (роботи) зміцнюючі покриття на сталях аустенітного класу методом електроіскрового легування
 4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)
 1. Аналіз джерел за темою диплома
 2. Загальна методика та основні методи досліджень
 3. Експериментальні дослідження та узагальнення результатів механізмів формування тонких модифікованих шарів у сталях при іонно-плазмовому азотуванні
 4. Економічна частина
 5. Охорона праці, довкілля та техніка безпеки
 5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Матеріал для захисту оформлено у вигляді презентації. Креслення відсутні.
-
-
-

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	08.12.2023
Економічна частина	Берладір Х. В.	06.11.2023	11.12.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пор.	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз джерел за темою диплома	Листопад 2023	Виконано
2	Загальна методика та основні методи досліджень	Листопад 2023	Виконано
3	Експериментальні дослідження та узагальнення результатів механізмів формування тонких модифікованих шарів у сталях при іонно-плазмовому азотуванні	Листопад 2023	Виконано
4	Економічна частина	Листопад 2023	Виконано
5	Охорона праці, довкілля, та техніка безпеки	Грудень 2023	Виконано

7. Дата видачі завдання _____

Студент _____

(підпис)

Керівник проекту _____

АНОТАЦІЯ

Голуб Наталія Романівна. Створення зміцнюючих покриттів на сталях аустенітного класу методом електроіскрового легування. Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістр за спеціальністю 132. – Прикладне матеріалознавство. – Сумський державний університет, 2023р

Дана робота присвячена підвищенню зносостійкості деталей пар тертя ковзання. Наведено результати дослідження та розробки способу захисту сталевих виробів від зношування шляхом нанесення на поверхню зношування сталевих виробів багат шарового зносостійкого шару та збільшення товщини зміцненої зони методом електроіскрового легування (ЕІЛ). Серед покриттів, сформованих за допомогою послідовності $C \rightarrow Al \rightarrow T15K6$ через ЕІЛ, спостерігаються ті, що мають найбільшу зону підвищеної твердості (розміри 320-360 мкм) і найменшу шорсткість поверхні (7,5 мкм). Наявність карбиду TiC та інтерметалідів сприяє досягненню максимальної мікротвердості в поверхневому шарі (приблизно 11500 МПа). Дотримуючись описаної методики ЕІЛ, стає можливим розширення зони дифузії вуглецю та алюмінію, що призводить до підвищення твердості та товщини зміцненого шару.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОІСКРОВЕ ЛЕГУВАННЯ, БАГАТОШАРОВЕ ПОКРИТТЯ, МІКРОСТРУКТУРА, РЕНТГЕНОСТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ, РЕНТГЕНОСПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ, МІКРОТВЕРДІСТЬ, ВУГЛЕЦЬ, АЛЮМІНІЙ, ТВЕРДИЙ СПЛАВ, ШОРСТКІСТЬ.

ABSTRACTS

Holub Nataliia Romanivna. Formation of hardening coatings on austenitic steels by electrospark alloying method. Qualification work for obtaining a master's degree in specialty 132. - Applied materials science. – Sumy State University, 2023

This work is devoted to increasing the wear resistance of parts of sliding friction pairs. The results of research and development of a method of protecting steel products from wear by applying a multi-layer wear-resistant layer to the wear surface of steel products and increasing the thickness of the strengthened zone by the method of electrospark alloying (EIL) are given. Among the coatings formed using the sequence $C \rightarrow Al \rightarrow T15K6$ through ESA, those with the largest zone of increased hardness (dimensions 320-360 μm) and the smallest surface roughness (7.5 μm) are observed. The presence of TiC carbide and intermetallics contributes to the achievement of maximum microhardness in the surface layer (approximately 11500 MPa). Following the described ESA technique, it becomes possible to expand the diffusion zone of carbon and aluminum, which leads to an increase in the hardness and thickness of the hardened layer.

Key words: ELECTRO-SPARK ALLOYING, QUASI-MULTI-LAYER COATING, MICROSTRUCTURE, X-RAY STRUCTURAL ANALYSIS, X-RAY SPECTRAL ANALYSIS, MICRO-HARDNESS, CARBON, ALUMINUM, HARD ALLOY, ROUGHNESS.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра включає в себе 81 сторінок у тому числі 9 таблиць, 22 рисунків, бібліографії із 33 літературних джерел.

Метою роботи є дослідження структурно-фазового стану багат шарових покриттів, отриманих методом електроіскрового легування, шляхом послідовного формування шарів на підкладку зі сталі 12Х18Н10Т вуглецем, алюмінієм та твердим сплавом Т15К6, та оцінка впливу параметрів структури на мікротвердість покриттів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

1. Провести аналіз впливу електроіскрового легування на мікроструктуру та властивості обробленої поверхні.

2. Провести експериментальне дослідження впливу матеріалів вихідних матеріалів та режимів електроіскрового легування на структуру, хімічний і фазовий склад покриттів.

3. Дослідити залежності мікротвердості покриттів від енергетичних режимів електроіскрового легування.

4. На основі експериментальних досліджень розробити практичні рекомендації щодо призначення оптимальних технологічних режимів електроіскрового легування поверхонь.

Об'єкт дослідження – процес формування багат шарових покриттів при електроіскровому легуванні сталі 12Х18Н10Т.

Предмет дослідження – мікроструктура, фазовий і хімічний склади, властивості цих покриттів, їх утворення при чергуванні легуючих електродів для нанесення на підкладку зі сталі 12Х18Н10Т.

Методи досліджень – при виконанні кваліфікаційної роботи магістра було використано наступні методи: рентгенографічний, оптична і електронна мікроскопія для дослідження мікроструктури отриманих зразків і покриттів, визначення мікротвердості.

Наукова новизна. Встановлено закономірності формування багат шарових покриттів при електроіскровому легуванні в умовах чергування легуючих електродів для послідовного нанесення на підкладку зі сталі 12X18H10T. Запропоновано новий спосіб захисту сталевих виробів від абразивного та інших видів зношування, який полягає в нанесенні на їх робочу поверхню зносостійкого покриття шляхом електроіскрового легування.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОІСКРОВЕ ЛЕГУВАННЯ, КВАЗІБАГАТОШАРОВЕ ПОКРИТТЯ, МІКРОСТРУКТУРА, РЕНТГЕНОСТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ, РЕНТГЕНОСПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ, МІКРОТВЕРДІСТЬ, ВУГЛЕЦЬ, АЛЮМІНІЙ, ТВЕРДИЙ СПЛАВ, ШОРСТКІСТЬ.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	2
ABSTRACTS	3
РЕФЕРАТ.....	4
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 СТАЛІ АУСТЕНІТНОГО КЛАСУ КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ	9
1.1. Аустенітні корозійностійкі сталі	9
1.2. Способи отримання стабільної аустенітної структури	10
1.3. Переваги та недоліки сталей аустенітного класу.	16
1.4. Способи зміцнення сталей аустенітного класу.....	18
Висновки.....	21
РОЗДІЛ 2 ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	22
2.1 Вибір матеріалів	22
2.2 Устаткування для проведення ЕІЛ.....	24
2.3 Методика досліджень.....	28
2.4 Рентгеноструктуриний аналіз	30
Висновки.....	31
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ	33
3.1 Суть методу електроіскрової обробки	33
3.2 Електроіскрове легування сплавів (ЕІЛ).....	33
3.3 Принципова схема та фізична модель ЕІЛ	34
3.4 Формування модифікованих покриттів на сталях з використанням методу ЕІЛ.....	38
3.5 Експериментальні результати	38
Висновки.....	50
РОЗДІЛ 4.....	52
ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	52
4.1 Економічні аспекти діяльності підприємства	52
4.2 Розрахунок вартості процесу нанесення покриттів на сталь 12Х18Н10Т	55
Висновки.....	58

РОЗДІЛ 5.....	60
ОХОРОНА ПРАЦІ, НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....	60
5.1 Основні положення з охорони праці	60
5.2 Техніка безпеки при термічній обробці металів	62
5.3 Вимоги до персоналу цехів.....	63
5.4 Вимоги до застосування засобів індивідуального захисту	64
5.5. Небезпечні фактори, що виникають під час термічної обробки.....	66
5.5.1 Пожежна безпека	66
5.5.2 Електробезпека	67
5.6 Охорона навколишнього середовища	69
5.7 Організація робочого місця та устаткування.....	71
5.8 Ефективне управління відходами та довкіллям.....	73
Висновки.....	74
ВИСНОВКИ	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	78

ВСТУП

У світі високотехнологічних виробництв та промисловості однією з ключових проблем залишається пошук ефективних методів покращення властивостей матеріалів. Серед широкого спектру технологій створення зміцнюючих покриттів, електроіскрове легування виходить на передній план.

Мета даної магістерської роботи, полягає у дослідженні закономірностей утворення багат шарових покриттів під час електроіскрового процесу для послідовного нанесення шарів на підкладку зі сталі 12X18H10T вуглецем, алюмінієм та твердим сплавом T15K6, а також дослідити мікроструктуру, фазовий і хімічний склад, властивості покриттів.

Розробка зміцнюючих покриттів методом електроіскрового легування на сталях аустенітного класу передбачає вивчення впливу різних параметрів процесу на якість та властивості створених покриттів. Враховуючи електричні параметри, час впливу іскрових розрядів, а також характеристики використовуваних матеріалів.

Важливість цієї теми полягає в тому, що створення зміцнюючих покриттів на сталях аустенітного класу відкриває нові можливості для поліпшення їхніх механічних властивостей, довговічності та стійкості до зношування. Такі покриття можуть знайти широке застосування в виробництві деталей та конструкцій, де вимагається висока міцність та надійність матеріалів при експлуатації.

Дана робота передбачає вивчення та обґрунтування ефективності методу електроіскрового легування для сталей аустенітного класу, що є актуальним та перспективним напрямом розвитку сучасної металургії та інженерної практики.

РОЗДІЛ 1

СТАЛІ АУСТЕНІТНОГО КЛАСУ КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ

1.1. Аустенітні корозійностійкі сталі

Завдяки комбінації механічних властивостей і високій стійкості до дії навколишнього середовища, корозійностійкі аустенітні сталі є одними з найбільш широко використовуваних конструкційних матеріалів в різних галузях промисловості [1]. Однак, сучасні вимоги до матеріалів для перспективних застосувань мають на увазі додаткове підвищення міцності використовуваних матеріалів, оскільки межа плинності аустенітних сталей, що мають ГЦК ґратки, як правило, демонструє невисокі значення в порівнянні, наприклад, зі сталями мартенситного класу або сталями феритного типу (мають ОЦК ґратку), зміцненими оксидами і частинками інших фаз. У той же час, мартенситні й феритні сталі мають, зазвичай, низьку корозійну стійкість і схильні до крихкості в інтервалі знижених температур, а леговані сталі часто вимагають використання дорогих і рідкісних легуючих хімічних елементів [2]. У зв'язку з цим, розробка наукових основ підвищення міцності властивостей корозійностійких аустенітних сталей є вкрай актуальною і важливою задачею фізики міцності й пластичності.

Як відомо [2], аустеніт — твердий розчин вуглецю та азоту в γ -Fe. У центральній ГЦК-решітці є отвір діаметром 0,102 нм. У цей час атоми вуглецю можуть об'єднати, що призводить до збільшення розміру решітки γ -Fe. Кристалічну структуру аустеніту можна уявити як решітку з атомів заліза з меншими атомами вуглецю, вбудованими в неї. Параметр решітки аустеніту при кімнатній температурі становить 0,286 нм, а без вуглецевого — 0,356 нм. Це значення є умовним, оскільки γ -залізо без вуглецю не існує при кімнатній температурі і було визначено шляхом екстраполяції. Відомо, що параметри решітки залежать від температури та наявності розчинених атомів. Параметри аустенітної решітки сталей, що містять більше 0,6-0,7% вуглецю при кімнатній

температурі, і чистого γ -заліза, але лише при підвищених температурах. Екстраполяція кривої до нуля вуглецю або кімнатної температури дала значення 0,356 нм [2].

Аустеніт є одним із структурних компонентів залізо-вуглецевих сплавів і являє собою твердий розчин вуглецю та легуючих елементів у залізі. У вуглецевої сталі та чавуну аустеніт стабільний вище 723°C. У залізо-вуглецевих сплавах, що містять Ni, Mn і Cr, аустеніт може повністю зберігатися до кімнатної температури. Основними перевагами аустенітних сталей є їх високі експлуатаційні характеристики (міцність, пластичність, стійкість до корозії в більшості робочих середовищ) і хороша технологічність. Тому аустенітні корозійно-стійкі сталі широко використовуються як конструкційні матеріали в різних галузях, таких як енергетика та машинобудування [3].

1.2. Способи отримання стабільної аустенітної структури

У хімічному складі сталі не повинен розвиватися дельта-ферит, мартенсит та інші типи феромагнітних фаз. Цій вимозі здатні задовольнити аустенітні сталі на основі Fe-Mn, Fe-Cr-Mn, Fe-Cr-Ni і Fe-Mn-Ni. У системах з вмістом Fe до 10% і Mn до 10% α -мартенсит утворюється навіть після нагрівання до температури 1100 °C. При додатковому легуванні в марганцевистому складі сталі кількість α -фази зменшується, але збільшується кількість немагнітної фази з гексагональною ґраткою [3].

Інші форми легування зазвичай мають ефект зменшення кількості фаз і підвищення стабільності аустеніту в сплавах Fe-Mn. Вуглець є найбільш корисним для зменшення фаз і зниження температури перетворення. Вплив вуглецю на твердість аустеніту зростає зі збільшенням кількості марганцю.

Стабільність аустеніту можна підвищити шляхом зменшення кількості розчину γ -вуглецю, який видаляється під час процесу старіння. Аустенітна стабільність марганцевої сталі підвищується шляхом поєднання її з іншими металами, такими як нікель.

Ni, як і Mn, створює твердий розчин, який замінює γ -залізо. Якщо сплав Mn-Ni має склад не менше 10% марганцю, то аустеніт безпосередньо перетворюється в альфа-мартенсит, а гамма-фаза не утворюється. Збільшення концентрації Mn у цих сплавах на 10% призводить до підвищення рівня перетворення при нікелі на 12% і вище. Діапазон α -фази та γ -мартенситу зменшується зі збільшенням концентрації марганцю, і зменшується більш ніж на 28%, коли вміст перевищує 28%. При вмісті марганцю понад 17% можна створити повністю аустенітну структуру економнолегованої нікелевої (до 10%) Mn-Ni сталі. Однак у сталях зі складом хрому 15-17% (залежно від способу обробки) і 2% Ni неможливо досягти однорідної структури аустеніту з вмістом Mn більше 5% (0,1%), однак, ця структурна нестабільність під час старіння є проблематичною [4].

Хром використовується в промисловості як компонент. Стабільний аустеніт при високих температурах можна підтримувати лише при кімнатній температурі з певним відсотком хрому та марганцю в системі залізо-хром-марганець. Сталь 12X18H10T відноситься до аустенітного класу:

$$\text{Нікелевий еквівалент} = 10 + 30 \cdot 0,12 + 0,5 \cdot 2 = 14,6$$

$$\text{Хромовий еквівалент} = 18 + 15 \cdot 0,8 = 19,2$$

Найважливішим аустеніто-утворюючим компонентом є азот. Подібно до вуглецю, азот збільшує діапазон γ та утворює твердий розчин, який зміцнює аустеніт, однак азот не впливає негативно на стійкість сталі до корозії. Крім того, може відбуватися додаткове збільшення міцності через виділення надлишку карбонітридної та нітридної фаз, які можуть перешкоджати руху дислокацій. Вміст азоту в сталі збільшується приблизно до 0,12%, що розширює діапазон γ в хромовому концентраті [4].

Ми можемо спостерігати значні відмінності в поведінці цих компонентів у сплавах на основі заліза, які є твердими розчинами, ці відмінності визначають вплив азоту та вуглецю на фізико-хімічні властивості цих сплавів[5]:

1. У вуглецю більші атомні і йонні радіуси чим в азоту.

2. Зменшує ковалентний складовий міжатомний зв'язок, вміст азоту d-електронний заряд на залізі, проте вміст вуглецю збільшує;
3. При температурах понад 400°C коефіцієнт дифузії азоту менший, ніж вуглецю.
4. Азот не схильний до кластероутворення, як вуглець, він в кристалічній решітці заліза, має тенденції до впорядкування;
5. Між хромом і азотом відбувається сильний міжатомний зв'язок, що показує рівномірний розподіл в кристалічній решітці заліза;
6. У вуглецею енергія взаємодії з дислокаціями нижча, ніж в азоту.
7. Вуглець зменшує здатність до деформації зміцнення і підвищує енергію дефектів упаковки в кристалічній решітці заліза, азот – зменшує.

Концентрація азоту головним чином відповідає за зміну структури сталі. Зі збільшенням вмісту азоту з 0,25% до 0,45% вміст хрому в сталі також збільшується, що дозволяє структурі аустеніту залишатися стабільною до 1260°C [6].

Використовуючи переваги сильного стабілізуючого ефекту вуглецю та азоту на аустеніт, вуглець, азот і марганець повинні бути включені в аустеніт, щоб замінити нікель у немагнітній сталі, яка містить хром, це не тільки економить нікель, але й покращує комплекс фізико-механічних властивостей матеріалу.

Для сталей з низьким вмістом вуглецю існує діапазон між температурою аустенізації та кількістю утвореного фериту в сталях, які складаються приблизно з 13% марганцю, із спостережуваними варіаціями.

З підвищенням температури присутність δ -фериту збільшується через введення таких елементів, як вуглець (C), азот (N) і хром (Cr).

