

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет інженерно-технологічний**  
**Кафедра Технології та засоби механізації аграрного виробництва**

**Пояснювальна записка до дипломної роботи**  
**на здобуття ступеня вищої освіти магістр**

**на тему: Підвищення довговічності блоків циліндрів автотракторних  
двигунів за рахунок застосування зміцнюючої технології відновлення  
посадочних поверхонь**

Виконав: здобувач вищої освіти за  
ОПП ТЗМСГ  
спеціальності 208 Агроінженерія  
ступеня вищої освіти магістр\_групи \_\_  
Куць А.В.  
Керівник: Іванкова О. В.

Рецензент: \_\_\_\_\_

**Полтава – 2021 року**

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Обґрунтування способів і розробка режимів відновлення блоків циліндрів автотракторних двигунів»: 70 с., 30 рис., 8 табл., додатки, 33 джерела.

Об'єктом даного дослідження є зношені поверхні блоків циліндрів автотракторних двигунів і способи їх відновлення.

Предмет дослідження – зноси та дефекти блоків, які відновлюються зміцнюючими технологіями відновлення

Мета роботи: розробка сучасного економічно вигідного способу відновлення блоків автотракторних двигунів.

Для вирішення наявних задач було використано такі типи досліджень: аналіз дефектів та зносів деталей і способів їх відновлення; математична статистика; металографічний аналіз; випробування відновлених деталей на зносостійкість; порівняння і узагальнення отриманих результатів досліджень.

Результати проведених досліджень: проведений аналіз характерних дефектів та зносів блоків двигунів та способів їх відновлення; обґрунтовано можливість та доцільність використання обраного способу відновлення; обґрунтовано вибір технологічного обладнання та матеріалу електродів, розроблена математична модель, що описує вплив основних параметрів обробки і вмісту компонентів на якість нарощуваного шару електроіскровою обробкою; розроблено заходи з охорони праці та проведена екологічна експертиза; проведено техніко-економічне обґрунтування використання електроіскрового нарощування. Визначена собівартість відновлення блоку циліндру при електроіскровому нарощуванні 2271,8грн., що значно нижче ціни нової деталі.

Ступінь впровадження результатів роботи: результати використовувалися при розрахунку режимів відновлення блоків циліндрів двигунів.

Галузь застосування – агропромислове виробництво.

Ключові слова: БЛОК ЦИЛІНДРІВ АВТОТРАКТОРНОГО ДВИГУНА, ЗНОС, ЛІЖКА БЛОКУ ЦИЛІНДРІВ, ВІДНОВЛЕННЯ, ЕЛЕКТРОІСКРОВЕ НАРОЩУВАННЯ, ТЕХНОЛОГІЯ, РЕЖИМИ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ.

## ВСТУП

У сучасному світі велике значення займає своєчасний ремонт сільськогосподарської техніки, який дає можливість використовувати її без простоїв, а також забезпечити безперервний виробничий процес, котрий впливає на доходи аграрного сектору та країни в цілому.

В наш час важливо раціонально використовувати наявні ресурси, тому необхідно своєчасно виконувати ремонтні роботи окремих агрегатів та вузлів, не чекаючи повного виходу з ладу усієї робочої одиниці. Також важливо ще те, що ремонтні роботи мають відбуватися не лише за принципом заміни агрегату, який вийшов з ладу, а й за принципом відновлення, якщо він придатний.

Сучасні методи відновлення зношених деталей машин спрямовані на досягнення максимального післяремонтного ресурсу роботи машини, не поступаючись, а іноді і перевищуючи ресурс роботи нової деталі за ту саму вартість або і набагато меншу. Важливе і актуальне завдання галузі технічного сервісу - впровадження таких технологій відновлення деталей машин.

Отже, основним напрямком забезпечення високої роботоздатності сільськогосподарської техніки є відновлення зношених деталей, а для ресурсозбереження та здешевлення ремонтних робіт в агропромисловому комплексі – розробка та впровадження інноваційних технологій відновлення зношених деталей.

Однією з основних причин неправильної роботи і як наслідок виходу з ладу автотракторних двигунів є знос робочих поверхонь блоків циліндрів.

Зварювання, паяння, закладання епоксидною пастою – методи відновлення таких часто виникаючих дефектів як: тріщини, сколи, раковини. Такі дефекти, як знос «ліжка» колінчастого валу, зноси отворів, зноси та пошкодження різьб, корозія поверхонь, котрі труться також потребують відновлення. Для цього використовуються: наплавлення, гальванічне покриття, газотермічне нарощування та інші способи. Покриття зміцнюючим шаром дозволяє суттєво підвищити надійність та довговічність машин та обладнання,

відновити зношений робочий поверхневий шар і збільшити термін експлуатації дороговартісних деталей. Вони швидко розвиваються та вдосконалюються, бо ці методи дозволяють отримати шари необхідної товщини, міцності та якості покриття і разом з цим – не змінюють основний шар матеріалу.

В кваліфікаційній роботі на тему «Обґрунтування способів і розробка режимів відновлення блоків циліндрів автотракторних двигунів» ми розглянули основні способи відновлення даного типу деталей. Дана тема була обрана через актуальність у наш час.

Мета дослідження - розробка сучасного економічно – вигідного способу відновлення основних дефектів блоків та автотракторних двигунів.

Для досягнення мети роботи ми маємо розв'язати комплекс наукових завдань:

- провести аналіз характерних зносів блоків циліндрів автотракторних двигунів та способів їх відновлення;
- обґрунтувати можливість застосування обраного способу – електроіскрової обробки для відновлення дефектів та зносів блоків циліндрів;
- обґрунтувати вибір обладнання для нанесення покриття;
- дослідити вплив матеріалу електрода на якість відновленої поверхні;
- дослідити параметри режиму електроіскрового відновлення;
- провести металографічні дослідження та дослідження зносостійкості відновлених зразків;
- обґрунтувати ефективність обраного способу відновлення;
- узагальнити результати досліджень та сформулювати рекомендації по їх впровадженню у виробництво.

Об'єктом дослідження є зношені поверхні блоків циліндрів автотракторних двигунів і розробка способів їх відновлення.

Предмет дослідження - зноси та дефекти блоків, які відновлюються зміцнюючими технологіями відновлення.

Методи дослідження:

- 1) аналіз зносів та дефектів деталей і способів їх відновлення;

- 2) математична статистика;
- 3) металографічний аналіз: визначення твердості та мікротвердості, мікроструктурний аналіз матеріалу;
- 4) випробування відновлених деталей на зносостійкість;
- 5) синтезування: порівняння і узагальнення отриманих результатів проведених досліджень.

Теоретична значущість – підтвердження можливості використання відновлених електроіскровим нарощуванням блоків циліндрів автотракторних двигунів, а також використання результатів для відновлення інших деталей машин.

Практична значущість – підтвердження можливості використання даного методу на ремонтних підприємствах задля підвищення довговічності та збільшення надійності деталей.

# 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 1.1 Аналіз конструкції та умов роботи виробу

Двигуни внутрішнього згорання складаються з багатьох окремих частин, проте, однією з найбільших і найголовніших та, зазвичай, наймасивнішою частиною є блок циліндрів. Він складається з двох і більше циліндрів розташованих в певному порядку і певному вигляді. Блоки циліндрів розрізняються за розміщення циліндрів, типом охолодження та типом матеріалу, з якого виготовлений [3, 4].

За типом розміщення циліндрів:

- рядний двигун (R) (рис. 1.1.1).
- V-подібний двигун (V) (рис. 1.1.2)
- оппозитний двигун має кут розвалу 180 (рис. 1.1.3)
- VR-подібний (рис. 1.1.4)
- W-подібний двигун (рис. 1.1.5) або як би дві VR-компонування (рис. 1.6).

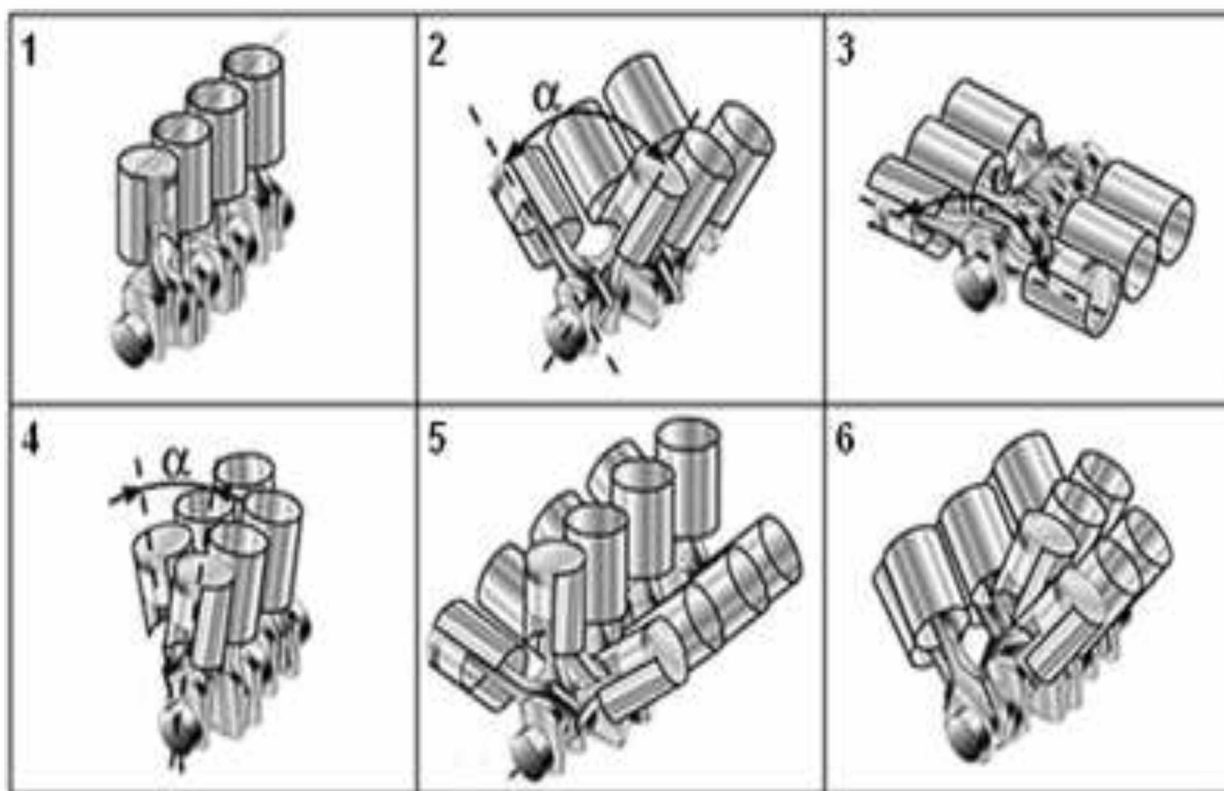


Рисунок 1.1 – Типи розміщення поршнів у циліндрах двигуна

За типом охолодження:

- з безпосереднім повітряним охолодженням;
- з непрямим охолодженням (рідинне або водяне).