Зменшення кількості δ -фериту можна пояснити підвищенням температури нагрівання. Це явище можна зрозуміти, вивчивши зв'язок між двома змінними. Оскільки низьковуглецеві сталі містять мінімальну кількість карбідів, вони піддаються трансформації. Зі збільшенням вмісту вуглецю розчин може бути досягнутий при більш низькій температурі. При підвищених

температурах карбіди піддаються процесу, коли їх елементи переходять у твердий розчин. Як наслідок цих температур, твердий розчин ще більше збагачується вуглецем. Виконуючи роль потужного γ -утворювача, хромовий вуглець сприяє збільшенню рівня аустеніту. Хоча хром має протилежну схильність, важливо уникати присутності δ -фериту. Підвищений вміст вуглецю та азоту в сталях зробив можливим подальше підвищення концентрації. Для забезпечення наявності аустенітних властивостей необхідна мінімальна кількість вуглецю та азоту. Структура демонструє лінійне зростання зі збільшенням вмісту хрому [6].

Карбіди відіграють важливу роль у перешкоджанні росту зерен і підвищенні міцності сталі. Що стосується впливу на ріст зерна під час нагрівання, то вуглець має значно більший вплив порівняно з азотом. Зміцнююча дія вуглецю і азоту, як елементів введення, приблизно еквівалентна і перевершує зміцнюючу дію хрому і марганцю, які утворюють тверді розчини заміщення. Перетворення аустеніту в мартенсит збільшується пропорційно зменшенню швидкості.

Температура охолодження відіграє вирішальну роль у перетворенні від γ до α ($M\alpha$) у цих сталях, оскільки нижча температура охолодження призводить до неповного та повільного перетворення. Механічні та фізичні характеристики цих сталей визначаються ступенем перетворення аустеніту в мартенсит, а також утворенням інтерметалічних або карбідних фаз, які сприяють подальшому зміцненню. Для забезпечення бажаних і стабільних властивостей ретельно вибираються спеціальні хімічні сполуки, які сприяють перетворенню $\gamma \rightarrow \alpha$ ($M\alpha$) при кімнатній температурі або трохи нижче.

Завдяки додаванню достатньої кількості нікелю змінюється склад 18% хромистої сталі. Нержавіючі сталі з високим вмістом хрому та нікелю, відомі як аустенітні сталі, мають чудові механічні властивості, стійкість до росту зерна, стійкість до корозії та відсутність холодноламкості. Ці сталі, що містять 18% хрому та 10% нікелю, набули широкого застосування в різних галузях промисловості, таких як машинобудування, споживчі товари, архітектура та

скульптура. Система Fe-Cr-Ni дає цінну інформацію про фазову поведінку нержавіючих хромонікелевих сплавів. На рисунку 1.1 показаний горизонтальний розріз при 650°C, що зображує різні області в системі Fe-Cr-Ni. Суцільні лінії представляють межі між однофазними γ та α областями, тоді як двофазна $\gamma+\alpha$ область також вказана. Вміст хрому відіграє значну роль у визначенні цих меж фаз.

При температурах нижче 650 °C область $\gamma+\alpha$ зміщується вправо, пунктирні лінії вказують на її найдаліше положення при 20 °C, у міру підвищення температури область рухається вліво, досягаючи свого максимального положення при 1100 °C, представленого пунктирними лініями, що закінчуються в точках a і d. Слід зазначити, що понад 20% сполуки FeCr знаходиться в α -фазі [7].

Наявність структури фериту при кімнатній температурі свідчить про повну $\gamma\leftrightarrow\alpha$ рекристалізацію сплавів, розташованих нижче лінії abc. Область займають напівферитні (або напіваустенітні) сплави, які зазнають часткового $\gamma\leftrightarrow\alpha$ перетворення. Феритні сплави розташовані ліворуч від лінії be, тоді як аустенітні сплави знаходяться праворуч від лінії fg, на яких ми і зупинимося. У цій системі сплав 18-9 позначений крапкою. Очевидно, що для досягнення структури аустеніту з 18% Cr необхідний вміст нікелю 9%. При зниженні вмісту нікелю сплав стає двофазним у всьому діапазоні температур, в тому числі і при кімнатній. І навпаки, збільшення вмісту хрому понад 18% вмісту хрому нижче 14-15% призведе до тих самих результатів, навіть для таких матеріалів, як 9% Ni. При температурах нижче 650°C структура демонструє наявність α -фази, яка утворюється через мартенситний механізм, як показано на рис 1.1. [7].

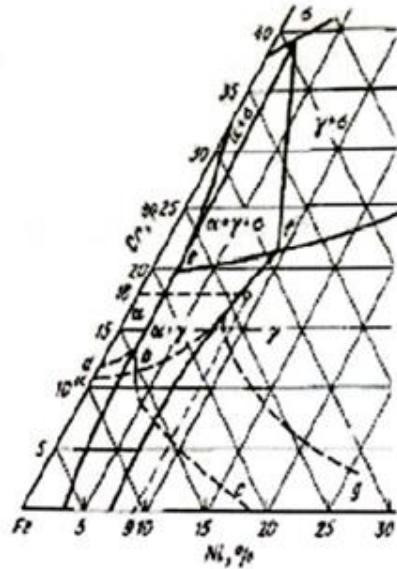


Рисунок 1.1 - Залізний кут системи Fe-Cr-Ni.
Суцільні лінії - ізотермічний розріз при 650°C

У нержавіючих сталях, що складаються з хрому та нікелю, домінуюча γ -фаза, відома як аустеніт, супроводжується різними формами α -фази. Перша форма α -фази виникає шляхом відділення або від рідкого стану, або від аустеніту при підвищених температурах, що перевищують 600-700 °C. Друга форма виникає в результаті перетворення аустеніту при нижчих температурах нижче 600 °C, використовуючи мартенситний механізм. Нарешті, α -фаза, яка називається мартенситом деформації, виникає під час пластичної деформації аустеніту нижче певної температури, відомої як точка MD. Структурний стан сплавів, що містять 18% хрому і 8-15% нікелю, може бути стабільним або нестабільним в залежності від коливань складу [7].

Аустенітні сталі з 18% хрому і 8-10% нікелю є структурно нестійкими, оскільки охолодження їх при низьких температурах або піддавання пластичній деформації при кімнатній температурі призводить до утворення мартенситу. Навпаки, у сплавах, що містять 18% хрому та 10-12% нікелю, утворення мартенситу може бути викликане лише деформацією при температурах нижче 0 °C. Нарешті, сплави з 18% хрому і більше 14% нікелю мають стабільний аустеніт. [1,3,4].

1.3. Переваги та недоліки сталей аустенітного класу.

Сталі аустенітного класу є одними з найбільш універсальних та важливих металів у промисловості. Аустенітні сталі мають високу стійкість до окислення та корозії в агресивних середовищах, таких як вода, кислоти, хлориди [8].

Додавання нікелю в сталь істотно впливає на область розширення, знижує температуру мартенситного переходу, і при концентрації нікелю 8% сталь з 18% хрому і 0,1% вуглецю стає аустенітною сталлю.

Основною перевагою аустенітної сталі є її високі характеристики (міцність, пластичність і стійкість до корозії в більшості середовищ). Як наслідок, аустенітні сталі зазвичай використовуються як конструкційні компоненти в різних галузях машинобудування [8].

У промислово придатній хромонікелевій аустенітній сталі можливі такі перетворення:

1) Утворення карбідної, карбонітридної фаз і σ -фази можливе при нагріванні сталі до діапазону 650-850 градусів Цельсія.

2) Розчинення цих фаз можливе при нагріванні сталі до більш високих температур (1100-1200 градусів Цельсія).

3) Утворення δ -фериту фази можливе як у процесі охолодження, так і в процесі пластичної деформації.

Різниця між карбонітридними фазами в основному розташована вздовж меж зерен, це зменшує гнучкість сталі та знижує її стійкість до МКК. З розвитком σ -фази сталі раптово стають крихкими. Наявність δ -фериту в структурі сталі негативно впливає на її продуктивність, особливо це стосується гарячепресованої сталі. В результаті в сталі, яка піддається обробці тиском, при підвищених температурах об'єм δ -фериту мінімізується.

Метою термічної обробки є отримання аустенітної структури, зняття внутрішнього напруження та усунення схильності до МКК, яка присутня під час технологічних операцій, таких як обробка гарячим тиском або зварювання.

Термічна обробка включає процес загартування без поліморфного перетворення або процедури стабілізуючого відпалу [9].

Незважаючи на багато переваг, аустенітні сталі також мають деякі обмеження, наприклад, меншу міцність у порівнянні з іншими типами сталей при високих температурах або в певних умовах.

Вибір конкретного типу сталі залежить від вимог конкретного застосування та умов експлуатації. У порівнянні з іншими типами сталей, аустенітні сталі можуть мати обмежену міцність при високих температурах. Це може зробити їх менш практичними для застосувань у високотемпературних умовах, наприклад, у виробництві деталей для двигунів або обладнання, яке піддається великим температурним навантаженням [9].

Аустенітні сталі можуть бути більш схильними до руйнування при ударних навантаженнях порівняно з іншими типами сталей. Це може зробити їх менш відповідними для застосувань, де важлива висока міцність на згин або при ударних навантаженнях.

Виробництво аустенітних сталей може бути витратним через використання спеціальних матеріалів, таких як нікель або марганець, які підвищують їх вартість порівняно з іншими типами сталей.

Деякі аустенітні сталі можуть мати меншу твердість порівняно з іншими типами сталей, що може робити їх менш відповідними для застосувань, де потрібна висока твердість матеріалу, наприклад, у виробництві інструментів.

Мінусом цього класу сталі є їх висока вартість, необхідне використання обмеженої кількості нікелю. Низька теплопровідність і стійкість до корозії газами в середовищах, що містять сірку. Універсальні аустенітні сталі типу 18-8, у тому числі 08X18H10T, 12X18H10T, застосовуються як матеріал з високою термічною стійкістю для використання у вихлопних системах, трубах, листах і деталях марки. Підвищення жаростійкості аустенітних сталей досягається збільшенням вмісту в них хрому і нікелю, а також додаванням до них кремнію [10].

При взаємодії аустенітних сталей з окремими середовищами або в

умовах високої температури може відбуватися виділення вуглецю, що може призвести до послаблення металевих структур та зниження їх міцності. Ці недоліки не завжди впливають на всі види аустенітних сталей та можуть бути компенсовані за допомогою додаткової обробки, легування та інженерних рішень.

1.4. Способи зміцнення сталей аустенітного класу

Зміцнення аустенітної сталі можна здійснити кількома методами.

Спочатку ми можемо обговорити загартування аустенітної сталі, який є одним із основних процесів, що використовуються для досягнення певних механічних властивостей матеріалу. Аустенітні сталі мають високу концентрацію аустеніту, який є структурною формою заліза, що забезпечує їх чудову пластичність при високих температурах [11].

Основні етапи процесу охолодження аустенітної сталі включають.

Матеріал нагрівається до високих температур, як правило, до області аустенізації, де структура стає аустенітом. Температура процесу нагріву залежить від конкретного складу сталі. Після досягнення необхідної температури матеріал витримується в ній протягом заданого часу для забезпечення однорідності структури. За ним швидке охолодження до певної температури дозволить «заморозити» склад матеріалу. Це викликає перетворення аустеніту в інші фази кристалічної структури, включаючи мартенсит або бейтєйт, що підвищує міцність і твердість матеріалу.

Деякі види сталі вимагають додаткової обробки після гартування, цей процес допомагає зменшити внутрішню напругу в матеріалі та покращити його механічні властивості. Загартована аустенітна сталь має підвищену міцність на розрив і твердість, але вона може бути менш пластичною, ніж інші матеріали, без підвищення твердості. Дуже важливо точно встановити параметри процесу гарту, щоб досягти бажаних механічних властивостей і уникнути дефектів матеріалу [11].

Легування сталей аустенітного класу - це процес додавання спеціальних елементів до сталі для поліпшення її властивостей. Вони можуть бути легуваними для отримання певних механічних, хімічних або фізичних характеристик.

Аустенітні марки сталі поширені в багатьох галузях промисловості, включаючи авіаційну, нафтогазову, хімічну та харчову промисловість, завдяки своїй чудовій корозійній стійкості та міцності на розрив при високому відпуску.

Основні підходи, що використовуються для зміни поверхні аустенітної сталі. Покриття та захисні шари використовуються для покриття різних сталевих підкладок, це створює захисний шар на поверхні. Це може включати напилення, гальванічне покриття (наприклад, хромування), фосфатування, анодне окислення, сплавне покриття (наприклад, хромонікелеве покриття) та інші процеси [11].

Азотування - це процедура додавання азоту до поверхні сталі при високих температурах і у вакуумі. Це сприяє створенню міцного шару, що підвищує міцність, стійкість до зношування та корозії.

Цементация - це акт додавання вуглецю на поверхню матеріалу з метою підвищення його стійкості та твердості.

Лазерний відпал або плазмова обробка використовується для збільшення поверхні сталі для отримання міцних шарів [12].

Термічна обробка - застосовується при різних температурах тепла та холоду, які змінюють структуру сталі, ця обробка може призвести до збільшення міцності та стійкості до зношування.

Використання хімічних процесів для зміни властивостей поверхні сталі, включаючи хімічне відновлення, окислення, азотування тощо [12].

Ці технології підвищують механічні та корозійно-стійкі властивості аустенітної сталі, що дозволяє їй відповідати вимогам у різних ситуаціях.

Модифікація поверхні аустенітної сталі має свої проблеми через властивості матеріалу. Наприклад, аустенітний склад сталі, яка багата нікелем,

молібденом і хромом, важко змінити, оскільки вона схильна до високих температур і реакційноздатна під час обробки.

При зміні аустенітної сталі вкрай важливо зберегти її високу корозійну здатність. Деякі методи модифікації можуть негативно вплинути на корозійну стійкість матеріалу.

Аустенітні сталі схильні до деформації під час обробки та зміни. Це може призвести до зміни їх механічних властивостей.

Висока чутливість до термічної обробки може призвести до проблем зі зміною властивостей матеріалу.

Забезпечення високоякісних марок аустенітної сталі, які були змінені, важко через їх складний хімічний склад.

Вирішення цих проблем може вимагати точної технології обробки, спеціальних методів модифікації та дослідження властивостей матеріалу на різних стадіях процесу [13].

- 1) Аустенітні сталі схильні до деформації під час обробки або зміни. Це може призвести до зміни їх механічних властивостей.
- 2) Висока чутливість до термічної обробки може викликати проблеми зі зміною властивостей матеріалу.
- 3) Придбати високоякісну аустенітну сталь, яка була змінена, ускладнено через її складний хімічний склад.
- 4) Вирішення цих проблем може вимагати точної технології обробки, спеціальних методів модифікації та дослідження властивостей матеріалу в залежності від стадії процесу.
- 5) Оптимізація мікроструктури, зміна може вплинути на мікроструктуру матеріалу, що покращить його властивості. Це може бути досягнуто шляхом зміни розміру зерен, форми включення або інших аспектів структури.
- 6) Підвищуючи оброблюваність, також можна внести модифікації, щоб збільшити оброблюваність сталей, зменшити їхню схильність до деформації під час обробки або покращити властивості обробки [13].

Висновки

Удосконалення аустенітної сталі є серйозною роботою, яка потребує використання кількох методів. Це термічна обробка, додавання легуючих компонентів, обробка тиском та інші методи. Важливо враховувати, що конкретні методи збільшення сили повинні бути професійно відповідними для досягнення найбільших результатів.

Технології, пов'язані з модифікацією поверхні аустенітної сталі, пропонують потенціал для підвищення її міцності, стійкості до корозії та інших характеристик. Це може включати використання хімікатів, пластмас або інших матеріалів для створення гладкої рівної поверхні. Однак при використанні цих технологій важливо врахувати питання щодо структурної природи матеріалу та забезпечити високу якість обробки.

Проблеми, пов'язані з обробкою поверхні аустенітної сталі, включають можливість дефектів під час обробки, зміни мікроструктури, які можуть вплинути на механічні властивості, і необхідність використання спеціальних методів для збереження робочих властивостей матеріалу після обробки. Для ефективного впровадження даної технології необхідно постійно вдосконалювати методи обробки та регулювати якість одержуваних матеріалів.

РОЗДІЛ 2

ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Вибір матеріалів

12X18H10T - найпопулярніша і широко використовувана нержавіюча сталь - 12X18H10T - це сталь аустенітного класу, нержавіюча титано вмісна [14]

Переваги: висока пластичність і міцність на розрив. Оптимальним для цих сталей є нагрівання їх до 1050-1080 °С у воді, після чого механічні властивості характеризуються максимальною в'язкістю і пластичністю, низькою міцністю і твердістю. Аустенітні сталі мають максимальну температуру 600°C і використовуються для термостійкості. Основними компонентами сплавів є Cr-Ni. Однофазні сталі мають постійний однорідний склад аустеніту, але містить невелику кількість карбідів Ti (для запобігання міжкристалічної корозії). Цей тип структури досягається після гарту при температурах 1050°C-1080°C). Сталі аустенітного та аустенітно-феритного класів мають низьку середню міцність (700-850 МПа) [15].

Корозійностійка хромонікелева сталь 12X18H10T з різним рівнем зміцнення використовується при необхідності поєднання високих міцнісних властивостей і пружності в металі, який працює в умовах помірної агресивності (конвеєрні стрічки, кузови автомобілів, а також відрізні круги, призначені для роботи з твердими матеріалами.).

Основні властивості - максимальна міцність і відносне подовження сталі - регламентуються з певним ступенем наближення, довідкові дані не враховують ні конкретний хімічний склад розплаву, ні технологічні параметри первинної обробки.

Для виготовлення зварних виробів доцільно використовувати сталь 12X18H10T. Цей вид сталі придатний для використання в різних умовах, в тому числі для роботи з розбавленими розчинами азотної, оцтової, фосфорної кислот, а також лугів і солей. Він також підходить для деталей, які працюють

під тиском в діапазоні температур від -196 до +600°C, і може витримувати агресивне середовище до +350°C. Сталь 12X18H10T відноситься до аустенітного класу корозійностійкої сталі.

Таблиця 2.1

Хімічний склад в % матеріалу 12X18H10T [16]

C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	S	P	Cu
0,12	0,8	2,0	17,0-19,0	9,0-11,0	5.C-0,8	0,020	0,035	0,30

Таблиця 2.2

Механічні властивості сталі 12X18H10T [16]

ГОСТ	Стан поставки, режими термообробки	Перетин, мм	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{\text{в}}$	δ_5	ψ
			МПа		%	
5949-75	Прутки. Гартування 1020- 1100 °С, повітря, масло або вода.	60	196	510	40	55

Таблиця 2.3

Фізичні властивості сталі 12X18H10T [16]

T	R 10 ⁹	E 10 ⁻⁵	I	a 10 ⁶	r	C
Град	Ом·м	МПа	Вт/(м·град)	1/Град	кг/м ³	Дж/ (кг·град)
20	725	1,98	15		7920	
100	792	1,94	16	16,6		462
200	861	1,89	18	17		496
300	920	1,81	19	17,2		517
400	976	1,74	21	17,5		538
500	1028	1,66	22	17,9		550
600	1075	1,57	24	18,2		563
700	1115	1,47	25	18,6		575
800			26	18,9		596
900			27	19,3		

Таблиця 2.4

Ударна в'язкість КСУ (Дж/см²) сталі 12Х18Н10Т [16]

T= +20 °С	T= -40 °С	T= -75 °С	Термообробка
286	303	319	Полоса 8х40 мм в стані спокою

Таблиця 2.5

Жаростійкість сталі 12Х18Н10Т [16]

Середовище	Температура, °С	Група стійкості або бал
Повітря	650	2-3
	750	4-5

Нержавіюча сталь 12Х18Н10Т має такі технічні властивості [16]:

- Допустима напруга в сталі 12Х18Н10Т при температурі 20 градусів становить 184 МПа.
- Продуктивність 12Х18Н10Т залежить від виду прокату.
- Твердість за Брінеллем (НВ) — 179 од.
- 12Х18Н10Т становить 7920 кг/м³, що вважається досить високим показником в порівнянні з іншими аналогічними сплавами нержавіючої сталі.

2.2 Устаткування для проведення ЕІЛ

Хоча традиційно розрізняють установки для чистого і грубого легування, існує ряд установок, які можуть застосовуватися як для першого, так і для другого випадків, наприклад «Елітрон-52А».



Рисунок 2.1 – Установка «Елітрон-52А», призначена для чистового і грубого ЕІЛ

Грубе легування використовують для зміцнення поверхонь, до шорсткості яких не пред'являються високі вимоги, з товщиною легованого шару більше 100 мкм. Найбільш універсальним пристосуванням для кріплення анода – електрода являється вібратор. В даному випадку електродний зазор здійснюється за рахунок вібрації анода. При цьому анод, здійснюючи коливальний рух із частотою 50-400 Гц, періодично контактує з поверхнею катода.

На рис. 2.2 у спрощеному вигляді показана схема установки ЕІЛ [17].

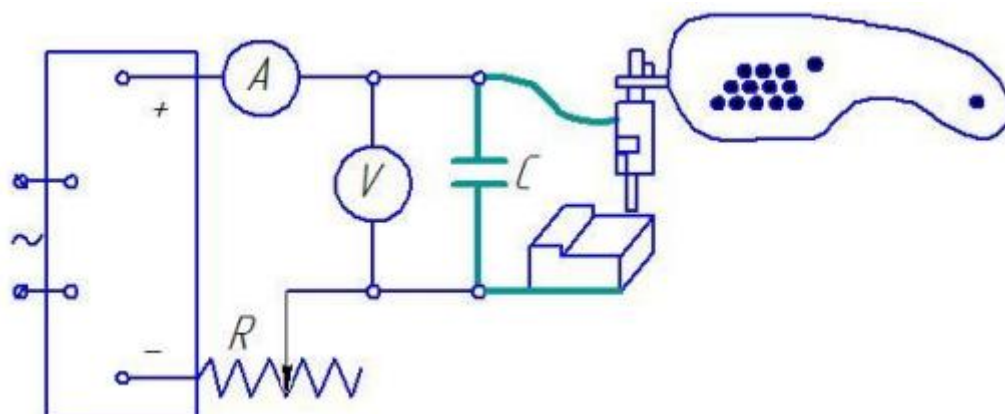


Рисунок 2.2 – Принципова електрична схема установки ЕІЛ металевих поверхонь

Мікроскоп металографічний призначений для ідентифікації і аналізу структури різних металів і сплавів. Застосовується в машинобудуванні, металургії і інших галузях промисловості. Застосовується для дослідження якості литва, плавки і високотемпературної обробки, для тестування сировини і оброблених матеріалів і аналізу матеріалів після високотемпературної обробки.

Мікроскоп NEOPHOT дозволяє аналізувати метали, неметали при збільшеннях до 2000 крат, отримувати зображення в цифровому вигляді для подальшого аналізу прикладними програмами.



Рисунок 2.3 Фото оптичного металографічного мікроскопу Neophot 2

Мікротвердомір ПМТ-3 призначений для вимірювання мікротвердості матеріалів, сплавів, скла, кераміки та мінералів методом вдавлювання в випробуваний матеріал алмазного наконечника Віккерса.

Вимірювання діагоналей відбитків проводять за допомогою фотоелектричного окулярного мікрометра та електронно-обчислювального пристрою (ЕВУ), а також за допомогою гвинтового окулярного мікрометра МОВ-1-16х. Мікроскоп мікротвердоміра дозволяє здійснювати перегляд випробуваного об'єкта у світлому та темному полі [17].



Рисунок 2.4 – Зображення приладу ПМТ-3

Дифрактометр рентгенівський ДРОН-3 призначений для проведення широкого кола рентгеноструктурних досліджень кристалічних матеріалів. Дифрактометр забезпечує роботу з рентгенівськими трубками типу БСВ27, БСВ28, БСВ29.



Рисунок 2.5 – Зображення Дифрактометр рентгенівський ДРОН-3

Форму і розмір визначають методом скануючої електронної мікроскопії (SEM) за допомогою скануючого електронного мікроскопа JEOL JSM 5400[18].



Рисунок 2.6 – Зображення електронного мікроскопа Jeol JSM-5400

2.3 Методика досліджень

З метою отримання комплексних покриттів на сталі 12X18H10T легування здійснювали в такій послідовності:

- Цементация методом ЕІЛ (ЦЕІЛ) при $W_p = 3,4$ Дж + алітування алюмінієвим електродом марки СвА99 при $W_p = 3,4$ Дж;
- ЦЕІЛ при $W_p = 3,4$ Дж + ЕІЛ твердим сплавом Т15К6 при $W_p = 3,4$ Дж;
- ЦЕІЛ при $W_p = 3,4$ Дж + алітування алюмінієвим електродом марки СвА99 при $W_p = 3,4$ Дж + ЕІЛ твердим сплавом Т15К6 при $W_p = 3,4$ Дж.

ЦЕІЛ проводили на зразках зі сталі 12Х18Н10Т розміром 10х10х8 на установці з ручним вібратором «Елітрон-52А». Тривалість процесу легування становила 1,0 хв.

Раніше встановлено, що при ЦЕІЛ зі збільшенням енергії розряду збільшується товщина цементованого шару (шару підвищеної твердості) [19]. Так, при ЦЕІЛ сталі 12Х18Н10Т при енергії розряду (W_p) = 3,4 і 6,8 Дж протягом 1 хв товщина цементованого шару становила 101 і 115 мкм, мікротвердість 8700 і 9000 МПа і шорсткість 8,3-9,0 і 11,0-14,2 мкм, відповідно. Таким чином, значне збільшення енергії розряду з $W_p = 3,4$ до 6,8 Дж не призводить до істотного збільшення товщини і мікротвердості цементованого шару, хоча шорсткість поверхні істотно зростає. Тому в даній роботі сталь 12Х18Н10Т піддавали ЦЕІЛ при $W_p = 3,4$ Дж [19].

Як електрод для проведення ЦЕІЛ використовували графіт марки ЕГ-4.

Металографічний і дюрOMETричний аналізи отриманих покриттів проводили за стандартними методиками з використанням оптичного мікроскопа «Неофот-2» і приладу ПМТ-3, відповідно.

Рентгенографічні дослідження проводили в СоК α -випромінюванні на дифрактометрі ДРОН-УМ1. Дифрактограми знімали методом покрокового сканування. Обробку експериментальних результатів виконували за допомогою програми для повнопрофільного аналізу рентгенівських спектрів.

Поверхня після ЕІЛ є шорсткою (табл. 3). Для отримання дифрактограм задовільної якості поверхня аналізованого зразка повинна бути гладкою (мінімум розсіювати рентгенівські промені). Тому перед проведенням

рентгенографічних досліджень поверхню зачищали наждачним папером Р 1000 для видалення виступів.

Дифрактограма сталі 12Х18Н10Т до поверхневої обробки подана на рис. 2.7. Як і очікувалося фазовий склад обраної сталі аустенітного класу представляє собою ГЦК твердий розчин з періодом ґратки $a = 35,936$ нм.

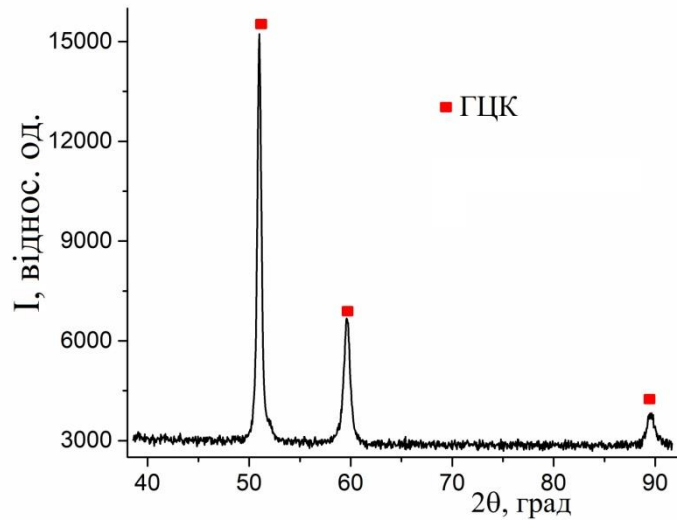


Рисунок 2.7 – Дифрактограма поверхні сталі 12Х18Н10Т

Для дослідження розподілу елементів і вуглецю по глибині шару проводився локальний мікрорентгеноспектральний аналіз з використанням скандувального електронного мікроскопа Jeol JSM-5400, оснащеного мікроаналізатором ISIS 300 Oxford instruments.

Шорсткість поверхні вимірювали на приладі профілографі-профілометрі мод. 201 заводу «Калібр» шляхом зняття і обробки профілограм[18,19].

2.4 Рентгеноструктуриний аналіз

Інформацію про елементний складі різних матеріалів можна отримати за допомогою різноманітних аналітичних методів, які найчастіше передбачають руйнування речовини. Існує безліч складних речовин, що утворюються в результаті з'єднання хімічних елементів між собою. Ці складні речовини мають найрізноманітніші властивості, причому відмінність цих властивостей

визначається відмінностями хімічного складу і відмінностями у взаємному розташуванні атомів (структурі). Лише дифракційні методи мають унікальну можливість давати характеристику кристалічним фаз. Поняття кристалічна фаза визначає просторово однорідний, рівноважний стан речовини, що характеризується певним елементним складом і структурою.

Основні переваги рентгеноструктурного аналізу полягають в тому, що досліджується безпосередньо саме тверде тіло (зразок не потрібно переводити в плазму або розчиняти) і результатом аналізу є безпосередньо визначення його складових. Рентгенівські промені дають дифракцію на кристалі, на основі якої розраховується інформація про нього, в разі поліморфних тіл рентгенівські промені дають можливість розрізнити окремі модифікації, властиві для даної речовини. Для дослідження потрібно невелика кількість речовини, зразок в процесі проведення аналітичної операції не руйнується. Кристалічна речовина певного хімічного складу в результаті будь-якого фізичного впливу (механічного, термічного) може змінювати свої властивості. Здебільшого це обумовлюється зміною кристалічної структури (фазове перетворення) або спотворенням цієї структури під дією зовнішніх сил або внутрішніх напружень. Дифракційні методи дозволяють виявити найменші зміни в стані атомної решітки кристала, що не уловлюються іншими методами.

На практиці найбільшого поширення набув рентгенівський порошковий метод, який в основному і використовується в рентгенівському фазовому (рентгеноструктурному) аналізі. Цей метод в даний час є найбільш застосовуваним в порівнянні з іншими рентгенівськими методами. Це пояснюється тим, що багато важливих природних і синтетичних, матеріалів найчастіше знаходяться в полікристалічному стані, і тільки в такому стані можливо вивчення їх структури та властивостей [20,21].

Висновки

Важливу роль в отриманні точності та об'єктивності результатів відіграє правильний підбір матеріалів дослідження. Це стосується не лише

властивостей матеріалу, але й його структури, чутливості до різних аналітичних методів і здатності адаптуватися до вимог дослідження.

Це може включати електронні мікроскопи, аналізатори складу та інше спеціалізоване обладнання для детального структурного аналізу матеріалів.

Для отримання об'єктивних даних про структуру матеріалів важливо використовувати відповідні металографічні методи дослідження. Це може включати підготовку зразка, використання різних етапів полірування та хімічної обробки для отримання найточніших результатів.

Визначення твердості матеріалу є ключовим параметром, оскільки він відображає його стійкість до механічних впливів. Точні та порівняльні дані про твердість матеріалу можна отримати за допомогою відповідних методів, таких як методи Віккерса, Роквелла або Брінелля.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Суть методу електроіскрової обробки

Метод електроіскрового легування дозволяє надати деталям машин і механізмів підвищену твердість, корозійну стійкість, жароміцність і зносостійкість [20]. Це досягається шляхом створення хімічних сполук і шарів відповідної товщини. Успіх обробки ЕІЛ базується на розумному виборі анода, який базується на його стійкості до ерозії, його фізичних і хімічних властивостях і способах обробки.

Основною концепцією електроіскрового легування є вплив електричних імпульсів на провідні матеріали катода і анода. Електричний розряд, який генерується, створює модифіковані шари на поверхні катода, ці шари є результатом дії імпульсів і теплових параметрах у зоні розряду. Під дією теплових навантажень на поверхні анода відбувається ряд різноманітних процесів, це процеси: термомеханічні, дифузні, мікрометалургійні та інші, які діють на матеріал анода і катода, це поєднання призводить до утворення міцного зв'язку між легованим шаром і основою. Природа легованого поверхневого покриття залежить від складу, структури, властивостей матеріалу анода та технічних характеристик електроіскрового процесу.

3.2 Електроіскрове легування сплавів (ЕІЛ)

Одним з важливих аспектів є створення нових матеріалів і поверхонь з підвищеними фізико-механічними властивостями. Значущість цього питання ще проявляється в методі електроіскрового легування (ЕІЛ), винахідниками якого є вчені Б.Р. Лазаренка та М.І.Лазаренка. Протягом тривалої історії метод ЕІЛ використовувався в основному в розвинених країнах, таких як США, Японія, Німеччина та інші.

Дослідження процесів ЕІЛ і створення нових методів процесу дозволяють отримувати покриття металевих поверхонь, які будуть володіти бажаними властивостями і вимогами до роботи параметрів.

Завдяки високій продуктивності, простоті використання, універсальності та простому дизайну метод ЕІЛ став популярним у промисловості. Сама процедура — це взаємодія компонентів при високих температурах і тисках, які вказують на наявність локального об'єму великих електричних і магнітних полів. Ці умови створюють складний ряд фізичних процесів, які мають значний вплив на більшість властивостей електроіскрового процесу[21].

Основним параметром ЕІЛ є кількість енергії, пов'язаної з електричним розрядом (W_p), цей параметр змінюється, щоб вплинути на процес ЕІЛ, а також на фізичні та механічні властивості продуктів.

$$W_p = K \times \frac{c^2 \times U}{2},$$

де K – коефіцієнт, що враховує втрати енергії у розрядному контурі ($K \sim 0,5-0,7$);

c – ємність конденсаторів (Φ);

U – напруга на конденсаторах (B).

3.3 Принципова схема та фізична модель ЕІЛ

Процедура плавлення і осадження, проводиться в атмосфері повітря і газу. Спосіб аналогічний методу мікрозварювання. Короткочасний електричний імпульс змушує основу електрода плавитися і переноситися на оброблену поверхню. У результаті інший термін для позначення процесу – електроіскрове покриття, яке також відоме як електроіскрове зміцнення. Принципова схема процесу ЕІЛ з вібруючим анодом, який має форму

електрода, і зображення поверхневого шару катода, який утворюється під час процесу, відображено на рисунках 3.1 і 3.2. Коли відстань між анодом і катодом така ж, як і пуансон, утворюється іскра, яка триває ($10^{-6} - 10^{-3}$) секунд. Зазвичай це закінчується, коли електроди зближуються [18,7,19].

Умовні позначення:

- Г.І. – генератор імпульсів;
- МЕР – міжелектродний проміжок;
- А – анод;
- К – катод (деталь) ;
- ІР – іскровий розряд;
- f_a – частота коливань аноду.