За типом матеріалу з якого виготовлений блок:

- перлітний сірий чавун з невеликим додаванням хрому та нікелю;
- високолеговані чавуни та сталі;
- алюмінієві та магнієві сплави;
- латуні блоки циліндрів (перші автомобілі).

Чавунний блок циліндрів має більшу механічну жорсткість і менше чутливий до перегрівання, це забезпечує його роботу здатність у важких умовах експлуатації. Основними недоліками є велика маса, схильність до корозії, нижча у 4 рази ніж в алюмінієвих сплавах теплопровідність, що і ставить високі вимоги до роботи системи охолодження.

Блоки циліндрів з алюмінієвих сплавів є легкими за масою і краще охолоджуються, однак у них виникає проблема із забезпеченням зносостійкості та ремонтпридатності стінок циліндрів. На першому поколінні двигунів з алюмінієвим блоком циліндрів використовувалися вставні, так звані, «мокрі» гільзи із сірого чавуну, що слугували стінками циліндрів і безпосередньо омивалися охолоджуючою рідиною. Проте в такої конструкції були і недоліки – велика трудомісткість виготовлення гільзованого алюмінієвого блоку, неможливість форсування такого двигуна та чутливість до перегрівання.

З 1980 – х років почала впроваджуватися технологія «сухих» тонкостінних чавунних гільз, які запресовувалися і по всій зовнішній поверхні контактували з алюмінієм. Головним недоліком такої конструкції є різниця температурних коефіцієнтів чавуну та алюмінію і як наслідок, необхідність додаткових заходів для недопущення відриву гільзи від блоку циліндрів. Проте, ці заходи дорого вартісні і є лише альтернативою для описаної проблеми.

Основними причинами виникнення дефектів блоків циліндрів є:

- великий пробіг автомобіля або наробіток трактора;
- руйнування поршневих кілець;

- перегрів двигуна або його нерівномірний нагрів;
- деформація блоку циліндрів (заводський брак);
- обрив шатуна;
- руйнування сидла клапана;
- детонація в циліндрах;
- потрапляння абразиву в циліндри.

## **1.2 Аналіз існуючих технологій відновлення блоків циліндрів**

Основними видами дефектів блоків циліндрів є [4,5]:

- 1) тріщини, сколи, раковини, задири;
- 2). еліпсність;
- 3). порушення геометрії шатунно – поршневої групи;
- 4). кільцеве вироблення;
- 5). знос «ліжка» колінчастого валу;
- 6). пробоїни стінок сорочки водяного охолодження;
- 7). зноси отворів;
- 8). зноси та пошкодження різьб;
- 9). корозія поверхонь, котрі труться.

Ремонт блоку циліндрів включає в себе:

- ретельне очищення блоку циліндрів;
- перевірку на герметичність каналів охолодження;
- промивку, очищення та перевірку масляних каналів;
- розточування - гільзування, шліфування, наплавлення.

Підчас експлуатації блоків циліндрів можуть виникати різні типи дефектів. Деякі з яких загальноприйнятими методами неможливо відновити, тому, зазвичай, розробляють поопераційну послідовність технологічного процесу та маршрути відновлення (рис. 1.4) [6].

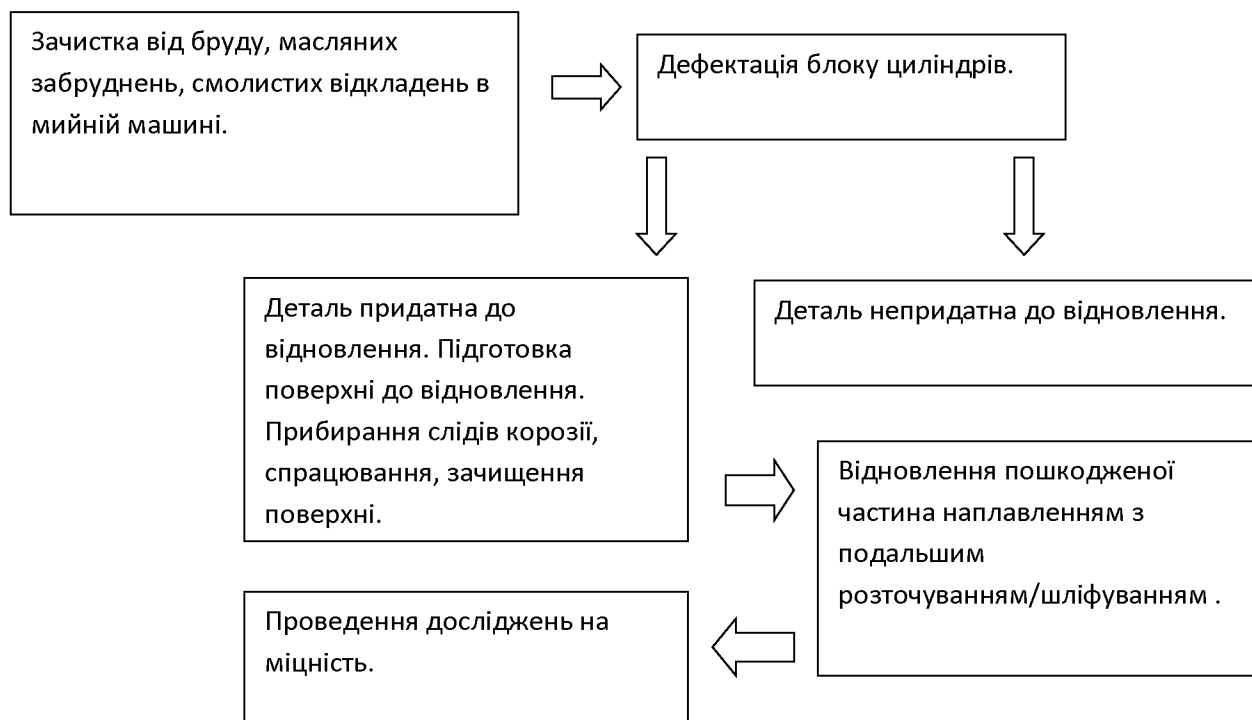


Рисунок 1.4 - Поопераційна послідовність технологічного процесу відновлення.

Дефекти, які не підлягають відновленню:

- наявність 1-2 пробоїн на зовнішній поверхні сорочки охолодження, або 1 пробоїни загальною площею понад 300 мм<sup>2</sup>;
- дві та більше тріщин між отворами під гільзи;
- більше чотирьох тріщин в стінках водяної сорочки або менше чотирьох, проте з загальною довжиною більше 1 метра;
- більше двох тріщин, котрі виходять на оброблені поверхні блоку циліндрів;
- злам більше одного гнізда або тільки одного гнізда під гумове кільце ущільнювача гільзи величиною більше 1/3 периметра;
- наявність тріщин і облому гнізд під вкладиші корінних підшипників, що проходять через масляні канали або місця недоступні для проведення зварювальних та інших робіт.

Під час відновлення дефектів, які можна відновлювати, зазвичай використовуються такі методи:

- зварювання з попереднім нагрівом деталі;

- холодне зварювання чавуну;
- газове зварювання кольоровими сплавами без підігрівання деталі;
- запаювання;
- закладання епоксидною пастою.

Дані способи мають свої переваги та недоліки.

### 1.2.1 Зварювання з попереднім нагрівом деталі

Гаряче зварювання – процес, під час якого деталь нагрівається в печі або іншим способом до температури 650-680°C. Температура деталі не повинна бути меншою за 500°C під час зварювання [5, 6].

У процесі зварювання відбуваються структурні перетворення з перерозподілом внутрішніх напружень, так званий термічний вплив. Метал, на який діє зварювальна дуга – плавиться й утворює рідку ванну, а контактуючий зі зварювальною ванною – нагрівається внаслідок тепловіддачі.

Через швидкий нагрів і охолодження окремих ділянок – зони термічного впливу неоднакові. Метал зварювальної ванни швидко кристалізується й переходить у тонкий шар першої ділянки термічного впливу. Відбувається усадка металу на 1%. Даний шар пов'язаний з основним металом деталі і твердим металом шва і це заважає нормальній усадці. Наслідком є виникнення напружень розтягнення та поява поперечних тріщин, через скорочення довжини валика, який розтягується основним металом.

Щоб запобігти цьому процесу, необхідно :

- забезпечити достатню пластичність наплавленого шва;
- проковувати шви під час кристалізації;
- рівномірно нагрівати та охолоджувати деталь та шов;
- зварювання проводити на постійному струмі малої сили (25 – 30А на 1мм діаметра електроду) та зворотній полярності;
- виконувати зварювання валиками і багатошаровим швом;
- наплавляти валики довжиною 30-40 мм.

Ацетилено-кисневе полум'я з присадним матеріалом з чавуну дає найкращі результати під час гарячого зварювання.

Головним недоліком є необхідність використання спеціального обладнання, такого як: термічні та нагрівальні печі, термостати, кожухи і т.д. Також при зварюванні обов'язково використовується флюс (технічна безводна бура ( $Na_3B_4O_7$ ) в суміші з кальцинованою содою, в пропорції 1:1). Найкращий - флюс – ФСЧ-1: бура - 23%; кальцинована сода -27%; азотнокислий натрій - 50%.

### 1.2.2 Холодне зварювання чавуну

При холодному зварюванні чавуну деталь не нагрівають [8]. Іноді використовується підігрів до температури не вище  $400^{\circ}\text{C}$  – для зняття напруги й попередження виникнення зварювальних напружень. Зварювальна ванна швидко затвердіває через невеликий обсяг. Головною перевагою даного способу є його простота виконання.

У зоні зварювання відбувається відбілювання та загартовування з одночасним зростанням внутрішніх напружень, наслідком яких може бути поява тріщин. Висота зварного шва визначається за формулою  $h_t + h_2$ , не є однаковою для всіх типів електродів. Залежить від типу покриття електроду та знаходиться в межах 4 – 7 мм.

Даний тип зварювання використовується для усунення тріщин та заварювання пробоїн в тонкостінних корпусних або великогабаритних чавунних деталях, котрі в подальшому будуть механічно оброблені та експлуатуються при тепловій дії та з навантаженням (рис. 1.5). Тріщини розміром до 10 мм в ненавантажених стінках заварюються без обробки країв.