На рисунку 3.1 зображено структуру, що утворюється на катоді при такому режимі – анод – сталь 5ХНМ, катод – вуглеграфітовий, струм – 15 А, тривалість – 10^{-3} с

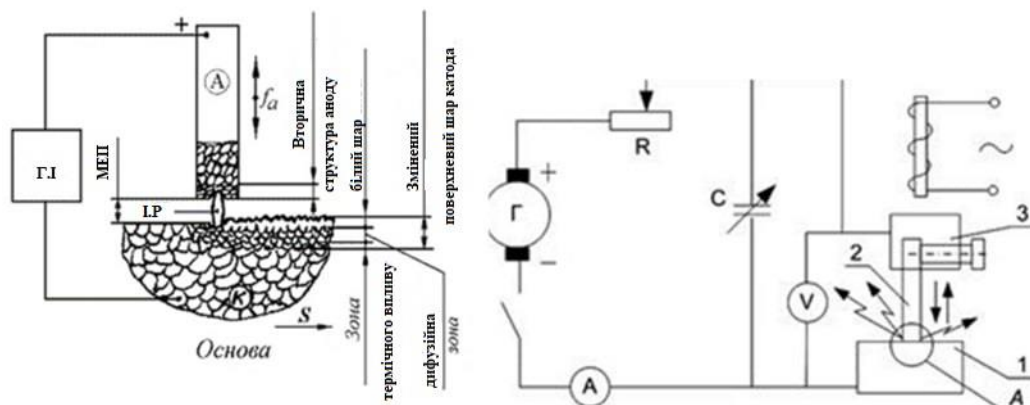


Рисунок 3.1 – Принципова схема процесу ЕІЛ [7]

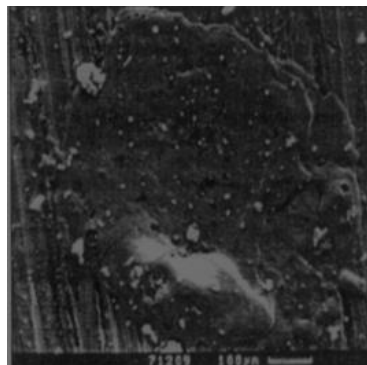


Рисунок 3.2 – Структура, що утворюється на катоді, в результаті ЕІЛ [8]

Основоположники методу ЕІЛ Б.Р. Лазаренко та М.І. Лазаренка, були основними авторами домінуючих концепцій цього методу. Ці концепції ґрунтуються на уявленні про те, що коли іскра рухається по поверхні електродів, це змушує розплавлені та розм'якшені ділянки обох електродів мігрувати та змішуватися разом. Оскільки проміжок між електродами створює локалізовані зони плавлення та випаровування, електроди піддаються різним формам ураження електричним струмом. Цей перехід матеріалу від анода до катода призводить до зміни структури та властивостей шару. Коли електричний розряд завершується і анод відділяється від катода, весь цикл електричного кола замикається.

Безперервний розвиток шару ЕІЛ можна пояснити періодичним рухом анода, який коливається між катодом і вібратором. Щоб полегшити цей рух, використовуються спеціальні пристрої, такі як вібратор, який надійно з'єднується з анодом. Однак важливо зазначити, що ці явища виникають через розряди високої напруги, тоді як низька напруга зазвичай використовується для цілей покриття. Ця невідповідність має значні наслідки та фундаментально змінює основну концепцію процедури. Натомість основним фактором, що впливає на процес, є механізм масообміну, який відбувається через контакт між електродами та подальше плавлення зазначених електродів. В результаті іскра створює імпульсний термомеханічний вплив на всі 16 задіяних електродів.

Анод нагрівається за рахунок потоку електронів, тоді як магнітне поле, перпендикулярне електродам, підвищує тиск у плазмі, в результаті чого на електродах утворюються ерозійні отвори. Після аналізу літератури та експериментальних даних щодо методу ЕІЛ запропоновано модель (рис. 3.3). Ця модель відрізняється від підходу Лазаренка тим, що враховує поверхневі явища, такі як руйнування електрода в рідкій, паровій та твердій фазах, захоплення електрода в момент контакту, зміни властивостей поверхні внаслідок перенесення матеріалу та фізичного тиску, наявність мікрОВОлокна на поверхні катода, що викликає рекристалізацію матеріалу та хімічну

взаємодію, обмеження товщини шару через внутрішні напруги та термічну втому, а також дискретний склад шару [19].

Годинникарі та ювеліри використовують метод електроіскрового зміцнення завдяки позиціонуванню зони обробки. Автолюбители також обрали цей метод, оскільки він дозволяє їм копіювати транспортні засоби, кораблі та літаки. Крім того, метод електроіскрового зміцнення спростив процес нанесення покриттів на скло та кераміку.

Традиційна класифікація передбачає ерозію електродів і розвиток вторинної структури на аноді і на катоді, що призводить до втрати міжелектродного простору. Комплексна модель Верхотурова пропонує перевагу модифікації властивостей покриття за допомогою регулювання електродів. Тим не менш, ця теорія не враховує кореляції між мікротвердістю матеріалу електрода, шаром сплаву та стійкістю покриття до зносу та тепла.

Отвір можна розділити на три окремі області: випаровування, плавлення та розтягнення. Область плавлення і випаровування розширюється зі зниженням температури і зниженням температур плавлення і кипіння. Це розширення викликане тепловими і термомеханічними хвилями напруги. Схематичне зображення узагальненої моделі ЕІЛ показано на рисунку 3.3.

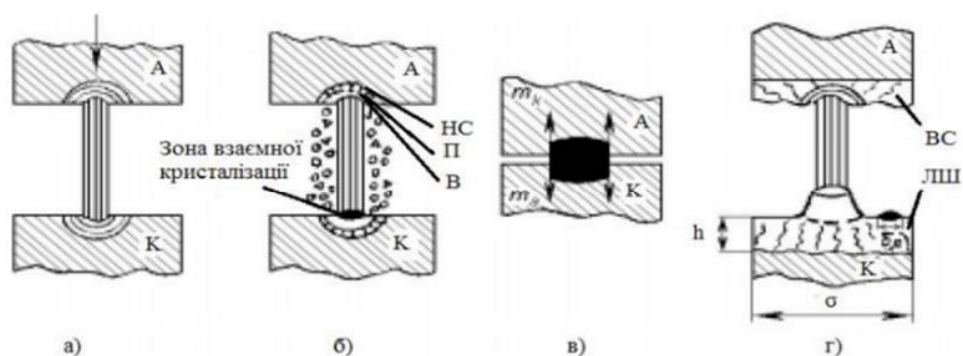


Рисунок 3.3 - Узагальнена схема процесу ЕІЛ [9]

За рахунок теплових і термомеханічних хвиль напруги. Зона напруженого стану виникає внаслідок теплової та механічної хвилі

імпульсного нагріву, реактивної поведінки плазмового струменя та його розширення під час зменшення імпульсу.

3.4 Формування модифікованих покриттів на сталях з використанням методу ЕІЛ

Внаслідок електроіскрового процесу деталь, що обробляється, зазнає зміни розмірів, рельєфу, фізичних, хімічних і механічних властивостей її поверхневого шару.

Для підвищення властивостей робочих поверхонь матеріалів, що здійснюється, як правило, шляхом нанесення покриттів, що підвищують їх міцність, стійкість до зношування і корозії, застосовують методи нанесення додаткових або захисних покриттів.

У змінених шарах спостерігається утворення інтерметалідів, нітридів, карбідів, оксидів та інших структур з тонким ступенем зернистості, що зумовлює підвищення твердості поверхні.

Невелика кількість досліджень впливу легуючого середовища не дає остаточної картини впливу, однак попереднє дослідження, яке намагалося порівняти властивості шарів, утворених у різних середовищах, дає підстави обговорювати значний вплив атмосфери аргону на товщину утвореного шару, його мікротвердість і стійкість до зношування.

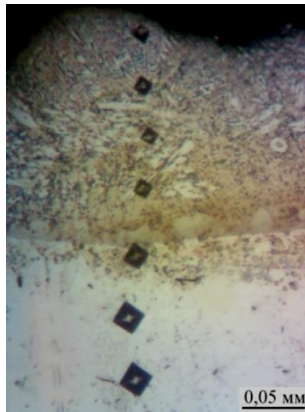
3.5 Експериментальні результати

На рис. 3.4 показано мікроструктуру та розподіл мікротвердості поверхневого шару сталі 12X18H10T після обробки ЦЕІЛ з енергією розряду (W_p) 3,4 Дж.

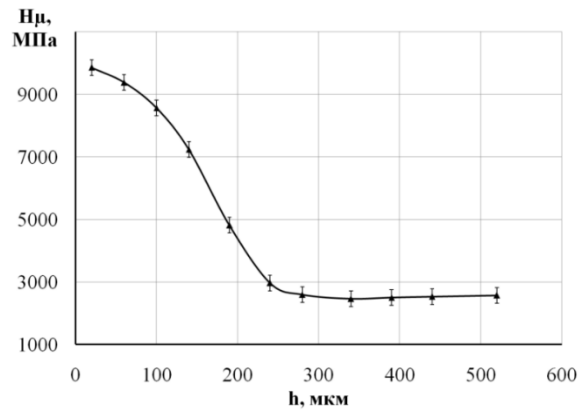
Металографічний аналіз отриманого покриття показав, що мікроструктура складається з 3 областей:

- 1) Білий зміцнений шар;
- 2) Дифузійна зона;
- 3) Основний метал з аустенітною структурою.

Розмір зміцненого шару нерівномірний, коливається в межах 90-160 мікрон. Дослідження твердості показують збільшення твердості шару на 9000-9500 МПа після ЦЕІЛ. В середньому глибина шару з підвищеною твердістю становить приблизно 100 мкм.



а



б

Рисунок 3.4 – Мікроструктура (а) та розподіл мікротвердості (б) поперечного перерізу зразка зі сталі 12X18N10T після обробки ЦЕІЛ, $W_p = 3,4$ Дж

Результати електронно-мікроскопічних досліджень зображені на рисунку 3.5 і демонструють результати аналізу, проведеного на поперечному перерізі поверхневого шару сталі 12X18N10T за СЕІЛ із значенням $W_p = 3,4$ Дж. Крім того, розподіл різних елементів, таких як вуглець, хром, залізо, нікель і титан, усі з яких є складовими сталі, показано вздовж глибини.

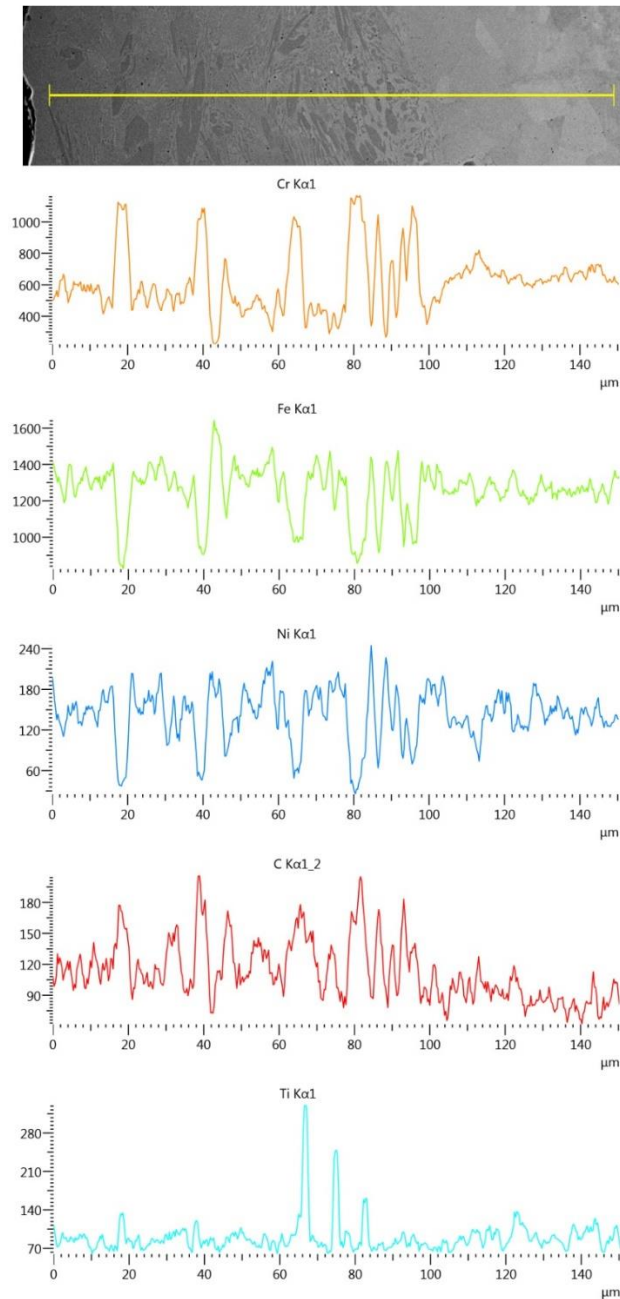


Рисунок 3.5 – Розподіл компонентів у першому шарі сталі 12X18H10T за процесом ЦЕІЛ, $W_p = 3,4$ Дж

На рисунку 3.5 видно, що додатковий вуглець у верхньому шарі зберігається при товщині 100 мкм, що узгоджується з результатами металографічних та дурометричних досліджень (рис. 3.4).

Металографічний аналіз комплексних С + Al покриттів, отриманих методом ЕІЛ, показав, що вони складаються з 4-х зон (рис. 3.6):

- 1) м'який (темний);

- 2) зміцнений (світлий);
- 3) дифузійна зона;
- 4) основний метал.

На поверхні розташований нерівномірний м'який і пористий шар, товщина якого становить на різних ділянках 70 – 100 мкм, а мікротвердість 1000-2500 МПа. Під ним розташований світлий шар, що має підвищену мікротвердість (до 7500 МПа), його товщина 80 – 120 мкм.

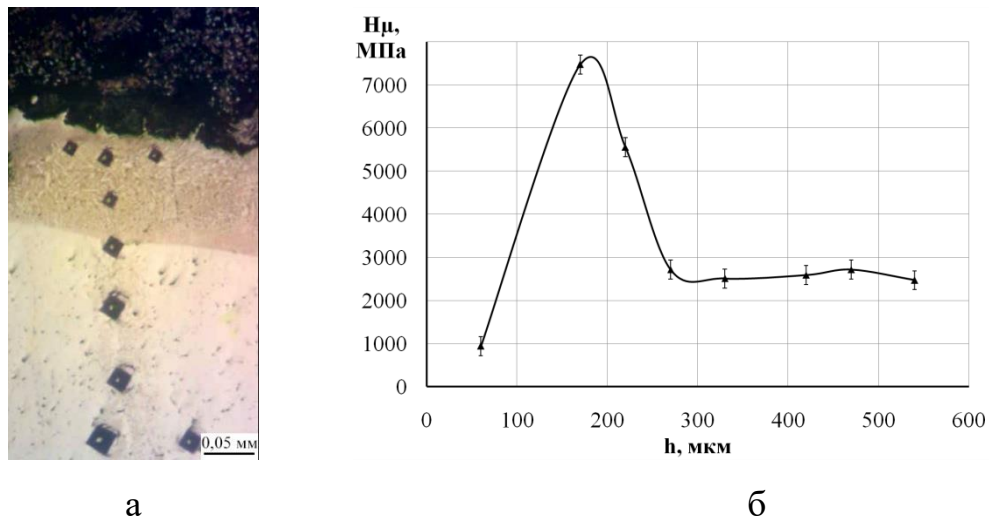


Рисунок 3.6 – Мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості (б) поперечного перерізу зразка зі сталі 12X18H10T після ЦЕІЛ і ЕІЛ алюмінієм

Результати аналізу локального мікрорентгеноспектрального аналізу зразків з багатошаровим покриттям (ЦЕІЛ і ЕІЛ з алюмінієм) показують, що при ЕІЛ алюміній впроваджується в сталеву підкладку на глибину до 100 мкм (рис. 3.7). Вміст елементів, що входять до складу сталі 12X18H10T (Fe, Cr, Ni, Ti) на відстані 80-100 мкм аналогічний марковому складу[19].

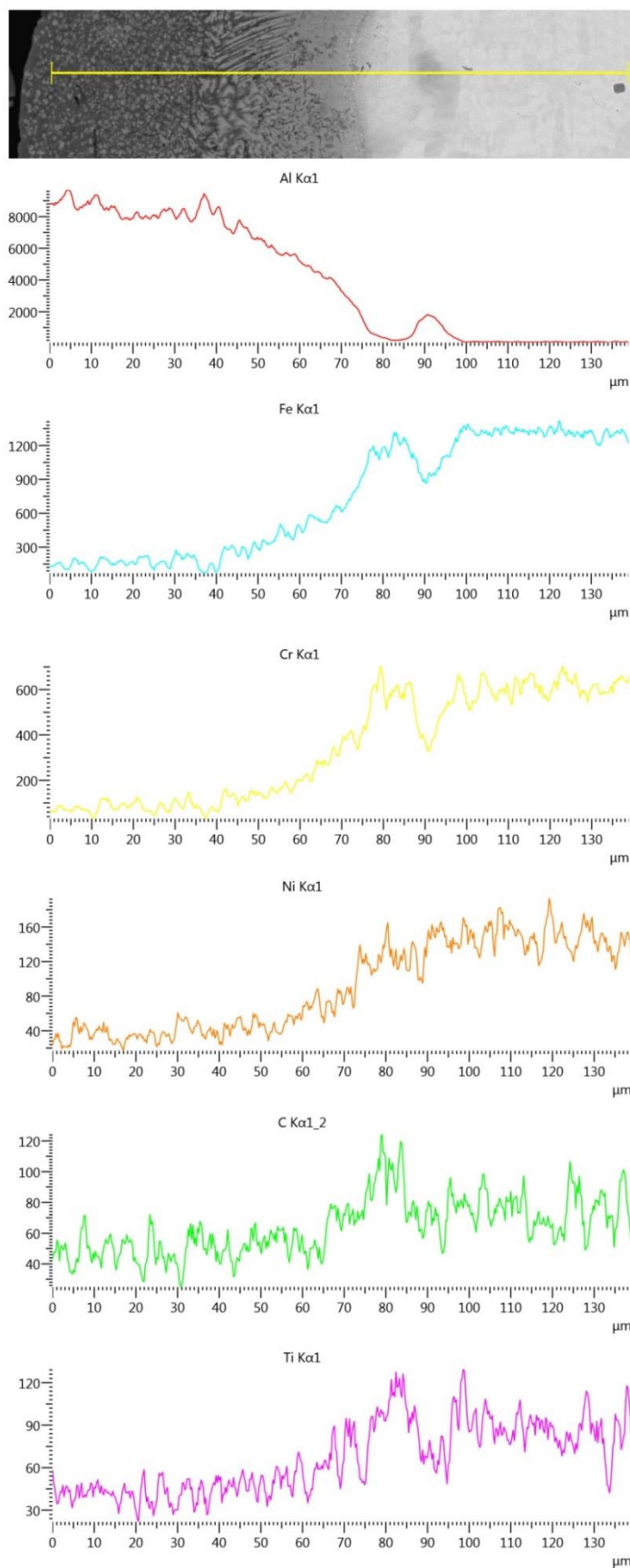


Рисунок 3.7 – Розподіл елементів в поверхневому шарі сталі 12X18H10T після ЦЕІЛ і ЕІЛ алюмінієм

При дослідженні зміцненого шару встановлено, що поверхня покриття складається з багатьох фаз. Зокрема, є два твердих розчини з ОЦК та ГЦК ґратками, інтерметалід ($\text{Fe}_4\text{Al}_{13}$) та два карбіди з гексагональною ($(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$) та кубічною (AlFe_3C) кристалічною ґраткою (рис. 3.8). Періоди решітки цих фаз наведені в таблиці 3.1. Примітно, що період решітки ГЦК твердого розчину становить 36,123 нм, що трохи більше, ніж період решітки сталі 12Х18Н10Т до обробки ($a = 35,936$ нм). Ця невідповідність, ймовірно, пояснюється легуванням твердого розчину. Через багатофазність поверхні покриття неможливо провести кількісний фазовий аналіз, оскільки дифракційні максимуми від різних фаз перекриваються [19].