Зварювання тріщин в товстостінних деталях, які будуть оброблятися або працюють під навантаженням – виконують з обробкою країв тріщини. Ширина необхідної обробки країв тріщини має бути більше її товщини в 2 рази, а глибина переробки на 2 -3 мм менше даної товщини (рис.1.6). Кромки тріщини обробляються вручну слюсарним способом або фрезеруванням

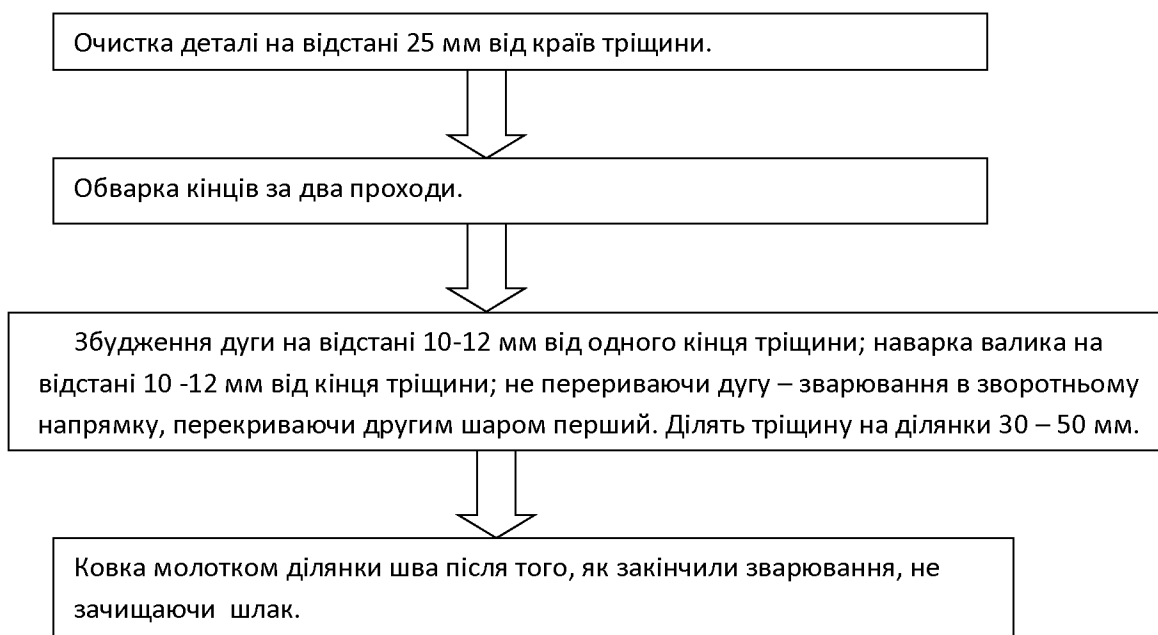


Рисунок 1.5 - Схематичне зображення технологічного процесу зварювання тріщин в ненавантажених тонкостінних деталях.

Багато проводити зварювання електродами діаметром 3 – 4 мм на постійному струмі силою 140 -150А та на зворотній полярності. Зварювання проводять короткою дугою, ділянками 20 -30 мм з проковуванням шва.

Рекомендовано використовувати електроди МНЧ – 1 зі спеціальним фтористо – кальцієвим покриттям, які складаються з 63% Ni та 4 - 37%Cu.

Можна також використовувати електроди типу ЖНБ або ЦЧ – 4 [8].

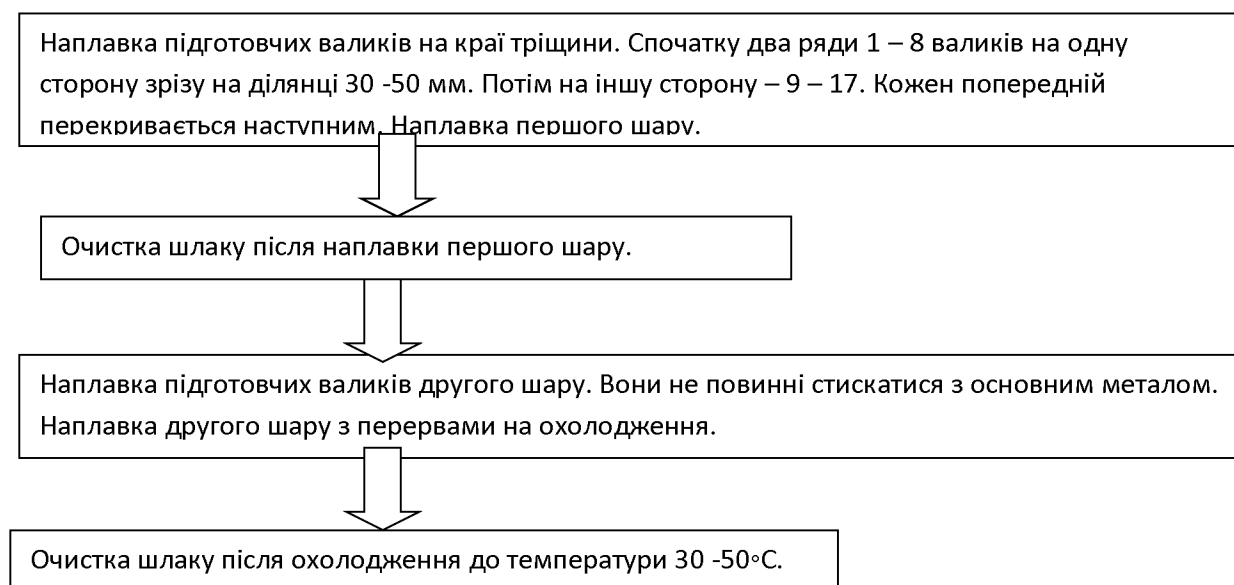


Рисунок 1.6 - Схематичне зображення технологічного процесу зварювання тріщин в товстостінних або навантажених деталях

### 1.2.3 Газове зварювання кольоровими сплавами без підігріву деталі

Газове зварювання кольоровими сплавами без підігрівання деталі виконується у поєднанні з дуговим зварюванням (рис. 1.7). Воно набуло широкого поширення у ремонтному виробництві корпусних деталей на оброблюваних деталях. Основним присадним матеріалом використовується латунь, через свою температуру плавлення – 880 – 950°C, яка менша ніж у чавуну. Шви, отримані таким методом щільні та добре піддаються обробці [7,8].

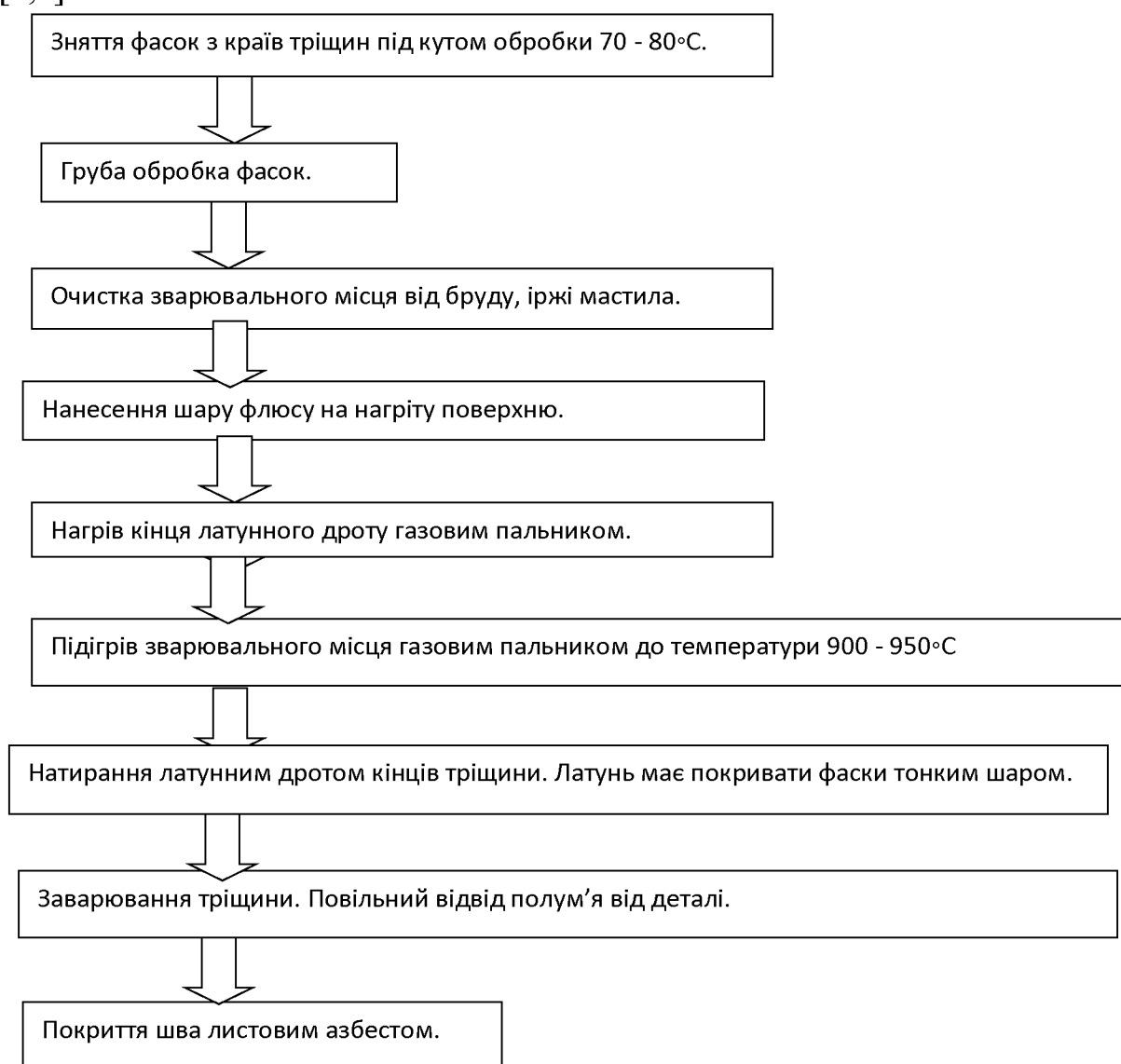


Рисунок 1.7 - Схематичне зображення технологічного процесу газового зварювання кольоровими сплавами без підігрівання деталі.

### 1.2.4 Запаювання

Ще одним поширеним методом ремонту блоків циліндрів є запаювання. Цей спосіб простий у виконанні, проте має один недолік – використання великої кількості небезпечних хімічних реагентів для лудіння. Схематичне зображення технологічного процесу запаювання показано на рис. 1.8.

Лудіння – це покриття металу тонким шаром олова, необхідним для подальшого паяння [6, 7].