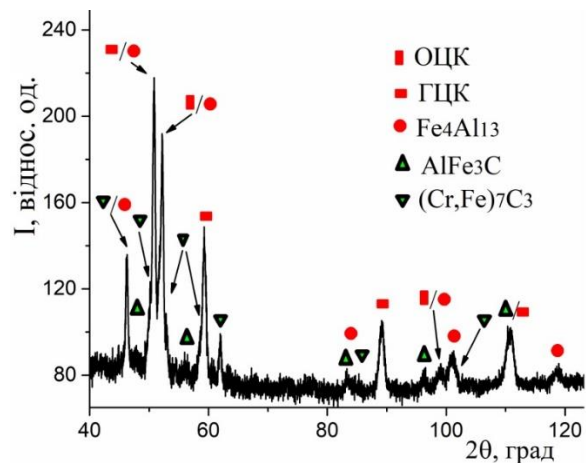


Рисунок 3.8 – Дифрактограми поверхні сталі 12Х18Н10Т після ЦЕІЛ і ЕІЛ алюмінієм

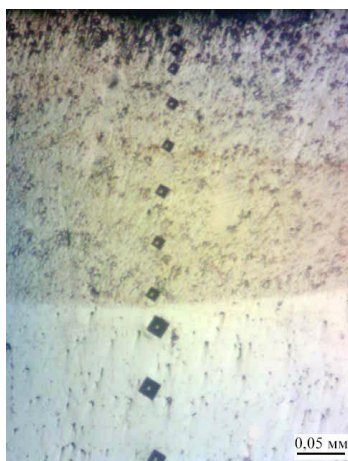
Дотримуючись послідовності легування ЦЕІЛ → ЕІЛ Al → ЕІЛ Т15К6 при значенні W_p 3,4 Дж, утворюється значний шар товщиною 320-360 мкм і має максимальну мікротвердість поверхні в діапазоні 10500-11500 МПа (див. рис. 3.9). Результати фазового аналізу показують, що основними компонентами багат шарового покриття (див. рис. 3.10) є карбід титану (масою 62%) та впорядкована сполука $(\text{NiCoFe})\text{Al}$ (масою 25%). Крім того, була виявлена присутність інтерметаліду Fe_7W_6 (μ -фаза), що становить 9% маси, разом з невеликою часткою твердого розчину ВСС (вагою 4%). Помітна

присутність карбідної фази та інтерметалідів сприяє підвищенню мікротвердості, що спостерігається в отриманих шарах (див. рис. 3.9).

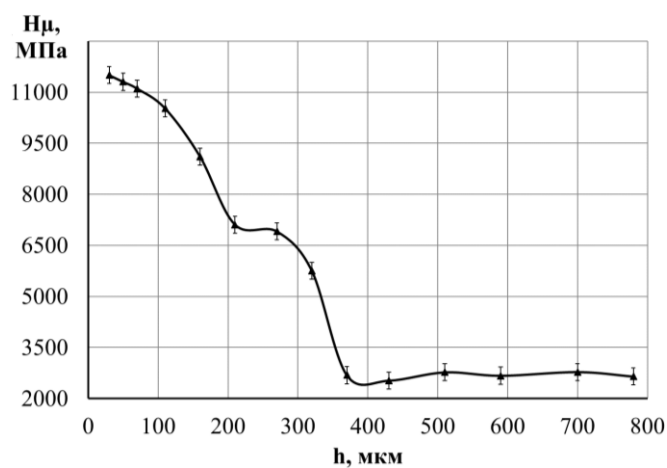
Таблиця 3.1

Параметри кристалічних ґраток фаз після ЦЕІЛ і ЕІЛ алюмінієм сталі 12Х18Н10Т

Фаза	Періоди ґраток, нм			
	a	b	c	β
ОЦК	28,812	28,812	28,812	90
ГЦК	36,123	36,123	36,123	90
Fe_4Al_{13}	154,92	80,78	124,71	107,69
$AlFe_3C$	37,90	37,90	37,90	90
$(Cr,Fe)_7C_3$	45,14	69,82	121,11	90



а



б

Рисунок 3.9 – Мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості (б) поперечного перерізу зразка зі сталі 12Х18Н10Т після ЦЕІЛ, ЕІЛ алюмінієм і ЕІЛ твердим сплавом Т15К6

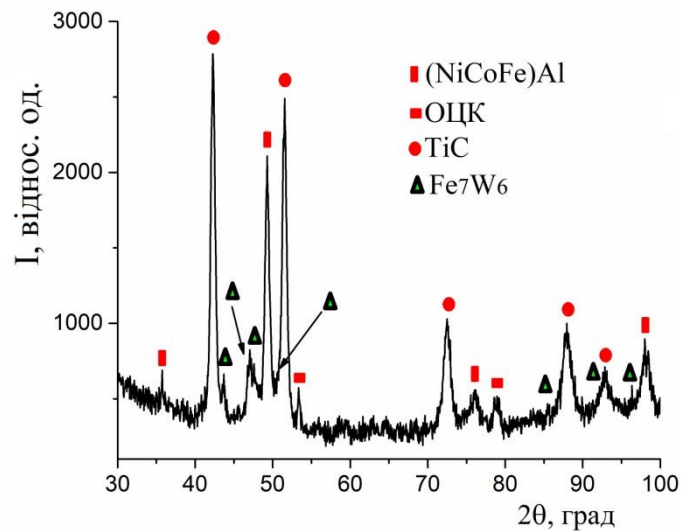


Рисунок 3.10 – Дифрактограми поверхні сталі 12Х18Н10Т після ЦЕІЛ, ЕІЛ алюмінієм і твердим сплавом Т15К6

Таблиця 3.2 – Параметри кристалічних ґраток фаз і кількісний фазовий аналіз після ЦЕІЛ, ЕІЛ алюмінієм і твердим сплавом Т15К6 сталі 12Х18Н10Т

Фаза	Періоди ґраток, нм				Вміст фази, % (мас.)
	a	b	c	β	
ОЦК	28,22	28,22	28,22	90	4
(NiCoFe)Al	29,112	29,112	29,112	90	25
TiC	42,84	42,84	42,84	90	62
Fe ₇ W ₆	47,80	47,80	259,88	90	9

На рисунку 3.11 показано результати рентгенівського мікроспектрального аналізу, який виявив ефекти послідовного СЕІЛ та ЕІЛ з використанням алюмінію та електрода з твердого сплаву Т15К6. При енергії 3,4 Дж алюміній піддається дифузії на глибину 320 мкм, що призводить до зменшення його вмісту. З іншого боку, вольфрам, основний компонент твердого сплаву Т15К6, дифундує на глибину 270 мкм разом із вуглецем. Застосування описаної технології, відомої як ЕІЛ, дозволяє розширити зони дифузії вуглецю та алюмінію, що призводить до збільшення як твердості, так і товщини зміцненого шару [19].

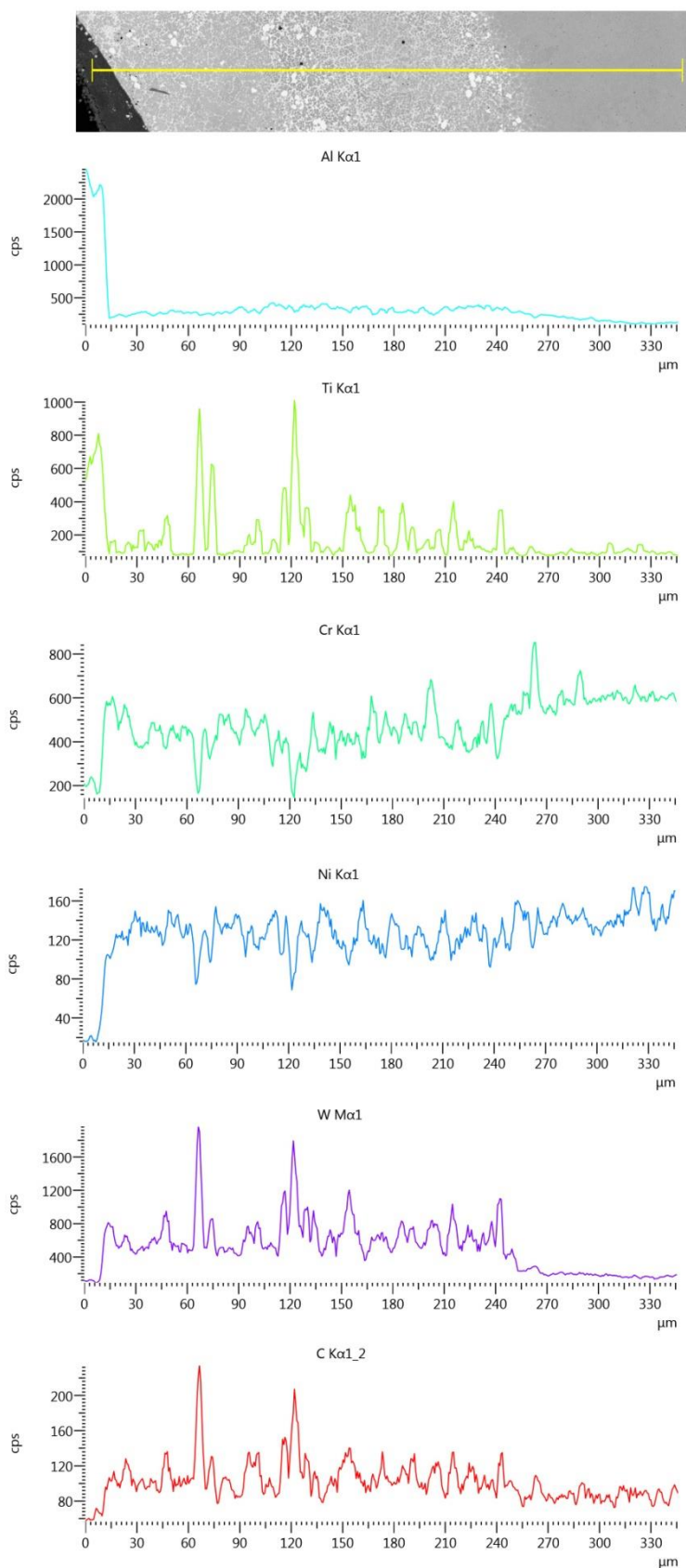
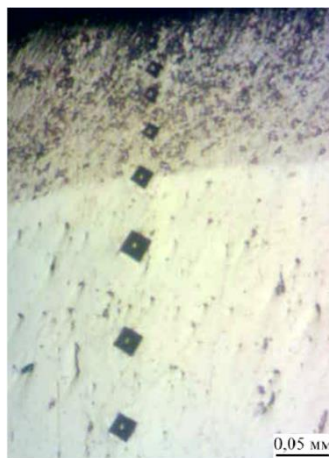
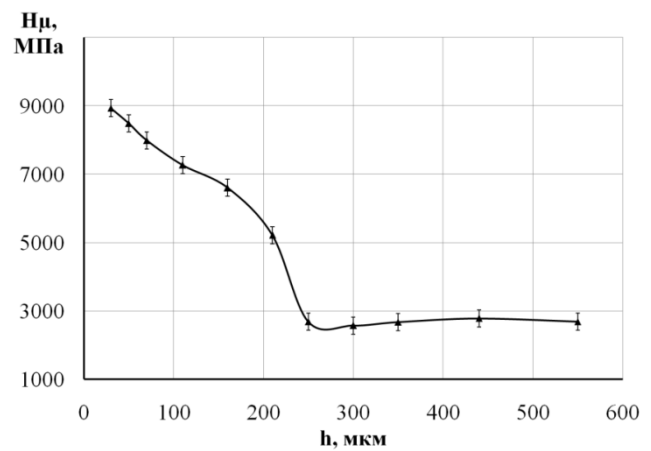


Рисунок 3.11 – Розподіл елементів у поверхневому шарі сталі 12X18H10T після ЦЕІЛ, ЕІЛ алюмінієм і твердим сплавом Т15К6

Дослідження показали, що метод ЦЕІЛ → ЕІЛ Т15К6 (за винятком ЕІЛ з алюмінієм) не дає бажаного значення мікротвердості (як показано на рис. 3.12). На поверхні мікротвердість складає 9000 МПа, поступово зменшуючись до базової мікротвердості приблизно 2500-2600 МПа в міру віддалення від поверхні. Товщина зміцненого шару становить 200-220 мкм, що на 100 мкм менше, ніж результат послідовності ЦЕІЛ → ЕІЛ АІ → ЕІЛ Т15К6 (як показано на рис. 3.6). Варто відзначити, що цілісність шару залишається приблизно на 100%.



а



б

Рисунок 3.12 – Мікроструктура (а) і розподіл мікротвердості (б) поперечного перерізу зразка зі сталі 12Х18Н10Т після ЦЕІЛ і ЕІЛ твердим сплавом Т15К6

Досліджено розподіл елементів як в підкладці (сталь 12Х18Н10Т), результати представлені на рис. 3.12. Глибина шару, отримана після ЦЕІЛ та ЕІЛ з твердосплавним електродом Т15К6 при $W_p = 3,4$ Дж, показала, що вольфрам дифундує на глибину 125 мкм, а шар з більшим вмістом вуглецю поширюється приблизно до 120 мкм [19].

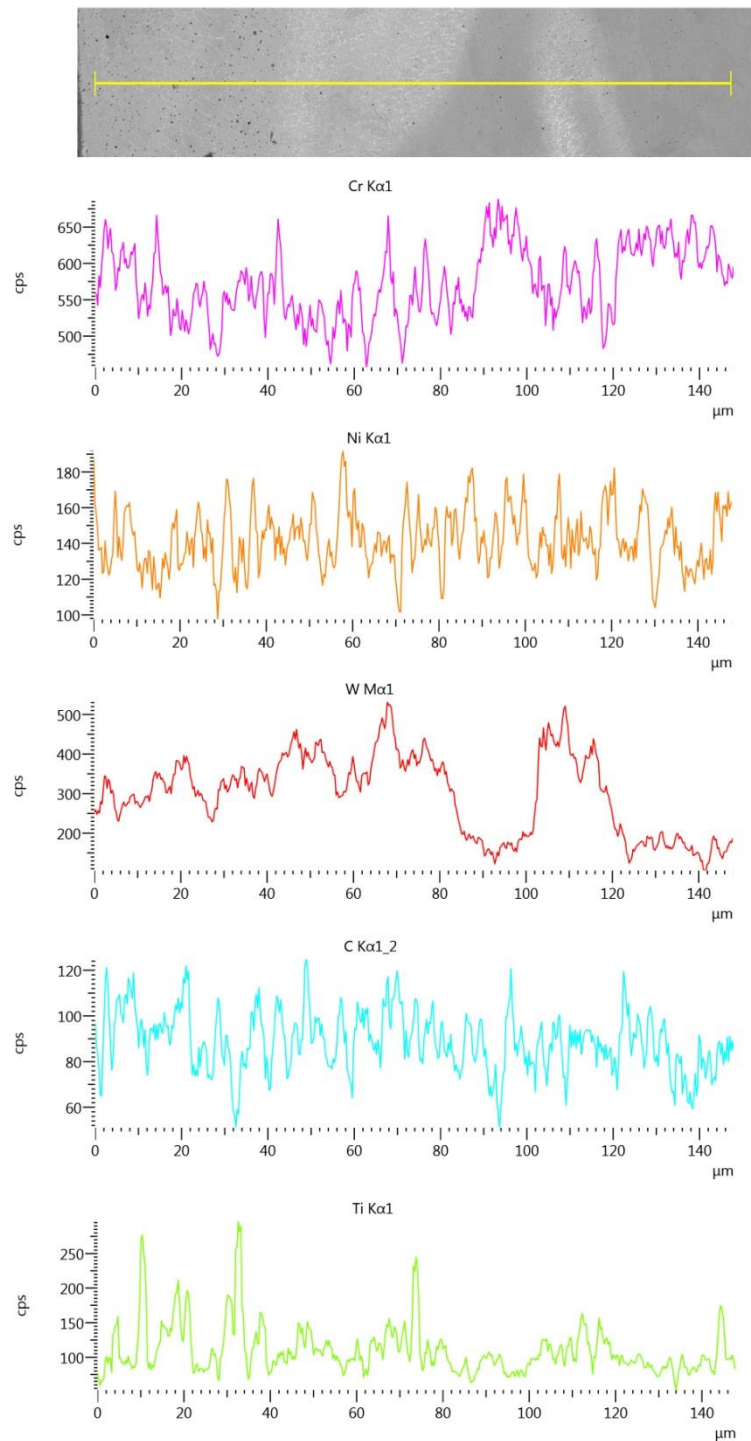


Рисунок 3.13 - Розподіл елементів у поверхневому шарі сталі 12X18H10T після ЦЕІЛ і ЕІЛ електродом інструментом з твердого сплаву Т15К6

На основі результатів якісного рентгенівського фазового аналізу було встановлено, що поверхня покриття складається з двох твердих розчинів: одного з ОЦК-решіткою, відомого як карбід титану, та іншого комплексного

карбиду (типу W_3Fe_3C), який називається Me_6C . Домінуючими фазами, як показано на дифрактограмме на рис. 3.14, є карбід титану і твердий розчин з ГЦК-решіткою.