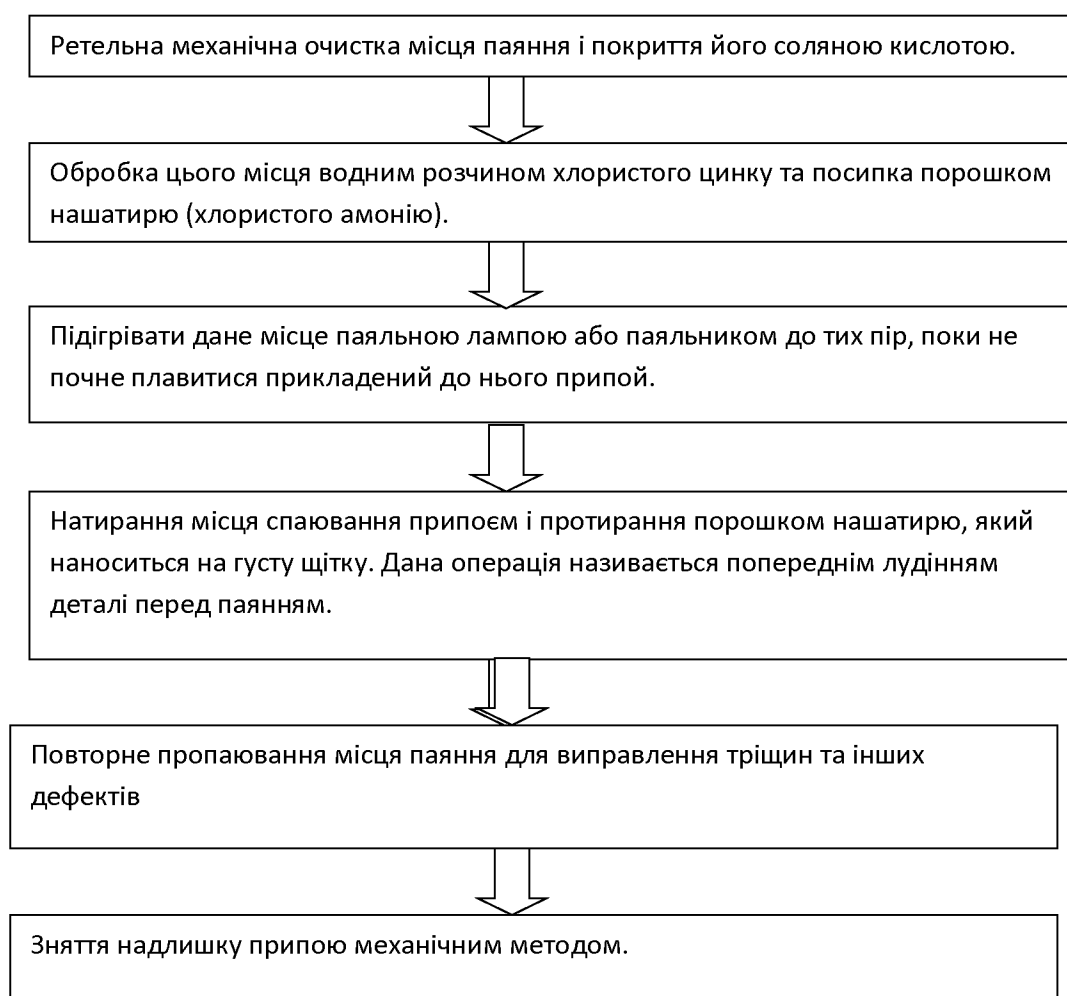


Рисунок 1.8 - Схематичне зображення технологічного процесу запаювання

### 1.2.5 Закладання епоксидною пастою

За неможливістю виконати один із вище перекислених методів або у випадку, коли тріщини не проходять через поверхні, котрі несуть навантаження, та у випадку економічної недоцільності використання складніших методів – можна використати закладання епоксидною смолою.

Схема технологічного процесу закладання тріщини епоксидною пастою показана на рис. 1.9 [7, 8].

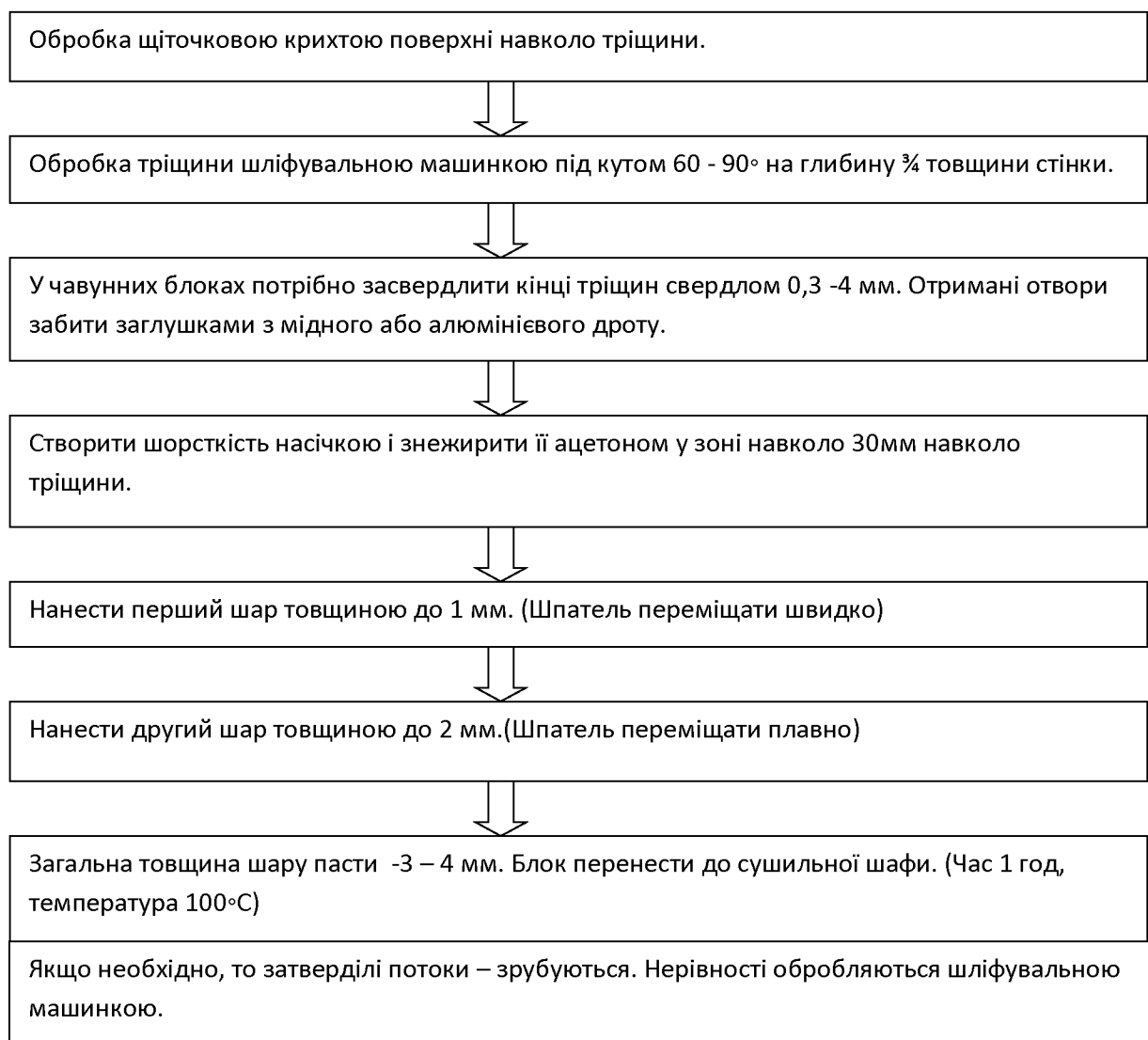


Рисунок 1.9 - Схематичне зображення технологічного процесу закладання тріщини епоксидною пастою

На рисунку 1.10 наводимо схематичне зображення технологічного процесу закладання пробоїни епоксидною пастою

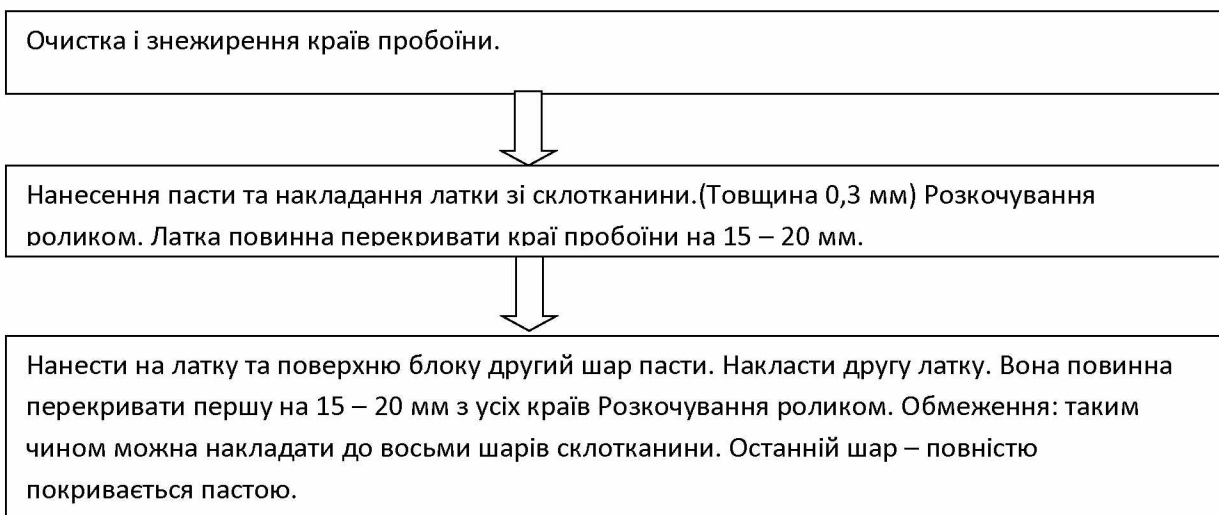


Рисунок 1.10 - Схематичне зображення технологічного процесу закладання пробоїни епоксидною пастою

1.2.6 Відновлення дефектів та зносу блоку та гільз циліндрів двигунів із застосуванням технологій наплавлення та нарощування

Частою проблемою блоків циліндрів деяких виробників є прокручування вкладишів колінчастого валу. В такій ситуації використовується наплавлення з подальшим розточуванням під потрібний розмір [3, 7].



а). наплавлені ліжка колінчастого валу до розточування

б). ліжка колінчастого валу після розточування

Рисунок 1.11 - Наплавлені ліжка колінчастого валу

Після зняття головки з блоку циліндрів дизелів DXi 11 та двигунів вантажних автомобілів «Вольво» виявилось, що внаслідок експлуатації на площині роз'єму цих деталей утворився свищ загальною висотою понад 3 мм

(рис. 1.11) [10]. Відновлення було виконано електроіскровим нарощуванням. Роботи проводились безпосередньо на автомобілі без зняття блоку з машини, з використанням установки «БІГ-4». В якості електрода брали пруток из ніхрому Х20 Н80 діаметром 2 мм. Відновлення площини здійснювали по черговими операціями нанесення покриття ніхромом Х20 Н80 і осадкою цього покриття міддю на електричних режимах (табл.1.1).

Таблиця 1.1 - Режими установки «БІГ-4» при відновленні площини

Назва параметра	Значення параметра	
	ніхромом	міддю
Умовний номер електричного режиму	10	30
Енергія імпульсів, Дж	0,09	2,52
Тривалість імпульсів, мс	40	700
Частота імпульсів, Гц	1500	120
Амплітудний струм, А	125	200

На рисунку 1.12 представлені дефекти на площині роз'єму головки і блоку циліндрів та зноси гільз циліндрів



Дефекти на площині роз'єму головки і блоку циліндрів



Зношені гільзи циліндрів двигуна CAT-3116

Рисунок 1.12 - Дефекти та зноси головки і блоку циліндрів

Діаметральний знос гільз циліндрів дизельних двигунів до капітального ремонту не перевищує 150–200 мкм [4]. У випадку зносу гільз блок знімають з машини, розбирають, зношені гільзи відправляють у брукт. Але гільзи циліндрів доцільно відновлювати методом електроіскрового легування

(нарощування) без демонтажу з блоку. Відновлюються: задири, дзеркала і кільцеві зноси в їх верхніх частинах. На рис. 1.13 і 1.14 приведені фото відновлення гільз циліндрів блоку САТ-3116. Технологія відновлення аналогічна відновленню дефекту блоку. Відмінність полягає у використанні іншого електродного матеріалу: замість електроду Х20 Н80 електрод із бронзи БрКМц 3–1. Так як бронза при відновленні пар тертя, забезпечує гарні умови мащення для роботи пари «гільза — поршневе кільце», дозволяє реалізувати беззадирну роботу пари тертя.