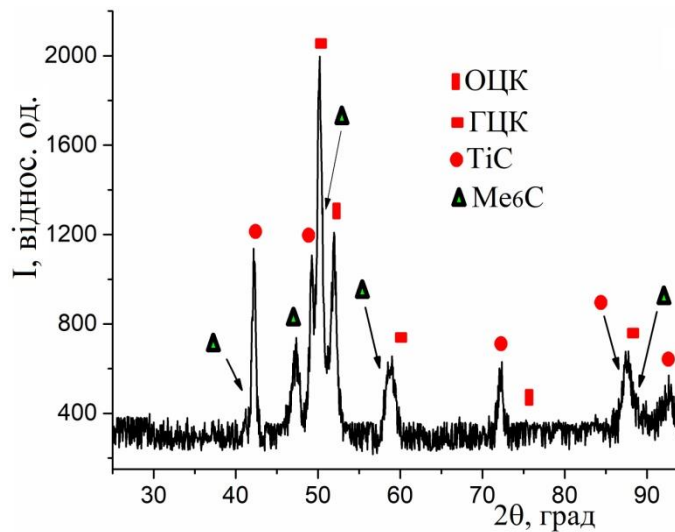


Рисунок 3.14–Дифрактограми поверхні сталі 12X18H10T після ЦЕІ і ЕІЕ електродом інструментом з твердого сплаву Т15К6

Таблиця 3.3

Якісні параметри квазібагатошарових покриттів на сталі 12X18H10T

Матеріал електрода - інструмента	Товщина зони підвищеної твердості поверхневого шару, мкм	Максимальна мікротвердість зміцненого поверхневого шару, МПа	Фазовий склад покриття	Шорсткість поверхні, Ra, мкм
С	90-160	9500	-	9,5
С + Al	80-120	7500	твердий розчин ОЦК, твердий розчин ГЦК, (Fe_4Al_{13}) , $((Cr,Fe)_7C_3)$, $(AlFe_3C)$	25,5
С+Al+Т15К6	320-360	11500	твердий розчин ОЦК, $(NiCoFe)Al$, TiC , Fe_7W_6	7,5
С + Т15К6	140-220	9000	твердий розчин ОЦК, твердий розчин ГЦК, TiC , комплексний карбід Me_6C	8,5

У таблиці подано зведення результатів металографічних і дурометричних досліджень, проведених на покриттях, нанесених на сталь

12X18H10T. За допомогою цих досліджень встановлено, що поверхневі шари, сформовані в порядку ЦЕІЛ + ЕІЛ АІ + ЕЕЛ Т15К6, мають найбільшу товщину в зоні підвищеної твердості. Формування алюмінієвого підшару сприяє як збільшенню товщини покриття, так і підвищенню мікротвердості. Це пояснюється значним утворенням карбідів титану та інтерметалідів, як зазначено в таблиці 3.3 [20].

Висновки

1. Представлено аналіз методу модифікації поверхні – електроіскрове легування, який служить для підвищення надійності та довговічності обладнання, що використовується в складних умовах.

2. Досліджено утворення багатшарових покриттів при електроіскровому легуванні змінними легуючими електродами на підкладці зі сталі 12X18H10T та встановлено закономірності цього процесу. Випробовувалися різні схеми, в тому числі:

- цементация електроіскровим легуванням (ЦЕІЛ) при енергії розряду 3,4 Дж з наступним алітуванням алюмінієвим електродом марки СВА99 при 3,4 Дж;

- ЦЕІЛ при енергії 3,4 Дж з наступним ЕІЛ твердим сплавом Т15К6 при 3,4 Дж;

- ЦЕІЛ при $W_p = 3,4$ Дж з наступним алітуванням алюмінієвим електродом марки СВА99 при енергії 3,4 Дж, а також ЕІЛ твердим сплавом Т15К6 при 3,4 Дж.

3. Зміцнений шар покриття, отриманого в послідовності цементация ЕІЛ і ЕІЛ алюмінієвим електродом, має мікротвердість до 7500 МПа, його товщина 80 – 120 мкм і складається з двох твердих розчинів з ОЦК і ГЦК ґратками, інтерметалевої сполуки (Fe_4Al_{13}) і двох карбідів з гексагональною ($(Cr, Fe)_7C_3$) і кубічною ($AlFe_3C$) кристалічною ґраткою.

4. З ЕІЛ, що здійснюється у послідовності цементация ЕІЛ, ЕІЛ твердим сплавом Т15К6, утворюється покриття, що має не високе значення мікротвердості (9000 МПа), оскільки два різні розчини з ОЦК та ГЦК ґратами, карбід титану та комплексний карбід типу W_3Fe_3C . Середня товщина шару підвищеної твердості становить 200-220 мкм.

5. Запропонований спосіб захисту сталевих виробів від різних видів зношування, і полягає в нанесенні на їх поверхню зносостійких покриттів з тугоплавких металів методом електроіскрового легування. Перед цим процесом попередньо необхідно проводити ЦЕІЛ і ЕІЛ з використанням алюмінію.

6. З точки зору твердості та зносотійкості, покриття, які формуються в порядку ЦЕІЛ → ЕІЛ Al → ЕІЛ Т15К6, демонструють найбільш значну зону підвищеної твердості (320-360 мкм) і найменшу шорсткість поверхні (7,5 мкм). Це досягається наявністю 62% (мас.) TiC та інтерметалідів, що призводить до отримання поверхневого шару з максимальною мікротвердістю, що перевищує 11500 МПа. Застосування ЕІЛ за описаною методикою дозволяє розширити зону дифузії вуглецю та алюмінію, підвищуючи тим самим як твердість, так і товщину зміцненого шару.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Економічні аспекти діяльності підприємства

Кожне комерційне підприємство, головною метою своєї діяльності вважає прибуток. Заробіток є одним із фінансових результатів діяльності підприємства і свідчить про успішність його діяльності, яка є успішною, якщо доходи перевищують витрати. У протилежному випадку компанія зазнає збитків. Зростання прибутку визначає зростання потенційних можливостей компанії та збільшує обсяг її операційної діяльності. Частка доходу засновників і власників, розмір дивідендів та інших доходів визначаються прибутком [22].

Прибуток також використовується для розрахунку окупності позикових і власних коштів, основних засобів, усього попередньо оплаченого капіталу та прибутковості на акцію. Проте, прибуток є не тільки основною метою будь-якої господарської організації, а й найважливішою економічною категорією [22].

Прибуток приближений до економічної категорії виконує певну функцію. Прибуток, являє собою економічний ефект, отриманий від діяльності підприємства. Наявність прибутку для підприємства означає, що його дохід перевищує всі витрати, пов'язані з його діяльністю [22].

Прибуток має стимулюючий ефект, але він також є фінансовим результатом і є основною складовою фінансової міцності компанії. Частка чистого прибутку підприємства, що залишається після сплати податків та інших обов'язкових платежів, повинна бути достатньою для фінансування розширення виробничої діяльності, науково-технічного і соціального розвитку підприємства, матеріального заохочення працівників. [22].

Розрізняють кілька основних видів підприємницького прибутку.

ВВП визначається як різниця між виручкою від реалізації товарів, продукції, робіт і послуг (за вирахуванням податку на додану вартість, акцизів та аналогічних обов'язкових платежів) і собівартістю реалізації товарів, продукції, робіт і послуг. Який може розраховуватись за формулою [22]:

$$\Pi_{\text{вал}} = \text{ВР} - \text{С}$$

де ВР – виручка від реалізації;

С – собівартістю проданих товарів, продукції, робіт і послуг.

Прибуток від продажів являє собою валовий прибуток за вирахуванням управлінських і комерційних витрат [22]:

$$\Pi_{\text{пр}} = \Pi_{\text{вал}} - \text{Р}_y - \text{Р}_k$$

де Р_y – витрати на управління;

Р_k – комерційні витрати.

Прибуток до оподаткування – це прибуток від продажів з урахуванням інших доходів і витрат, які поділяються на операційні і позареалізаційні [89]:

$$\Pi_{\text{пдо}} = \Pi_{\text{пр}} \pm \text{С}_{\text{опв}} \pm \text{С}_{\text{нпв}}$$

де $\text{С}_{\text{одв}}$ – операційні прибутки й витрати;

$\text{С}_{\text{вдр}}$ – не реалізаційні прибутки й витрати.

Прибуток від повсякденної діяльності можна отримати, віднявши від прибутку до оподаткування суму податку на прибуток та інших подібних обов'язкових платежів (суму пені до сплати до бюджету та державних позабюджетних фондів) [89]:

$$\Pi_{\text{зд}} = \Pi_{\text{пдо}} - \text{Н}$$

де Н – сума оподаткування.

ЧП (чистий прибуток) - це прибуток, отриманий від звичайної діяльності з урахуванням надзвичайних доходів і витрат. [22]:

$$\Pi_{\text{ч}} = \Pi_{\text{зд}} \pm \text{Н}_{\text{пв}}$$

де $\text{Н}_{\text{пв}}$ – надзвичайні прибутки й витрати

Найбільший вплив на прибуток підприємств мають такі фактори.

Собівартість продукції — це виражені в грошовому виразі поточні витрати підприємств на виробництво та розповсюдження товарів (продукції, послуг). [22].

Витрати на виробництво є якісним показником, який описує ступінь використання ресурсів компанією. Собівартість продукції змінюється специфікою роботи підприємства. Ця вартість відома як індивідуальна. [22].

Собівартості продукції (послуг) відносять на їх економічну вартість за такими складовими. [22]:

- грошові витрати, пов'язані з експлуатацією (включаючи вартість нерозкладаних відходів);
- певні витрати на оплату праці;
- відрахування на соціальні зобов'язання;
- зменшення вартості основних засобів;
- також інші витрати.

Рентабельність продукції — це відношення загального прибутку до витрат на виробництво та збут продукції. [22]:

$$P_n = \frac{Ц - С}{С} \times 100$$

де $Ц$ – ціна одиниці продукції;

$С$ – собівартість одиниці продукції.

Рентабельність виробництва (повна) - розраховується загальний отриманий прибуток над середньорічними витратами основних і нормативних оборотних коштів. [22]:

$$P_o = \frac{\Pi}{\text{ОС}_{\text{ср}} + \text{ОбС}_{\text{ср}}} \times 100$$

де Π – сума прибутку;

OS_{cp} – середньорічна вартість основних коштів;

$ОбC_{cp}$ – середньорічні залишки оборотних коштів.

Цей показник визначає ефективність виробничо-господарської діяльності підприємства, він відображає величину задіяного капіталу в заданому обсязі виручки. [22].

Задля допомоги рентабельності продукції визначають ефективність виробництва окремого виду продукції, а рентабельність виробництва, або загальну, балансову рентабельність, використовують як міру ефективності всього підприємства (галузі). [22].

Продуктивність праці — це обсяг продукції, виробленої за певний період на одного працівника, або витрати часу на одиницю продукції. Продуктивність праці вважається не тільки одним із найважливіших показників ефективності виробництва, але й важливим економічним і соціальним показником на макрорівні. [22].

4.2 Розрахунок вартості процесу нанесення покриттів на сталь 12X18H10T

З метою демонстрації економічної доцільності нанесення на сталь покриттів ЕІЛ було проведено дослідження на зразках сталі 12X18H10T [23]:

Оцінити витрату матеріалу для зразка можна за такою формулою [22]:

$$C_m = (Q \cdot C_m) \cdot a$$

де Q – маса заготовки (0,15 кг);

C_m – ціна матеріалу заготовки (~80 грн);

a – коефіцієнт, що враховує витрати на термообробку (умовно приймаємо 1,5).

Враховуючи всі значення змінних, робимо висновок, що витрати матеріалу виправдані [22]:

$$C_m = (0,15 \cdot 80) \cdot 1,5 = 18,00 \text{ (грн.)}$$

Оплата праці виробничого працівника (з урахуванням усіх пільг) визначається за такою формулою [22]:

$$З_p = C_q \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot t_{шт.} / 60 \cdot K_{мн} \cdot n$$

де C_q – годинна тарифна ставка відповідного розряду, грн. (приймаємо IV розряд: ставка 20 грн./год.);

K_1 – коефіцієнт, що враховує додаткову зарплату (приймаємо $K_1 = 1,7$);

K_2 – коефіцієнт, що враховує багатостатне обслуговування (приймаємо $K_2 = 1,395$);

$t_{шт.}$ – час на операцію для однієї заготовки (партії), хв.;

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

n – кількість одиниць обладнання на даній операції, шт.

Отже, заробітна плата робітника в процесі поверхневої обробки буде становити [22]:

при хіміко-термічній обробці

$$З_p = 20 \cdot 1,7 \cdot 1,395 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 1 = 24,73 \text{ (грн.)}$$

при електроіскровому легуванні

$$З_p = 20 \cdot 1,7 \cdot 1,395 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1 = 34,50 \text{ (грн.)}$$

Можна вивести вартість амортизації обладнання наступним чином: [22]:

$$A_0 = \frac{S_0 \cdot K \cdot a \cdot n}{N_{год} \cdot 100}$$

де S_0 – вартість одиниці обладнання, грн.;

K – коефіцієнт, що враховує витрати на транспортування і монтаж устаткування; приймаємо $K = 1,20$;

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

n – кількість одиниць обладнання на даній операції, шт.;

$N_{год.}$ – річна програма експериментальних зразків (10000 шт.).

$$A_0 = \frac{40000 \cdot 1,20 \cdot 4000 \cdot 1}{10000 \cdot 100} = 192 \text{ (грн)}$$

Витрати на ремонт обладнання розраховуємо за наступною формулою [22]:

$$P = A_0 \cdot K$$

де K – коефіцієнт, що встановлює залежність величини витрати на ремонт від величини амортизаційних відрахувань (20%).

$$P = 1080 \cdot 3 = 3240 \text{ (грн.)}$$

За наступною формулою розраховуємо витрати на утримання виробничої площі [22]:

$$P_{\text{утр.}} = \frac{S_{\text{пл.}} \cdot K \cdot n \cdot P}{N_{\text{річ.}}}$$

де $S_{\text{пл.}}$ – площа, яку займає одиниця обладнання, м²;

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

n – кількість одиниць обладнання, шт.;

P – річна норма витрат за утримання одного метра квадратного виробничої площі, грн. (400 грн.);

$N_{\text{річ.}}$ – річна програма зразків, шт.

$$P_{\text{утр.}} = \frac{6.45 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 400}{10000} = 2.16 \text{ (грн)}$$

Отримані результати заносимо до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Технологічна вартість процесу нанесення покриттів, грн

Найменування витрат	ЕІЛ	ХТО
Заробітна плата виробничого працівника	34,50	24,73
Амортизаційні витрати на обладнання	192	192
Витрати на ремонт обладнання	3240	3240
Витрати на утримання виробничої площі	2,16	2,16
Загальна сума витрат	3468,66	3458,89

Загальна вартість ЕІЛ дещо вища порівняно з ХТО, можливо, через вищу оплату праці працівників. Однак загальна вартість утримання виробничих площ залишається однаковою для обох методів.

Таким чином, вартість процесу нанесення покриття в основному залежить від заробітної плати працівників і обслуговування виробничого обладнання, з деякими відмінностями в сумі залежно від обраного методу оцінки вартості.

Висновки

Основними складовими економічної ефективності підприємства є: собівартість продукції, продуктивність праці, рентабельність виробництва, рентабельність виробництва.

Витрати виробництва - це сукупні витрати компаній на виробництво та розповсюдження товарів (продукції, послуг), виражені в грошовій формі.

Продуктивність праці – це обсяг продукції, виробленої за певний період на одного працівника, або витрати часу на одиницю продукції.

Рентабельність продукції — це відношення загального прибутку до витрат на виробництво та реалізацію продукції.

Загальна рентабельність виробництва (середньорічна вартість капіталу плюс загальний прибуток) — це відношення загального прибутку до середньорічної вартості капіталу та праці.

Для розрахунку вартості науково-дослідної роботи були проведені наступні розрахунки:

- сума грошей, яку отримує працівник, залежить від кількості годин, які він або вона працює на місяць.

- витрати на обладнання розподіляються між вартістю самого обладнання та витратами на його обслуговування.

- вартість ремонту обладнання;

- до цієї категорії входять витрати на утримання виробничої площі.

Важливо враховувати, що різниця в оплаті може вплинути на загальну вартість усього процесу. Порівняно з методом ХТО, метод ЕІЛ відображає більш високі витрати через вищу заробітну плату виробничих працівників. Інші витрати залишаються однаковими для обох методів.

Тому вибір методу розрахунку вартості є важливим при оцінці вартості процесу нанесення покриття, оскільки різниця у вартості праці може суттєво вплинути на кінцеву вартість процесу.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ, НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

5.1 Основні положення з охорони праці

Охорона праці - система збереження життя, здоров'я і працездатності працівників у процесі трудової діяльності, що включає в себе правові, соціально-економічні, організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні, лікувально-профілактичні, реабілітаційні та інші заходи [24].

Характерною національною особливістю охорони праці в нашій країні є те, що рівень професійної захворюваності та травматизму зберігається неприйнятно високим [24] в той час як більша частина професійних захворювань і нещасних випадків без смертельного результату не реєструється; рівень смертності населення працездатного віку в 4 рази вище, ніж в ЄС, і в 2 рази вище ніж в країнах, що розвиваються. За оцінками експертів МОП від поганих умов праці в країні щорічно вмирає 140 тис. осіб. Держава не проводить адекватного стимулювання роботодавців покращувати умови праці [24].

Головним законом України в сфері охорони праці є Закон України «Про охорону праці» [25].

Основні вимоги, які має виконати підприємство:

- створити службу охорони праці [25];
- розробити і затвердити на підприємстві положення, інструкції та інші акти з охорони праці [25];
- організувати проведення інструктажів з питань охорони праці [25];
- забезпечити навчання та перевірку знань з питань охорони праці [25];
- подбати про проведення медичних оглядів [25];
- забезпечити працівників засобами індивідуального захисту, милом, молоком, солоною водою та інше [25];

- провести атестацію робочих місць [25];
- налагодити облік нещасних випадків [25];

Основу системи охорони праці становлять наступні аспекти [26]:

– управління безпекою праці - організація роботи по забезпеченню безпеки, зниження травматизму і аварійності, професійних захворювань, поліпшення умов праці на основі комплексу завдань по створенню безпечних і нешкідливих умов праці. Заснована на застосуванні законодавчих нормативних актів в галузі охорони праці [26];

– виробнича санітарія визначається як система організаційних заходів і технічних засобів, що запобігають або зменшують вплив на працюючих шкідливих виробничих факторів [26];

– гігієна праці характеризується як профілактична медицина, що вивчає умови і характер праці, їх вплив на здоров'я і функціональний стан людини і розробляє наукові основи і практичні заходи, спрямовані на профілактику шкідливої і небезпечної дії факторів виробничого середовища і трудового процесу на працюючих [26];

– промислова безпека - стан захищеності життєво важливих інтересів особистості і суспільства від аварій на небезпечних виробничих об'єктах і наслідків зазначених аварій. У свою чергу охорона праці, електробезпека, промислова безпека, пожежна безпека є складовими частинами [26];

– пожежна безпека - стан захищеності особистості, майна товариства і держави від пожеж [26];

– електробезпека - стан захищеності працівника від шкідливого і небезпечного впливу електроструму, електродуги, електромагнітного поля і статичної електрики [26];

– безпека життєдіяльності - наука про комфортну й безпечну взаємодію людини з техносферою [26];

– управління професійними ризиками. Методи управління людьми і організаціями, що дозволяють знизити ризики травмування або захворювання

працюючих, включаючи обмеження, зниження, передачу та усунення ризику [26].

5.2 Техніка безпеки при термічній обробці металів

Термічна обробка металів передбачає гартування, нормалізацію, відпал і відпуск, при яких існує небезпека опіків працюють у нагрівальних печей і гартівних ваннах [27].

Крім того, при використанні електричних нагрівальних печей і постів існує небезпека ураження електричним струмом. Тому при обслуговуванні електричних нагрівальних установок необхідно дотримуватись заходів електробезпеки [27].

Гартівні ванни з мінеральною олією, гасом, свинцем, різними солями при нагріванні виділяють в навколишнє повітря шкідливі пари і гази. Тому, як правило, всі гартівні ванни обладнуються місцевою вентиляцією у вигляді відсмоктувачів. Крім того, в приміщенні термічної обробки повинна бути загально обмінна вентиляція. Підвищеної пожежо- та вибухонебезпечність відрізняються печі, що працюють на газовому паливі, експлуатація яких повинна вестися з дотриманням Правил безпеки в газовому господарстві, затверджених Держмістотехнаглядом [27].

При загартуванню в маслі і гасі існує небезпека займання їх парів, оскільки вони нагріваються занурювані в ванни металом. Масло і гас охолоджують в теплообмінниках. Температура масла у ванні не повинна перевищувати 85, а гасу 38 °С. Застосовуваний для загартування гас повинен мати температуру спалаху парів не нижче 45 °С. Зазвичай температура масла або гасу регулюється автоматично на заданому рівні. Завантаження гарячих деталей у ванни слід проводити обережно, щоб уникнути вихлюпування рідин і можливих при цьому опіків. В процесі травлення оброблюваних виробів необхідно вживати заходів проти хімічних опіків [27].

Спеціальні заходи безпеки при використанні ванн з різними розплавленими солями враховують фізико-хімічні властивості солей.

Свинцеві ванни виділяють шкідливі пари свинцю. Для зменшення випаровування свинцю дзеркало ванни покривають шаром деревного вугілля. Небезпечно завантажувати в ванну вологі деталі, так як при цьому внаслідок пароутворення можливий викид розплавленого свинцю. Деталі й застосовувані інструменти повинні бути сухими [27].

Соляні ванни завантажують солями, попередньо просушеними, поступово, малими порціями і не більше ніж на 3/4 об'єму ванни. У розплавлену сіль також неприпустиме попадання вологи. При тимчасову зупинку печі, розігріваної соляну ванну, може статися застигання солі з утворенням на поверхні твердої кірки. Неприпустимо пробивати кірку щоб уникнути вихлюпування розплавленої солі і можливого при цьому опіку [27].

Селітрові ванни являють собою підвищену небезпеку щодо можливості вибуху селітри в разі її перегріву і з'єднання з маслом, алюмінієм і органічними речовинами. Температура розплаву селітри не повинна перевищувати 600 ° С. Зберігати селітру потрібно в металевих ящиках з кришками. У місцях зберігання селітри повинні бути первинні засоби вогнегасіння [27].

5.3 Вимоги до персоналу цехів

До виконання технологічних процесів термічної і хіміко-термічної обробки металів не допускаються особи молодше 18 років. Всі працівники термічних цехів повинні піддаватися попередньому (під час вступу на роботу), а потім періодичним медичним оглядам згідно з чинним законодавством [27];

Всі працівники термічних цехів повинні проходити навчання безпеки праці відповідно до ГОСТ 12.0.004 [27].

Працівники термічних цехів, що обслуговують газоприготувальні, лазерні установки, установки ТВЧ, печі з контрольованими атмосферами і горючими газами, печі - ванни з отруйними речовинами, а також виконують інші роботи підвищеної небезпеки, повинні проходити спеціальне навчання і перевірку знань з отриманням відповідних посвідчень [27].

Для працівників, які виконують роботи підвищеної небезпеки, періодична перевірка знань повинна проводитися не рідше одного разу на рік комісією, затвердженою роботодавцем [27].

Керівники і фахівці перед допуском до самостійної роботи, пов'язаної з проектуванням, будівництвом, реконструкцією та експлуатацією термічних цехів, повинні скласти іспит на знання цих Правил в обсязі виконуваної ними роботи. Керівники і фахівці, пов'язані з експлуатацією технологічного обладнання термічних цехів, крім того, повинні скласти іспит на знання інструкцій з охорони праці, технологічних інструкцій та інших, що належать до їхніми поділами роботи [27].

Керівники і фахівці повинні не рідше одного разу на три роки здавати іспити на знання правил та інструкцій з охорони праці [27].

Електротехнічний персонал (електромонтери, техніки), обслуговуючий електротермічні установки, повинен мати групу з електробезпеки не нижче IV при роботі з установками напругою вище 1000 В і III при установках напругою до 1000 В, а всі оператори-термісти - відповідно не нижче III при установках напругою вище 1000 В і II при установках напругою до 1000 В [27].

5.4 Вимоги до застосування засобів індивідуального захисту

Для запобігання працівників від дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів при існуючій технології та умовах робіт необхідне застосування засобів індивідуального захисту. На роботах з шкідливими умовами праці, на роботах, вироблених в особливих температурних умовах або пов'язаних із забрудненням, спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші засоби індивідуального захисту видаються працівникам безкоштовно [27].

Працівники, зайняті в процесі термічної обробки металів, забезпечуються засобами індивідуального захисту відповідно до діючих «Типових галузевих норм безплатної видачі робітникам і службовцям спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту» і «Інструкцією про порядок забезпечення робітників і службовців

спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту» [27].

Засоби індивідуального захисту, що застосовуються працівниками при термообробці металів, повинні задовольняти вимогам відповідних стандартів ССБТ [93].

При виборі засобів індивідуального захисту для осіб, які працюють із застосуванням хімічних речовин, слід керуватися методичними вказівками «Засоби колективного та індивідуального захисту, поточний і попереджувальний санітарний нагляд за застосуванням засобів індивідуального захисту працюючих з хімічними шкідливими речовинами» [27].

Керівники ділянок повинні періодично інструктувати працівників щодо правильного застосування засобів індивідуального захисту і догляду за ними [27].

Дані про найбільш поширених промислових фільтруючих протигазах і рекомендації, якими необхідно керуватися при виборі марки протигаза, наводяться в додатку № 15. Вибір протигаза проводиться також за каталогом-довідником «Засоби індивідуального захисту працюючих на виробництві» [27].

Адміністрація зобов'язана забезпечувати зберігання, прання, сушку, дезінфекцію, дегазацію, дезактивацію і ремонт виданих працівникам спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту [27].

Для заміни спецодягу, що здається працівниками в прання або ремонт, в організації повинен бути запас комплектів спецодягу [27].

На ділянках ціанування, свинцевих ванн і рідинного азотування термічного цеху слід передбачати заходи, що виключають можливість винесення працівниками спецодягу, спецвзуття та інших засобів індивідуального захисту за межі цеху і виходу працівників цих ділянок у спецодязі [27].

Спецодяг, спецвзуття та інші засоби індивідуального захисту працівників ділянок ціанування, рідинного азотування і свинцевих ванн повинні зберігатися окремо від засобів індивідуального захисту працівників інших ділянок термічних цехів [27].

5.5. Небезпечні фактори, що виникають під час термічної обробки

5.5.1 Пожежна безпека

Пожежна безпека в даному технологічному процесі забезпечується дотриманням норм ГОСТ 12.1.004-98. «Пожежна безпека. Загальні вимоги». У зв'язку з цим робоче приміщення оснащується засобами пожежогасіння. У спеціально відведених місцях встановлюються: вогнегасники, пісок, щит з ломами, лопатами, сокирами. Виробництво відноситься до категорії «Д» по пожежонебезпеки [28].

Однією з важливих умов успішної ліквідації пожежі, що виникла є швидке виявлення загоряння і негайне повідомлення про це місцеву пожежну охорону [28].

Для повідомлення про пожежу в робочих приміщеннях служить спеціальна пожежна сигналізація. Пожежа, тобто процес горіння, можна усунути шляхом припинення доступу повітря до палаючого предмету або зниження його температури горіння. У засобах гасіння пожежі використовують два методи одночасно [28].

Протипожежне водопостачання забезпечується пристроєм спеціального водопроводу. При необхідності допускається водопостачання з водоймищ і резервуарів. При водопостачанні з водопроводу, пожежні рукави приєднуються до гідрантів, які повинні влаштовуватися на відстані не більше 100 метрів від робочих приміщень [28].

Серед автоматичних засобів пожежогасіння на виробничих підприємствах найбільш поширені спринклерні і дренчерні установки. Вони являють собою розгалужену розподільну водогінну мережу з розпилювачами водяних струменів або повітряно механічної піни за допомогою спринклерних

або дренчерних головок. Спринклерна розпилювальна головка являє собою блок з отвором, закритим скляним ковпаком (клапаном), утримуваним замком, виготовленим з легкоплавкого металевго сплаву [28].

При підвищенні температури повітря, нагрітого полум'ям пожежі, що почалася, внаслідок розплавлення сплаву замок розплавляється і звільняє клапан, через який вода, потрапляючи на розетку, розпорошується і зрошує палаюче речовина. Застосовують сплав замка з температурою плавлення 72, 93, 141, 182 °С, в залежності від умов можливого загоряння. Одночасно за допомогою контрольно-сигнального апарату подається звуковий сигнал, що сповіщає про пожежу [28].

Автоматичне включення установки в роботу здійснюється від датчиків, які реагують на фактори пожежі (тепло, світло, дим). Крім основного, установка обладнана допоміжним водоживильником, що забезпечує постійний тиск води в системі [28].

Контрольно-пусковий вузол призначений для включення подачі води в установку, автоматичне приведення в дію звукових і світлових сигналів про початок пожежі [28].

5.5.2 Електробезпека

Небезпека ураження електричним струмом при дотику до корпусу та інших металевих частин обладнання, що опинилися під напругою внаслідок замикання на корпусі і з інших причин, може бути усунена швидким відключенням пошкодженої установки від мережі живлення і разом з тим зниженням напруги корпусу щодо землі. Занулення - навмисне електричне з'єднання з електричними провідниками металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою [29].

Нульовим захисним провідником називається провідник, що з'єднує зануляємі частини обладнання з глухозаземленою нейтральною точкою джерела струму або її еквівалентом [29].

Причини необхідності занулення – перетворення замикання на корпус в однофазне коротке замикання (тобто між фазними і нульовим захисним провідниками) з метою викликати великий струм, здатний забезпечити спрацьовування захисту і тим самим автоматично відключити пошкоджену установку від мережі живлення. Таким захистом є плавкі запобіжники і максимальні автомати, що встановлюються для захисту від струмів короткого замикання, магнітні пускачі з вбудованим тепловим захистом, контактори в поєднанні з тепловими реле, які здійснюють захист від перевантаження, автомати з комбінованими розподільниками, які здійснюють захист одночасно від струмів короткого замикання і перевантаження [29].

Крім того, оскільки корпусу (або інші неструмовідні металеві частини, які опинилися під напругою) заземлені через нульовий захисний провідник, то в аварійний період, тобто з моменту виникнення замикання на корпус і до автоматичного відключення пошкодженої електроустановки від мережі, проявляється захисна властивість цього заземлення, подібно до того, як це має місце при захисному заземленні. Інакше кажучи, заземлення корпусів через нульовий провідник знижує в аварійний період їх напруга щодо землі [29].

Схема занулення вимагає наявності в мережі нульового захисного провідника, глухого заземлення нейтралі джерела і повторного заземлення нульового захисного провідника. Призначення нульового захисного провідника в схемі занулення - забезпечення необхідного для відключення установки значення струму однофазного короткого замикання шляхом створення для цього струму ланцюга з малим опором [29].

Призначення заземлення нейтралі в мережі до 1000 В - зниження напруги занулених корпусів (а отже, нульового захисного провідника) щодо землі до безпечної напруги при замиканні фази на землю. Повторне заземлення нульового провідника значно зменшує небезпеку ураження струмом, що виникає в результаті обриву нульового захисного провідника, але не може усунути її повністю, тому що не може забезпечити ті умови безпеки, які існували до обриву [29].

5.6 Охорона навколишнього середовища

Охорона навколишнього середовища на підприємстві характеризується комплексом вжитих заходів, які спрямовані на попередження негативного впливу людської діяльності підприємства на навколишню природу, що забезпечує сприятливі та безпечні умови людської життєдіяльності [30,31].

З огляду на стрімкий розвиток науково-технічного прогресу, перед людством постало складне завдання - охорона найважливіших складових навколишнього середовища (земля, вода, повітря), схильних до сильнішого забруднення техногенними відходами і викидами, що призводить до окислення ґрунту і води, руйнування озонового шару землі та кліматичних змін [31].

Промислова політика усього світу призвела до таких незворотних і суттєвих змін у навколишньому середовищі, що це питання (охорона навколишнього середовища на підприємстві) став загальносвітовою проблемою і примусив державні апарати розробити довгострокову екологічну політику зі створення внутрішньодержавного контролю за станом навколишнього середовища [31].

На законодавчому рівні на сьогодні, відсутні обов'язкові до виконання нормативні документи з вимогами до «Системи управління охороною навколишнього середовища підприємства».

Зазвичай, у разі перевірки контролюючим органам досить того, що на підприємстві є відповідальна особа (або екологічна служба), яка забезпечує виконання вимог природоохоронного законодавства та раціонального використання природних ресурсів при веденні виробничої діяльності на основному виробництві [32].

Основні обов'язки відповідальної особи підприємства в сфері управління охороною навколишнього середовища [32]:

- розробляє проекти перспективних і річних планів і заходів з охорони навколишнього середовища і контролює їх виконання, аналізує результативність та ефективність впроваджених природоохоронних заходів;
- розробляє необхідну документацію для отримання дозвільних документів і отримує дозволу на викиди забруднюючих речовин в атмосферу, на спеціальне водокористування (при необхідності), на розміщення відходів [32];
- здійснює контроль за виконанням вимог дозвільних документів в сфері охорони навколишнього середовища [32];
- розробляє внутрішню нормативну документацію для дотримання вимог з охорони навколишнього середовища [32];
- розробляє або погоджує технічні завдання, завдання на проектування, інвестиційні картки на природоохоронні об'єкти, розділи ОВНС проектів;
- виявляє екологічні ризики в галузі охорони навколишнього середовища, розробляє і контролює реалізацію заходів з управління істотними екологічними ризиками [32];
- супроводжує контролюючі органи при проведенні перевірок, аналізує видані приписи, претензії та штрафні санкції контролюючих органів, забезпечує усунення зауважень за приписами контролюючих органів [32];
- проводить перевірки відповідності об'єктів підприємства вимогам природоохоронного законодавства і видає, в межах своєї компетенції, розпорядження для усунення виявлених порушень, контролює усунення порушень [32];
- проводить навчання та інструктажі працівників підприємства і підрядників, які виконують роботи на об'єктах підприємства для мінімізації впливу на навколишнє середовище [32];
- контролює ведення первинного обліку даних за типовими формами в галузі поводження з відходами, в сферах атмосферного повітря, водоспоживання та водовідведення [32];

– ініціює та супроводжує укладання договорів природоохоронного значення по підприємству, здійснює контроль за їх виконанням, своєчасним оформленням розрахункових і звітних документів [32];

– розробляє графіки аналітичного контролю викидів в атмосферу від стаціонарних джерел, скидання господарсько-побутових стоків і відповідає за їх виконання, забезпечує проведення моніторингу та аналізує дотримання встановлених нормативів [32].

Екологічне управління корисне, як для навколишнього середовища, так і для підприємства. В цьому напрямку давно вже рухається світове співтовариство. Щоб запобігти впливу, або зменшити вплив підприємства на навколишнє середовище, можливо застосовувати вимоги Європейських стандартів [32]:

– ДСТУ ISO 14001 діє до: 2015 Системи екологічного керування. Вимоги та настанови щодо застосовування (ISO 14001: 2015 року, IDT);

– ДСТУ ISO 14004 до: 2016 Системи екологічного керування. Загальне керівництво по впровадженні (ISO 14004 до: 2016, IDT).