Рисунок 1.13 -Гільзи циліндрів двигуна САТ-3116 після відновлення методом електроіскрового нарощування (без механічної обробки) [10]



Рисунок 1. 14 – Відновлення глибокої подряпини гільзи двигуна САТ-3116 методом електроіскрового легування (після механічної обробки)

Технологія відновлення гільз передбачає після електроіскрового легування (нарощування) виконання операції хонінгування в номінальний розмір.

При використанні електроіскрового способу відновлення зношених деталей досягається не тільки відновлення їх геометричних розмірів, але і зміна фізико-механічних властивостей поверхні, покращуючи їх характеристики.

Технологічний маршрут відновлення гільз складається всього з двох операцій: нанесення покриття і хонінгування цього шару. Таким чином, досвід

підприємств засвідчує, що собівартість відновлення значно нижче у порівнянні з іншими.

### 1.2.7 Відновлення чавунних деталей електроіскровим нарощуванням

Однією із відповідальних деталей коробки передач автомобіля є вилка переключення. Характерним її дефектом, який утворюється в результаті тривалої експлуатації, є знос ділянки торцевої поверхні (рис. 1.15). Знос вилки на величину більше 1мм приводить до ввімкнення одночасно двох передач, що неминуче приводить до виходу з ладу всієї КПП. На практиці ця чавунна вилка не відновлюється.

За даними офіційного дилера німецької фірми вартість вилки складає понад 100 євро. Тільки 20-25% вилок на момент капітального ремонту мають недопустиму величину зносу. Доставка цієї деталі від фірми-виробника здійснюється під заказ з Німеччини, втрачаються гроші і час [9, 10].

На рис.1.15 показано зношену ділянку вилки з частковим відновленням дефекту методом електроіскрового легування (нарощування).

Це досягнуто завдяки тому, що метод нанесення покриття реалізується без розігріву тонкостінної ділянки деталі. Такі деталі відновлюються на номінальний розмір, а ресурс відновленої деталі не нижче ресурсу нової. У цьому випадку матеріалом електроду була пластина, яку вирізали з аналогічної вилки переключення передач КПП.



Рисунок 1.15 - Відновлена ділянка чавунної вилки переключення передач коробки зміни передач [10]

Повне усунення дефекту у зв'язку з невеликою площею зношення складає менше часу, вартість відновлення - близько 10% від вартості нової деталі.

Отже, для відновлення зношених поверхонь (ліжок) блоків циліндрів автотракторних двигунів ми обрали метод електроіскрового легування (нарощування). Перевагою способу електроіскрового легування (нарощування) перед іншими способами нанесення покриттів є: забезпечує високу міцність зчеплення нанесеного шару; не чинить термічного впливу на деталь; забезпечує можливість застосування місцевого зміцнення окремих ділянок деталі без розбирання агрегату, машини. Електроіскровому легуванню притаманні: низька енергоємність, малогабаритне і мобільне технологічне обладнання, процес є екологічно чистим. Він переважає більшість традиційних методів відновлення деталей.

### **Висновки**

Провівши дослідження і на підставі отриманих результатів умов роботи деталей автотракторних двигунів, зміни їх робочих характеристик під час експлуатації та проаналізувавши сторонні літературні та графічні джерела – було зроблено наступні висновки:

1) Велика кількість різних типів напруг, які виникають через складність конструкцій та специфічні умови експлуатації блоків циліндрів обумовлюють високі вимоги їхньої якості. Наслідком цього є висока вартість нових деталей, тому важливо правильно підібрати ефективний і найбільш підходящий методи ремонту та відновлення деталей, котрі спрацювалися або вийшли з ладу.

2) Зварювання, паяння, закладання епоксидною пастою – методи відновлення таких часто виникаючих дефектів як: тріщини, сколи, раковини. З точки зору практичності, технологічності, економічної ефективності та затрат часу – технологія холодного зварювання з використанням установки комплексу для дугової металізації КЕМ-1 [11]. є найкращим варіантом.

3) Такі дефекти, як знос «ліжка» колінчастого валу, зноси отворів, зноси та пошкодження різьб, корозія поверхонь, котрі труться також

потребують відновлення. Для цього використовуються: наплавлення, гальванічне покриття, газотермічне нарощування та інші способи.

4) Практика підприємств технічного сервісу показує, що для відновлення зношених поверхонь гільз циліндрів, зносів та подряпин на площині роз'єму блоку та головки циліндрів та інших дефектів доволі широко використовується метод електроіскрового нарощування (легування). При чому, процес відбувається без демонтажу гільз.

5) Використання електроіскрового методу нанесення покриттів забезпечує можливість якісного відновлення зношених поверхонь деталей машин на підприємствах технічного сервісу аграрного сектору.

### **1.3 Обґрунтування теми магістерської роботи**

У сучасному агропромисловому виробництві важливе місце посідає капітальний ремонт сільськогосподарської та іншої техніки. Якісне та своєчасне виконання дає можливість вчасно та якісно виконувати польові роботи.

Однією з найважливіших умов якісного ремонту є постійний зв'язок ремонтного виробництва з наукою. Впровадження новітніх технологій дає можливість спростити, покращити та зробити більш дешевими дороговартісні ремонтно - відновлювальні роботи.

*Актуальність теми.* Автотракторна техніка використовується майже в усіх галузях виробництва. Для вчасного і якісного виконання поставлених завдань техніка має бути завжди в роботоздатному стані за рахунок своєчасного проведення технічного обслуговування та ремонту.

Задля забезпечення економії матеріальних, трудових та енергетичних ресурсів необхідно проводити ремонт блоків циліндрів. Відновлення роботоздатності двигунів внутрішнього згорання дає можливість використовувати увесь закладений в них ресурс.

Технологія ремонту та відновлення блоків циліндрів за допомогою електроіскрових методів є актуальною на сьогоднішній день та все більш широко використовується в ремонтному виробництві.

**Мета та задачі дослідження.** Метою даної роботи є проведення досліджень та підбір методів електроіскрових способів відновлення деталей автотракторних двигунів.

- провести аналіз характерних зносів блоків циліндрів автотракторних двигунів та способів їх відновлення;
- обґрунтувати можливість застосування обраного способу – електроіскрової обробки для відновлення дефектів та зносів блоків циліндрів;
- обґрунтувати вибір обладнання для нанесення покриття;
- дослідити вплив матеріалу електрода на якість відновленої поверхні;
- дослідити параметри режиму електроіскрового відновлення;
- провести металографічні дослідження та дослідження зносостійкості відновлених зразків;
- обґрунтувати ефективність обраного способу відновлення;
- узагальнити результати досліджень та сформулювати рекомендації по їх впровадженню у виробництво.

**Об'єктом дослідження** є зношені поверхні блоків циліндрів автотракторних двигунів і розробка способів їх відновлення.

**Предмет дослідження** - зноси та дефекти блоків, які відновлюються зміцнюючими технологіями відновлення, зокрема електроіскровим нарощуванням.

**Методи дослідження.** При експериментальних дослідженнях були використані: аналіз зносів та дефектів деталей і способів їх відновлення; металографічний та мікроструктурний аналізи; методі математичної статистики, визначення твердості та мікротвердості, випробування відновлених поверхонь на зносостійкість, порівняння та синтезування отриманих результатів.

**Теоретична значущість** – підтвердження можливості використання електроіскрових методів відновлення автотракторних блоків циліндрів двигунів внутрішнього згорання та використання отриманих даних для відновлення інших деталей.

**Практична значущість** – підтвердження можливості використання даних способів відновлення блоків циліндрів двигунів внутрішнього згорання під час ремонту на підприємствах технічного сервісу.

**Новизна отриманих результатів** – підтверджено можливість використання методів електроіскрового нарощування та їхню дієвість при відновленні дефектів блоків циліндрів двигунів внутрішнього згорання на ремонтних підприємствах.

**Практичні значення** отриманих результатів:

- 1) визначено можливість використання електроіскрового нарощування (легування) для відновлення зношених частин та виправлення дефектів.
- 2) обрано та обгрунтовано технологічне обладнання;
- 3) досліджено вплив матеріалу електрода на якість відновленої поверхні, досліджено параметри режиму електроіскрового відновлення;
- 4) обгрунтовано ефективність обраного способу відновлення;
- 5) узагальнено результати досліджень та сформульовані рекомендації по їх впровадженню у виробництво.

Використання запропонованого способу, обладнання та матеріалу дає можливість підвищити ресурс деталей, зменшити витрати часу та економічні витрати.

Результати були опубліковані:

- 1) Відновлення корпусних деталей машин і обладнання агропромислового виробництва. *Техніка та технології в агропромисловому виробництві (присвячена 55-й річниці заснування інженерно-технологічного факультету Полтавського державного аграрного університету)* : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 7-8 жовтня 2021 р. Полтава : ПДАУ, 2021. С. 51-53.

***Структура та обсяг роботи.*** Магістерська робота складається із вступу, 4 розділів і висновків загальним обсягом 70 сторінках машинописного тексту, 10 таблиць, 30 рисунків, 33 найменування використаних джерел та додатки.

## 2 МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для проведення даного наукового дослідження необхідно провести як теоретичні так і експериментальні дослідження відновлення блоків циліндрів, котрі проводяться у наступній послідовності:

- 1) Теоретичний аналіз дефектів блоку циліндрів під час його роботи
- 2) Визначення характеру дефектів блоку циліндрів з подальшим вибором способів відновлення
- 3) Підбір технологічного обладнання для проведення електроіскрового відновлення та необхідних матеріалів
- 4) Дослідження впливу матеріалу електрода на якість відновленої поверхні та параметрів режиму електроіскрового відновлення;
- 5) Розробка режимів технологічного процесу відновлення БЦ та виконання електроіскрового наплавлення
- 6) Проведення дослідження механічних властивостей відновлених поверхонь (мікротвердість, мікроструктура відновлених поверхонь, міцність зчеплення матеріалу покриття з основою)
- 7) Визначення його роботоздатності та довговічності, шляхом стендових та експлуатаційних випробувань, техніко – економічна оцінка розроблених заходів відновлення.

Для дослідження було обрано блок циліндрів двигунів автомобілів ЗІЛ.

### 2.1 Методика визначення дефектів БЦ

Під час виконання даної кваліфікаційної роботи було проведено повне дефектування БЦ, виявлено та визначено всі типи дефектів присутні у даного блоку циліндрів і підібрано необхідне обладнання для ремонту.