5.7 Організація робочого місця та устаткування.

Правильне розміщення та правильна підготовка робочого місця відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки праці під час процесу електроерозійного легування. Перед початком робіт слід провести оцінку місця, щоб визначити найбезпечніші та найефективніші місця для обладнання, інструментів і матеріалів. Встановіть безпечні зони, де доступ заборонений або де необхідно дотримуватися спеціальних заходів безпеки, наприклад встановлення бар'єрів, які обмежують доступ до небезпечних зон[33]. Переконайтеся, що робоче місце добре провітрюється, щоб видалити токсичні випари, які можуть утворюватися під час процесу легування. Забезпечте належне освітлення на робочому місці, щоб уникнути травм і забезпечити оптимальні умови праці. Обладнання та інструменти повинні бути

розташовані так, щоб забезпечити легкий доступ і відповідати вимогам безпеки.

Забезпечувати чистоту і порядок на робочому місці, щоб уникнути травм і нещасних випадків, спричинених необережним поводженням з матеріалами та інструментами. Чіткі етикетки про небезпеку та інструкції з техніки безпеки допомагають працівникам уникнути потенційних небезпек і дотримуватися правил безпеки. Належна готовність до надзвичайних ситуацій, включаючи наявність і доступність вогнегасників і шляхів евакуації[33].

Забезпечення правильного розташування та підготовки робочого місця відіграє важливу роль у забезпеченні безпеки під час проведення електроерозійних сплавних робіт. Це включає створення безпечного та організованого робочого середовища, яке дозволяє вам працювати ефективно та уникати потенційних небезпек.

Регулярна перевірка та технічне обслуговування обладнання є критично важливими кроками в забезпеченні безпечних і ефективних операцій електроерозійного легування. Розробіть детальний план, включаючи періодичні перевірки, види технічного обслуговування та визначення відповідальних осіб. Перед початком роботи перевірте обладнання на наявність пошкоджень, корозії та інших дефектів, які можуть спричинити небезпеку. Проводити регулярні технічні огляди обладнання відповідно до встановленого плану, включаючи перевірку правильності роботи електричних систем, стану компонентів, систем охолодження, систем безпеки тощо. Замінюйте або обслуговуйте деталі згідно з планом або при виявленні відхилень у роботі обладнання. Очищає обладнання від бруду, пилу, залишків матеріалу та змащує рухомі частини для підтримки оптимальної продуктивності. Обладнання регулярно калібрується та налаштовується для забезпечення точності та ефективності. Зберігайте записи про все виконане обслуговування, виявлені проблеми та виконаний ремонт. Забезпечте негайне втручання та ремонт у разі несправності під час роботи [33].

Регулярний огляд і обслуговування обладнання гарантує безпеку, надійність і продуктивність. Це дозволяє вчасно виявляти й усувати потенційні проблеми, запобігаючи аваріям і забезпечуючи безперебійну роботу обладнання.

5.8 Ефективне управління відходами та довкіллям.

Розробка стратегій управління відходами, що утворюються під час процесів легування, є ключовим аспектом забезпечення екологічно безпечної та сталої діяльності. Стратегія управління відходами починається з ретельного аналізу типів відходів, які утворюються під час процесу легування. Це можуть бути металеві залишки, шлак, хімікати чи інші матеріали [33].

Класифікація та класифікація сміття:

- Розділяйте відходи на різні категорії залежно від того, чи придатні вони для обробки, повторного використання чи утилізації.

Розробити план поводження з відходами:

- Розробити стратегії та плани дій для кожного виду виїзду. Це може включати переробку, вторинне використання, утилізацію або плани утилізації.

Реалізація технології переробки та утилізації:

- Використовуйте сучасні технології обробки для максимального використання ресурсів і зменшення обсягів відходів. Цього можна досягти шляхом переробки або внутрішньої переробки.

Системи роздільного збору та утилізації:

- Встановити ефективну систему сортування відходів для подальшої переробки або утилізації відповідно до встановлених стратегій.

Встановлення стандартів екологічної відповідальності:

- Розробити та впровадити стандарти, що забезпечують дотримання екологічних стандартів та правил поводження з відходами.

Постійно контролювати й оцінювати ефективність стратегій управління відходами для постійного вдосконалення процесів і зменшення впливу на навколишнє середовище [33].

Проведіть навчання та постійно нагадуйте працівникам про важливість належного поводження з відходами та їх вплив на навколишнє середовище.

Ефективне управління відходами під час процесу легування допомагає зменшити негативний вплив на навколишнє середовище та сприяє сталому виробництву.

Впровадження методів переробки відходів є важливим для мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище.

Спочатку аналізуються всі види відходів, що утворюються. Потім вони сортуються за типом, щоб побачити, які з них можна переробити, повторно використати або видалити із системи [33].

На основі аналізу відходів розробіть план переробки, включаючи вибір методів переробки для кожного виду відходів. Відходи переробляються для отримання вторинних матеріалів, які можна використовувати в нових продуктах або процесах. Для розщеплення органічних відходів на біологічно активні речовини використовуйте біологічні методи очищення, наприклад компостування.

Виробництво тепла або електроенергії шляхом спалювання відходів як енергії. Використовуйте спеціальні методи відновлення корисних ресурсів із відходів, наприклад вилучення цінних елементів або речовин із електронних відходів. Постійно контролювати ефективність методів переробки відходів і постійно вдосконалювати процеси на основі нових технологій і стандартів[33].

Впровадження методів переробки відходів вирішує проблеми забруднення навколишнього середовища та ефективно використовує ресурси, зменшуючи кількість відходів, які потрапляють на звалища, та вплив на екосистеми.

Висновки

Охорона праці – система збереження життя, здоров'я і працездатності працівників у процесі трудової діяльності, що включає в себе правові,

соціально-економічні, організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні, лікувально-профілактичні, реабілітаційні та інші заходи.

Головним законом України в сфері охорони праці є Закон України «Про охорону праці».

Термічна обробка металів передбачає гартування, нормалізацію, відпал і відпуск, при яких існує небезпека опіків працюють у нагрівальних печей і гартівних ваннах.

Крім того, при використанні електричних нагрівальних печей і постів існує небезпека ураження електричним струмом. Тому при обслуговуванні електричних нагрівальних установок необхідно дотримуватись заходів електробезпеки.

До виконання технологічних процесів термічної і хіміко-термічної обробки металів не допускаються особи молодше 18 років. Всі працівники термічних цехів повинні піддаватися попередньому (під час вступу на роботу), а потім періодичним медичним оглядам згідно з чинним законодавством.

Всі працівники термічних цехів повинні проходити навчання безпеки праці відповідно до ГОСТ 12.0.004.

Безпечна експлуатація установки магнетронного напилення включає в себе наступні аспекти:

- пожежна безпека;
- електробезпека;
- засоби безпеки при роботі з газовими балонами.

Екологічні аспекти процесу також важливі, де впровадження методів управління відходами та переробки є такими ж важливими, як і контроль якості. Загалом системний моніторинг, аналіз даних, безперервне вдосконалення та використання найкращих практик і методів управління є запорукою успішного та сталого впровадження методу електроерозійного легування для формування зміцнених покриттів на аустенітних сталях.

ВИСНОВКИ

1. Представлений аналіз принципів створення сталей аустенітного класу, способи забезпечення стабільної аустенітної структури. Зосереджена увага на перевагах сталей цього класу, описані причини високої стійкості до корозії, проаналізований вплив структури і фазового складу на міжкристалітну корозію і корозію в агресивних середовищах. Представлений ґрунтовний аналіз методів, що дозволяють зміцнити аустеніт. Основними із них є прогресивні технології термічної обробки.

2. Запропоновані матеріали та методи дослідження. У якості об'єкта експериментальних досліджень прийнята високоякісна сталь 12Х18Н10Т. Представлений аналіз впливу легувальних елементів на властивості сталі. Розглянуті устаткування для електроіскрового легування, режими роботи установки, основні методи дослідження – металографічний аналіз (оптична та електронна мікроскопія), рентгеноструктурний та локальний рентгеноспектральний аналізи, визначення мікротвердості.

3. Обґрунтований вибір методу електроіскрового легування для отримання функціональних покриттів. Описана фізичну модель, що лежать в основі методу електроіскрової обробки. Викладено процес формування структури покриття та вплив її параметрів на властивості модифікованого шару.

4. Встановлено закономірності формування багатошарових покриттів при електроіскровому легуванні в умовах чергування легуючих електродів для послідовного нанесення на підкладку зі сталі 12Х18Н10Т. Апробовані схеми:

- цементация електроіскровим легуванням (ЦЕІЛ) при $W_p = 3,4$ Дж + алітування алюмінієвим електродом марки СвА99 при $W_p = 3,4$ Дж;
- ЦЕІЛ при $W_p = 3,4$ Дж + ЕІЛ твердим сплавом Т15К6 при $W_p = 3,4$ Дж;
- ЦЕІЛ при $W_p = 3,4$ Дж + алітування алюмінієвим електродом марки СвА99 при $W_p = 3,4$ Дж + ЕІЛ твердим сплавом Т15К6 при $W_p = 3,4$ Дж.

Зміцнений шар покриття, отриманого в послідовності ЦЕІЛ → ЕІЛ АІ, має мікротвердість до 7500 МПа, його товщина 80 – 120 мкм і складається з двох твердих розчинів з ОЦК і ГЦК ґратками, інтерметалевої сполуки ($\text{Fe}_4\text{Al}_{13}$) і двох карбідів з гексагональною ($(\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$) і кубічною (AlFe_3C) кристалічною ґраткою.

5. Запропоновано новий спосіб захисту сталевих виробів від абразивного та інших видів зносу шляхом нанесення на їх зношувані поверхні методом електроіскрового легування зносостійких покриттів з тугоплавких зносостійких металів, проводячи попередню ЦЕІЛ і ЕІЛ алюмінієм. Покриття, сформовані в послідовності ЦЕІЛ → ЕІЛ АІ → ЕІЛ Т15К6 мають найбільшу зону підвищеної твердості (320-360 мкм) і найменшу шорсткість поверхні (7,5 мкм). За рахунок утворення, 62% (мас.) ТіС та інтерметалідів забезпечується отримання максимальної мікротвердості поверхневого шару (більше 11500 МПа). ЕІЛ за описаною технологією дозволяє збільшити дифузійну зону вуглецю й алюмінію, підвищити твердість і товщину зміцненого шару.

6. Проведені розрахунки економічної ефективності та розрахунок собівартості. Важливо враховувати, що різниця в оплаті може вплинути на загальну вартість усього процесу. Порівняно з методом хіміко-термічної обробки, метод ЕІЛ передбачає більш високі витрати через вищу заробітну плату працівників. Інші витрати залишаються однаковими для обох методів.

7. Метод ЕІЛ є екологічно безпечним, тому у роботі проаналізовано небезпечні та шкідливі фактори на дільницях, де проводиться термічна обробка металів та сплавів. Розглянуті можливі аварійні ситуації при роботі з обладнанням в термічних дільницях та заходи безпеки по запобіганню вибухота пожежне безпечних ситуацій, правила поведінки працюючих в термічних цехах та техніка безпеки при експлуатації печей, техніку безпеки при роботі з устаткування для проведення процесу, що до захисту навколишнього середовища від шкідливих викидів та відходів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Sushko O. V., Kolodii O. S., Penyov O. V. Individual forecasting of technical condition of machines and development of method for determining the conditional function of distributing their residual resource. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine*. Kyiv, 2019. Vol. 10, № 4. P. 63-69.
2. Колодій О. С., Сушко О. В. Аналіз плоского пластичного плину матеріалу при оцінюванні оброблюваності на металорізальних станках. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2020. Вип. 10, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674- 2020-1-17.*
3. Кузин О.А., Яцюк Р.А. - *Металознавство та термічна обробка металів.* – Львів: Афіша. 2002. 300 с.
4. ДСТУ 2925-94. Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення. [Чинний]. К.: Держстандарт України, 1995. 34 с.
5. Кулішов В.В. *Економіка підприємства: теорія і практика: навчальний посібник/ В.В. Кулішов.* – 2-е, вид. - Львів: Магнолія 2006, 2008. 208 с.
6. Magdovski R., Kraus A., Speidel O. Environmental degradation assessment and life prediction of nuclear pressure vessels and piping steels. In: *proc. of int. symp. on plant aging and life prediction of corrodable structures.* – 1995. – P. 902.
7. Paul, B. *User's Manual for Program CONTACT / B. Paul, J. Hashemi ; Department of Mechanical Engineering and Applied Mechanics, University of Pennsylvania.* – Washington, 1977. – 33 p.
8. Колодій О. С., Сушко О. В. Аналіз плоского пластичного плину матеріалу при оцінюванні оброблюваності на металорізальних станках. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2020. Вип. 10, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674- 2020-1-17*

9. Колодій О. С., Шершенівський О. С. Підвищення конструкційної зносостійкості сталей за рахунок термічної та хімікотермічної обробки. Збірник тез доповідей XIX Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2018 року), 2018. С. 155-156.
10. Колодій О.С., Кюрчев С.В., Сушко О.В., Ковальов О.О. «Автоматичне управління процесами обробки металів різанням»: Методичний посібник з виконання лабораторних робіт. Мелітополь: ТПЦ «Forward press», 2020. 136 с.
11. Sushko O. V., Kolodii O. S., Penyov O. V. Individual forecasting of technical condition of machines and development of method for determining the conditional function of distributing their residual resource. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine*. Kyiv, 2019. Vol. 10, № 4. P. 63-69.
12. Сушко О.В. О.С. Колодій Коломєць В.А. Нові матеріали в машинобудуванні: навчально-методичний посібник до виконання лабораторних робіт, – Мелітополь: ТПЦ «Forward press», 2021. – 106 с.
13. Сігова В.І. Методи локальної поверхневої обробки деталей машин: Навчальний посібник. Сігова В.І., Руденко П.В. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. - 218 с
14. Ніколова Р.О. Гідравлічні та аеродинамічні машини: Навчальний посібник,-Одеса, ОДАБА. 2006. – 210 с
15. Freeman J. W., Comstock G. F. a. White A. F. *Trans. ASME*, v.74, 2002, – p. 793.
16. ДСТУ 2925-94. Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення. [Чинний]. К.: Держстандарт України, 1995. 34 с.
17. Tarellyk V. Upgrading of Pump and Compressor Rotor Shafts Using Combined Technology of Electroerosive Alloying / V. Tarellyk, V. Martsynkovskyy // *Applied Mechanics and Materials*. – 2014. – Vol. 630. – P. 397-412. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.630.397>

18. Antoszewski B. Laser Texturing of Sliding Surfaces of Bearings and Pump Seals / B. Antoszewski, V. Tarelyk // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 630. – P. 301-307.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.630.301>
19. Тарельник В. Б. Дослідження залежності якісних параметрів поверхневих шарів від часу легування при електроерозійній цементації сталей / В. Б. Тарельник, А.В. Білоус // Вісник Сумського національного аграрного університету «Механізація та автоматизація виробничих процесів». – 2008. – №2. – С. 119-124.
20. Tarel'nik V. B. Increase in the Reliability and Durability of Metal Impulse Seals. Part 3 / V. B. Tarel'nik, V. S. Martsinkovskii, A. N. Zhukov // Chemical and Petroleum Engineering. – 2017. – Vol. 53. – P. 385–389.
<https://doi.org/10.1007/s10556-017-0351-5>
21. Tarel'nik V. B. Increase in the Reliability and Durability of Metal Impulse Seals. Part 2 / V. B. Tarel'nik, V. S. Martsinkovskii, A. N. Zhukov // Chemical and Petroleum Engineering. – 2017. – Vol. 53. – P. 266–272.
<https://doi.org/10.1007/s10556-017-0333-7>
22. Shum P.W., Li K.Y., Shen Y.G. // Surf. Coat. Technol. 2005. Vol. 198. N 1–3. P. 414–419.
23. Лабораторний практикум з курсу «Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство». Частина 2 «Матеріалознавство» / укладачі Т.П. Говорун, О.П. Гапонова, В.М. Раб, Н.А. Харченко. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 86 с.
24. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи Охорони праці: Підруч. для студ. вищих навч. закл. За ред. М.П. Гандзюка. - К.: Каравела; Львів: Новий Світ-2000, 2003. - 408 с.
25. Закон України «Про охорону праці» [№ 2695-ХІІ від 14.10.2002 р.](#)
26. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці / В. Ц. Жидецький. – Львів: Афіша, 2002. – 318 с.

27. НПАОП 28.5-1.02-07 Правила охорони праці при термічній обробці металів. Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду. Наказ 18.12.2007 N 315. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 28 січня 2008 р. за № 66/14757.

28. Design, plasma studies, and ion assisted thin film growth in an unbalanced dual target magnetron sputtering system with a solenoid coil / Engstrom S., Berlind T., Birch J. et al. // Vacuum, V. 56, 2000, p.107-113.

29. Pulsed magnetron sputter technology / Schiller S., Goedicke K., Reschke J. et al. // Surf. and Coat. Technol., V.61, 2009, p. 331-337.

30. 96. Reactive pulsed magnetron sputtering process for alumina films / Kelly P.J., Henderson P.S., Arnell R.D. et al. // J.Vac.Sci.Technol., V. 18, № 6, 2000, p.2890-2896.

31. СанПіН 2.1.6.1032-01. «Гігієнічні вимоги до якості атмосферного повітря».

32. Охорона праці : Навч. посіб. / Я. І. Бедрій, Є. О. Геврик, І. Я. Кіт, О. С. Мурін, В. М. Єнкало; ред.: Є. О. Геврик; Укр. держ. лісотехн. ун-т. - Л., 2000. - 280 с. - Бібліогр.: с. 277-279.

33. Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація [Текст] : ДСТУ 7239:2011. – [Чинний від 2011-08-01] – Київ : Національний стандарт України, 2011. – 11 с.