Вимірювання деталей проводилося у відповідності до вимог стандарту (ГОСТ14846-81) [27, 28].

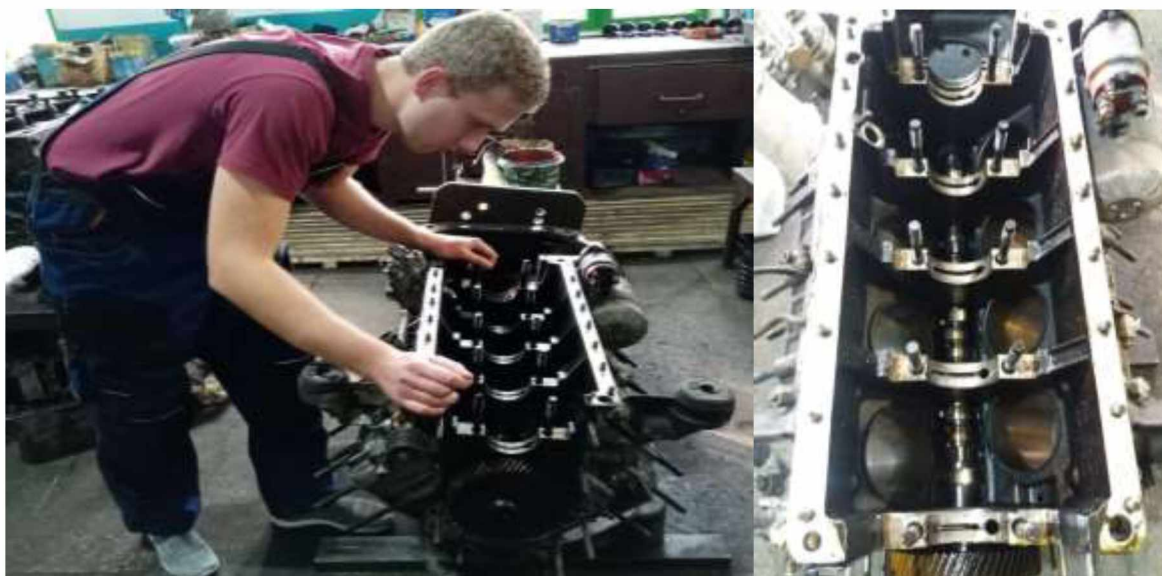


Рисунок 2.1 – Зовнішній огляд та дефектація блоку циліндрів

Контроль геометричних параметрів досліджуваних елементів здійснювався стандартним вимірювальним інструментом згідно вимог стандартів.

Для вимірювання співвісності ліжок блоку циліндрів двигуна було виготовлено спеціальне пристосування (патент № 104691) [28], зовнішній вигляд якого приведений на рис.2.2. Пристосування базується по торцевій поверхні отворів корінних шийок з допомогою самоцентруючих конусних шайб.



Рисунок 2.2 – Пристосування для вимірювання співвісності ліжок блоку циліндрів двигуна

Вимірювання проводили з допомогою індикатора годинникового типу, ціна поділки якого 1 мкм. Індикатор кріпили на втулці, яка має можливість переміщатися по валу, вздовж вісі, що вимірюється.

Вимірювання проводились наступним чином: виставляли індикатор на нуль з натягом; переміщали втулку вздовж вимірюваної вісі, фіксуючи показання приладу на кожній опорі, потім, повертаючи вал з втулкою на 45 градусів, повторювали вимірювання, визначали відхилення від номінального розміру по двох поясах в чотирьох площинах. При відхиленні розмірів більше, ніж на 0,03 мм блок направляли на відновлення.

Щоб уникнути зміщення втулки з вимірювальним інструментом рл діаметру вала отфрезерований паз, в який входить центруючий гвинт, закріплений у втулці.

## **2.2 Методика проведення лабораторних досліджень**

### **2.2.1 Зразки лабораторних досліджень**

Для проведення досліджень було відібрано зразки, виготовлені на одному технологічному обладнанні й мали наявні дефекти. Зразки виготовлялися з чавуну [27].

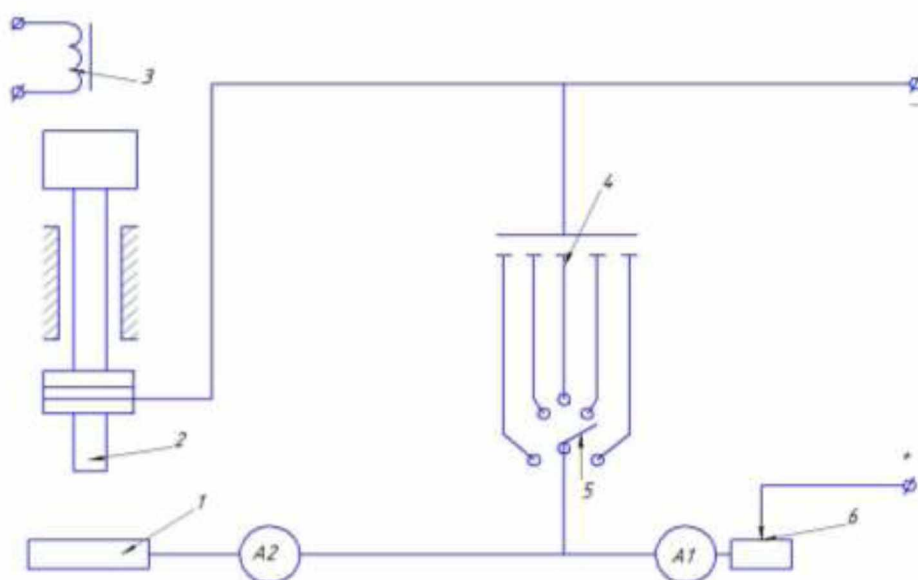
Задля проведення вимірювань в одних і тих самих площинах - робилися мітки, та використовувалося однакове обладнання та режими роботи.

### **2.2.2 Обладнання і прилади**

Експерименти по електроіскровому відновленню зношених ліжок блоків циліндрів проводилися на експериментальній установці, основним технологічним вузлом ми обрали установку для електроіскрового нарощування БІГ – 4 (рис. 2.3) у режимі енергії імпульсів 5 Дж [11,13]. Режими роботи установки: ручний та механізований. Схему електроіскрової установки приводимо на рис. 2.4.



Рисунок 2.3 – Установка для електроіскрового відновлення БІГ- 4 [11].



1 - оброблювана деталь; 2 - електрод; 3 - вібратор; 4-конденсатор; 5-перемикач; 6 - реостат;  $A_1$  - амперметр мережі живлення;  $A_2$  - амперметр розрядного ланцюга.

Рисунок 2.4 - Схема електроіскрової установки

Основні параметри технічної характеристики установок для електроіскрового нарощування (легування) класу БІГ приведені у табл. 2.1

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика установок БГ для електроіскрового відновлення [11]

	БГ-1М	БГ-4	БГ-5
Комплектність	генератор, вібратор		
Напруга живлення (+10%) при частоті 50 Гц	220В		
Потужність, кВт	0,25	0,5	0,5
Кількість електричних режимів	35	35	70
Максимальна енергія імпульсів, Дж	3,15	5	10
Частота імпульсів, Гц	10-3200	12-3000	5-1600
Частота вібрації електроду, Гц			
Товщина покриття (мм) при контактній суцільності 15-30% Твердим сплавом Т15К6 /сталлю ШХ15/ бронзою БрКМц 3-1	0,01- 0,2/0,01-1,3/ 0,01-1.4	0,01-0,4/0,01- 2,2/ 0,03-2.3	0,01- 0,5/0,01-87/ 0,05-2.7
Висота мікронерівностей Ra(мкм) твердим сплавом Т15К6	2,5-20	2.5-50	2,0-60
Максимальна продуктивність нанесення покриття без пропусків, см <sup>2</sup> /хв.	6	10	12
Габаритні розміри генератора, см	130x300x210	170x430x250	160x320x360
Маса генератора, кг	7	14	14
Режим роботи	Ручний та механізований. Можуть працювати у механічному режимі при додатковому комплектуванні механічними пристосуваннями		

### 2.2.3 Методика визначення міцності зчеплення нарощеного шару з основою

Важливою умовою ремонту блоку циліндрів, а саме, ліжок блоків є міцність зчеплення покриття з основою. Існує дуже багато різноманітних факторів, що впливають на міцність або, іноді, унеможлиблює з'єднання деталей [15,16].

Найбільшим впливом вважаються залишкові напруження, котрі виникають в металі та чинять тиск на шар покриття з основним металом – при високих значеннях напружень відбувається мимовільне відшарування або тріщини в покриттях.

Для визначення міцності з'єднання шару покриття з основним металом використовується декілька різних методів:

- штифтовий метод;
- клейовий метод відриву.

У штифтовому методі використовується шайба, як зразок, в отвір якої встановлюється циліндричний штифт (торцева частина має бути в рівень з площиною підставки шайби). Потім на загальну поверхню штифта і шайби наноситься покриття. Перевірка на міцність проводиться витягуванням штифта із записом зусилля. Після відриву штифта від покриття визначають відношення максимального навантаження до площі торця штифта й таким чином отримують кількісну характеристику міцності з'єднання покриття з основою.

Даний спосіб має один головний недолік – навіть при високій точності кінчної посадки між поверхнею штифта і основою утворюється вільна ділянка, на якій концентруються напруження.

Під час використання клейового способу – торцева поверхня циліндричного зразку піддається попередній обробці, покривається необхідним покриттям (товщина не менше 0,25 мм), до поверхні якого приклеюється інший циліндричний зразок (діаметр зразків має бути однаковим). Потім проводиться випробування на відрив. Міцність з'єднання визначається як частка відокремлення руйнівного навантаження на площу торцевої поверхні.

Основним недоліком цього способу є можливість застосування лише для покриттів, міцність з'єднання з основою яких, не перевищує міцність клею.

При використанні для відновлення зношених посадочних місць ліжок блоку циліндрів електроіскрового методу міцність зчеплення нарощеного шару з основою можна оцінити не по загальноприйнятій методиці, а по методиці, яку розробили у своїх роботах А.П. Гуляєв та Н.Т. Гудцов [27, 28]. Суть методики: при нанесенні відбитку алмазним індентором приладу ПМТ-3, в область перехідної зони при недостатньому рівні міцності зчеплення за рахунок внутрішніх напружень відбувається розклинювання від кінців відбитка. При цьому виникає тріщина, за величиною якої можливо оцінити граничну міцність зчеплення ( $\sigma$ ). Для розрахунку використовується формула:

$$\sigma = H \left( \frac{d}{l} \right)^2, \quad (2.1)$$

де  $H$  – рівень мікротвердості,  $H$ ;

$d$  – довжина діагоналі відбитка, мм;

$l$  – довжина тріщини, мм.

У випадку, якщо руйнування шару, тобто, відшаровування нанесеного електроіскровим нарощуванням шару від основного матеріалу на відбувається, то міцність зчеплення буде не менше, ніж:

$$\sigma = 2 \frac{P}{d^2} \quad (2.2)$$

Оцінку рівня міцності зчеплення доцільно проводити при навантаженні на індентор приладу ПМТ- 3,  $P=50$ .

#### **2.2.4 Методика дослідження мікроструктури зразків та мікротвердості**

При проведенні експериментів по електроіскровому відновлюванню нам потрібно дати оцінку мікроструктури з метою описання механізму формування шару.

Мікроаналіз – це дослідження внутрішньої будови металів та сплавів. Для цього дослідження використовується оптичний мікроскоп, який збільшує у 50 – 2000 разів.

Виготовлення зразків для вивчення мікроструктури здійснювали з ділянок оброблених зразків площею поверхні 3-6 см<sup>2</sup>, заввишки 2 см. Вони повинні включати нарощені площини, перехідну зону і основний метал.

Приготування шліфів виконували за методикам, широко висвітленим в літературі [28]. В якості реактиву для травлення поверхні зразків використали 2 -5% розчин азотної кислоти в етиловому спирті. Виготовлення та підготовка мікрошліфу до дослідження включає наступні операції – обрізання, торцювання, шліфування та полірування заготовки.



Рисунок 2.5– Вимірювання мікротвердості на мікротвердомірі ПМТ -3:

Мікротвердість виміряли в перерізі, поперечному напрямку електроіскрового нарощування. Вимірювання у відповідності до ГОСТ 6996-96 проводили по двох суцільних лініях на відстані близько 3 мм від краю поверхні [27].

Випробування мікротвердості проводять на приладі ПМТ-3 (рис. 2.5).

### **2.2.5 Методика проведення порівняльних випробувань на знос**

Оцінка зносостійкості відновлених деталей проводилась з відповідністю до ДСТУ 2860-94 (Надійність техніки), ДСТУ 2823-94 (Зносостійкість виробів тертя, зношування та мащення), ГОСТ 23.224 – 86 [27]. Даний стандарт розповсюджується на відновлені деталі рухомих з'єднань, що мають постійне спрацювання під час експлуатації.

Для досліджень на зносостійкість використали машину тертя МІ-1М (рис.2.7). Схема проведення дослідів - «колодка - ролик». Відповідно до умов роботи пари , було обрано режими випробувань:

- частота обертання ролика  $n = 500 \text{ хв}^{-1}$  ;
- сила навантаження  $P = 560\text{Н}$ .

Роликові надавалася обертальна швидкість  $500 \text{ хв}^{-1}$  і після цього здійснювався контакт з колодкою під навантаженням  $560\text{Н}$ . За вимогами ГОСТів зразки притиралися, промивалися, просушувалися, важилися. Також відслідковувався шлях тертя – за кількістю обертів на лічильнику машини тертя.

Величину зносу визначали за величиною різниць мас до та після випробувань на аналітичних вагах ВЛА – 200М (похибка  $\leq 0,002\text{г}$ ) та проводили у два етапи :

1. після завершення припрацювання;
2. після завершення кожного випробування.



Рисунок 2.6 - Машина тертя МІ-1М, аналітичні ваги ВЛА – 200М



Рисунок 2.7 – Встановлення дослідних зразків на машину тертя МІ-1М

### **2.3 Математична обробка експериментальних даних**

Результати експериментальних даних визначення мікротвердості нових та зміцнених ліжок блоків циліндрів, оброблялись згідно методики [26]. По результатах вимірювань були визначені теоретичні значення мікротвердості по довжині робочої поверхні. Необхідно здійснити вирівнювання емпіричного розподілу по прийнятому теоретичному закону, а також порівняння емпіричних і теоретичних функцій по критерію узгодження Пірсона.

### **2.4 Методика експлуатаційних випробувань**

Дослідження зносостійкості відновлених поверхонь проводили на партії блоків циліндрів автомобілів, усі зношені поверхні ліжок яких були відновлені електроіскровим легуванням (нарощування). Цей метод випробувань, за даними роботи [26], дозволяє одержати достовірні і порівнювані результати. Двигуни з блоками циліндрів маркували й експлуатували в умовах Гоголівського управління технологичного транспорту, смт Гоголеве Великобагачанського району Полтавської області.

### **Висновки**

1) Розроблена методика досліджень, що включає проведення експериментів по оцінці структури та властивостей покриттів з урахуванням матеріалу і параметрів процесу електроіскрового легування.

2) Запропоновано послідовність проведення досліджень задля вирішення поставлених задач.

3) На основі аналізу умов експлуатації блоків циліндрів, вимог до якості базових поверхонь, підібрано методи оцінки якості нарощуваного шару металу, запропоновані методи оцінки покриття на міцність зчеплення.

4) Підібрано методи оцінки якості відновлення з використанням сучасних методів досліджень: металографічного, оцінки мікротвердості.

### **3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

#### **3.1 Визначення величини зносу робочих поверхонь ліжок колінчастого валу (блоку циліндрів)**

Для вимірювання величини зносу ліжок блоку циліндрів двигуна використовували спеціальне пристосування. Пристосування базувалося по торцевій поверхні отворів корінних шийок з допомогою самоцентруючих конусних шайб.

Вимірювання проводили з допомогою індикатора годинникового типу, ціна поділки якого 1 мкм. Індикатор кріпили на втулці, яка має можливість переміщатися по валу, вздовж вісі, що вимірюється.

Вимірювання проводились наступним чином: виставляли індикатор на нуль з натягом; переміщали втулку вздовж вимірюваної вісі, фіксуючи показання приладу на кожній опорі, потім, повертаючи вал з втулкою на 45 градусів, повторювали вимірювання, визначали відхилення від номінального розміру по двох поясах в чотирьох площинах. При відхиленні розмірів більше, ніж на 0,03 мм блок направляли на відновлення.

Щоб уникнути зміщення втулки з вимірювальним інструментом рл діаметру вала отфрезерован паз, в який входить центруючий гвинт, закріплений у втулці.

#### **3.2 Обґрунтування вибору технологічного обладнання**

Експерименти проводилися на експериментальній установці, основним технологічним вузлом ми обрали установку для електроіскрового нарощування БІГ - 4. Параметри технічної характеристики установки для електроіскрового відновлення приведені у таблиці 3.1.

Основні технологічні параметри електроіскрової обробки: кількість дотиків електродами поверхні відновлювальної деталі; висота мікронерівностей; параметри одичної лунки (радіус, крок нерівностей, радіус округлення западин, що формуються); коефіцієнт суцільності покриття, а також

режими процесу: частоту обертання деталі, поздовжня подача, продуктивність процесу.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика установки БГ-4 [11]

	БГ-4
Комплектність	генератор, вібратор
Напруга живлення (+-10%) при частоті 50 Гц	220В
Потужність, кВт	0,5
Кількість електричних режимів	35
Максимальна енергія імпульсів, Дж	5
Частота імпульсів, Гц	12-3000
Частота вібрації електроду, Гц	
Товщина покриття (мм) при контактній суцільності 15-30% Твердим сплавом Т15К6 /сталлю ШХ15/ бронзою БрКМц 3-1	0,01-0,4/0,01-2,2/ 0,03-2.3
Висота мікронерівностей Ra(мкм) твердим сплавом Т15К6	2.5-50
Максимальна продуктивність нанесення покриття без пропусків, см <sup>2</sup> /хв.	10
Габаритні розміри генератора, см	170x430x250
Маса генератора, кг	14
Режим роботи	Ручний та механізований.

### 3.2 Вибір матеріалу електрода

Матеріали, які використовуються для виготовлення деталей, визначають їх технологічність при виробництві, надійність в експлуатації, економічність і ремонтпридатність. Від матеріалу деталей машин і способів їх виробництва значною мірою залежать вибір методу і технології нанесення покриття, марки наплавлювальних матеріалів електродів і порошоків [16,18, 19, 21].

Вибір електродного матеріалу [16, 19] визначається на фізико-механічними властивостями матеріалу деталі, яка відновлюється та умовами її експлуатації.

Хімічний склад анода визначає експлуатаційні показники: рівень фізико-механічних властивостей, зносостійкість, схильність до викришування, міцність зчеплення нанесеного шару з металом відновленої деталі.

### 3.3.1 Дослідження взаємозв'язку сумарного приросту катода – деталі від енергії імпульсу обробки і матеріалу аноду - електрода

Досліджуємо взаємозв'язок сумарного приросту катода – деталі від енергії імпульсу обробки і матеріалу аноду - електрода. Для досліджень обрано сплави на основі заліза з різним вмістом вуглецю та хрому (табл. 3.2)

Обробку проводили по двох режимах:  $E = 0,9 \text{ Дж}$ ;  $E = 3,4 \text{ Дж}$ . Встановлено, що із підвищенням енергії імпульсів від  $E_1$  до  $E_2$  приріст катода  $\sum_{i=1}^n \Delta k$  збільшується для всіх матеріалів (табл. 3.3).

Сумарна ерозія анода  $\sum_{i=1}^n \Delta a$  і приріст катода  $\sum_{i=1}^n \Delta k$  при електроерозійній обробці мають тенденцію до підвищення у матеріалах, у яких температура плавлення нижча (температура обробки вище), і більше інтенсифікуються процеси дифузії. В низьковуглецевих сталях найнижчі, у середньовуглецевих вище і найбільш високі показники відповідають чавунам. Ріст цих показників найбільш суттєвий при мінімальних значеннях енергії імпульсу  $E = 0,9 \text{ Дж}$ . В цьому випадку у прогрівання відновлюваного шару при обробці значний вклад вносить температура плавлення оброблюваного матеріалу.

Таблиця 3.2 - Сумарна ерозія анода і приріст катода при електроіскровій обробці конструкційних матеріалів електродом з вмістом 17,0% Cr и 1,0% C (сплав 100X17) при трьох проходах ( $n=3$ )

Матеріал катода	Приріст катода, $\sum_{i=1}^n \Delta k_i, \text{ г/мм}^2$	Ерозія анода, $\sum_{i=1}^n \Delta a_i, \text{ г/мм}^2$	Енергія імпульсу, E, Дж
Вуглецеві сталі			
Ст 3	0,5	1,5	0,9
	1,2	3,0	3,4
Сталь 45	0,5	1,5	0,9
	1,2	3,0	3,4
Сталь 40X	0,6	1,5	0,9
	1,2	3,0	3,4
Чавуни			
Сірий чавун	0,6	1,8	0,9
	1,3	3,2	3,4
Легований чавун	0,6	1,9	0,9
	1,3	3,2	3,4

При цьому підвищення  $\sum_{i=1}^n \Delta a_i$  не перевищує 20%, а – величини  $\sum_{i=1}^n \Delta k_i$  досягає майже 36%. Обробка с енергією імпульса  $E=3,4$ Дж менше впливає на  $\sum_{i=1}^n \Delta a_i$  (підвищення не перевищує 8,3%) і  $\sum_{i=1}^n \Delta k_i$  (підвищення не перевищує 10,3%) при використанні різних матеріалів. Із підвищенням енергії імпульсу від 0,9 до 3,4Дж. Приріст катода  $\sum_{i=1}^n \Delta k_i$  в залежності від матеріалу зростає в 2,0–2,4 рази, ерозія анода  $\sum_{i=1}^n \Delta a$  в 1,68–2,07 рази.

Найбільша якість нарощеного шару досягається при умові, коли застосовуються матеріали для анода і катода, коефіцієнти лінійного розширення яких рівні.

Як показали експериментальні дослідження і результати аналізу апріорної інформації [9, 12, 17], найбільше підвищення зносостійкості досягається при нанесенні покриттів з легованих матеріалів. Анод з таких матеріалів характеризується і підвищеною ерозійною стійкістю. Тому доцільно оцінити ефективність і якість покриттів з хромистих сплавів. Для досліджень ми обрали як анод леговані сплави, які можуть забезпечити високу зносостійкість (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 - Склад хромистих сплавів, використаних в якості анода

Номер сплаву	Склад компонентів, %	
	С	Cr
1	2,5	30,0
2	0,5	10,0
3	2,5	10,0
4	0,5	30,0
5	0,5	15,7
6	1,0	17,3
7	1,5	20,0
8	2,0	20,0
9	1,5	10,0
10	1,5	30,0
11	1,5	15,7
12	1,0	30,0

Хромисті сплави відрізняються вмістом хрому і вуглецю. Такий набір матеріалів вибирається для того, щоб оцінити роль карбідоутворення, можливість формування різних зміцнюючих фаз при формуванні покриттів.

### Вивчення явища масопереносу

Для вивчення явища масопереносу і зв'язку між параметрами були визначені залежності сумарної ерозії анода -  $\sum_{i=1}^n \Delta a$  і приросту катода -  $\sum_{i=1}^n \Delta k_i$  після електроіскрової обробки. Залежності, які були отримані нами, приведені на рис. 3.1 і 3.2.

При фіксованому значенні вмісту вуглецю, 1,5%, отримали залежність - (рис. 3.1), із збільшенням енергії імпульсу при обробці приріст катода суттєво зростає, але це більш характерно для матеріалів с незначною концентрацією хрому. При фіксованому значенні хрому, 30,0% (рис. 3.2) і з різним вмістом вуглецю із підвищенням енергії імпульсу обробки зростають приріст катода і ерозія анода (рис. 3.1). Ерозія анода і приріст катода зростають із підвищенням концентрації вуглецю при рівних значеннях кількості проходів електрода і енергії імпульсу обробки.

З підвищенням концентрації вуглецю зростає частка крихкої карбідної фази, що сприяє інтенсивному росту ерозії анода [19]. Результати цих досліджень підтверджують, що і у цьому випадку масоперенос металу з анода на катод визначається матеріалом анода, числом проходів електрода і енергією імпульсу.

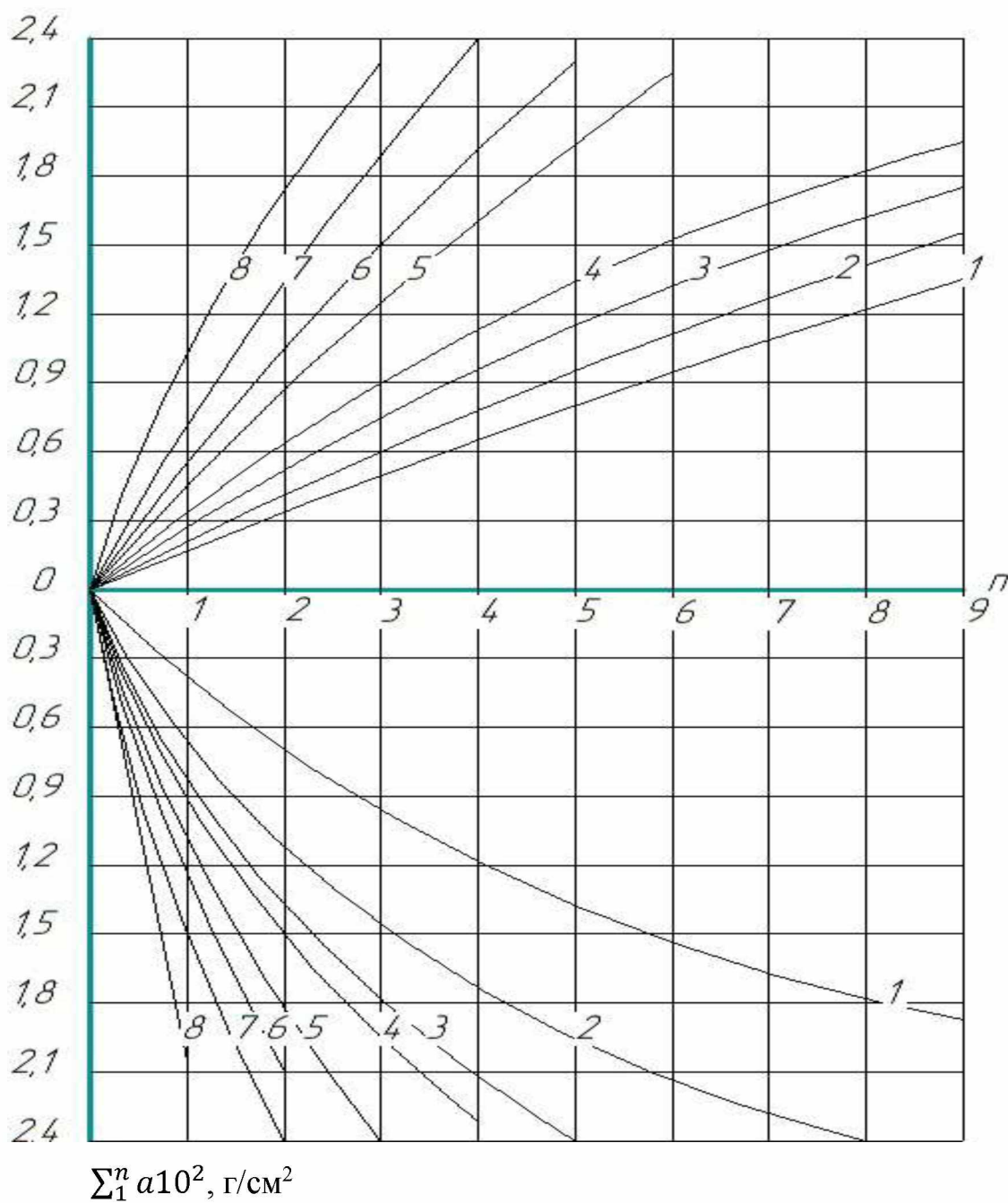


Рисунок 3.1 - Зміна масопереносу при фіксованій концентрації вуглецю (1,5%) та з різним вмістом хрому: 1, 3, 5, 7 - при  $E=0,9$ Дж; 2, 4, 6, 8- при  $E=3,4$ Дж; зразок 10- криві 1, 2 (30% Cr); зразок 7- криві 3, 4 (20% Cr); зразок 11- криві 5, 6 (15% Cr); зразок 9- криві 7, 8 (10% Cr).

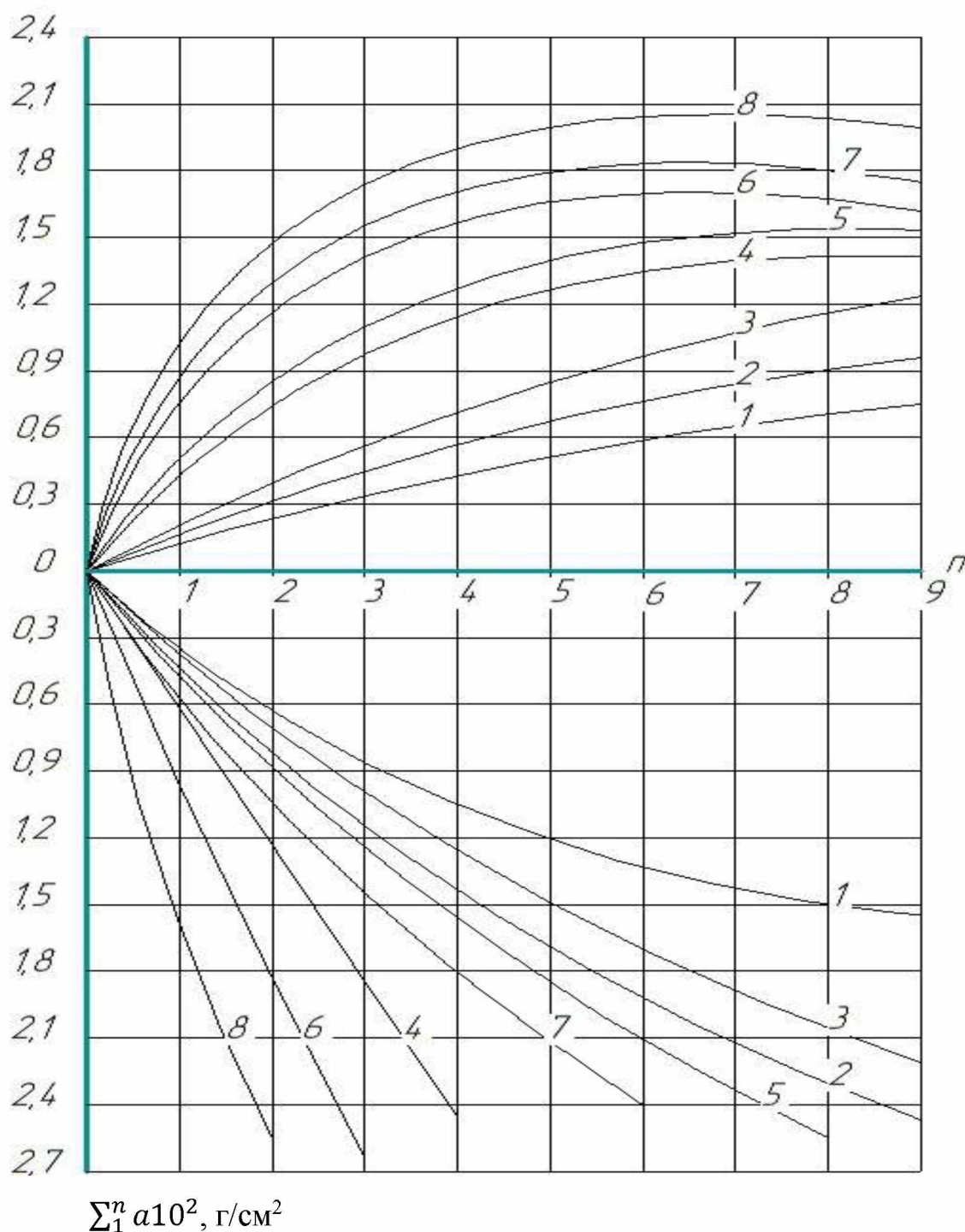


Рисунок 3.2 - Зміна масопереносу при фіксованій концентрації хрому (30,0%) та при різній концентрації вуглецю: 1, 3, 5, 7- при  $E=0,9\text{Дж.}$ ; 2, 4, 6, 8- при  $E=3,4\text{Дж.}$ ; зразок 4 - криві 1, 2; зразок 12 - криві 3, 4; зразок 10 - криві 5, 6; зразок 1 - криві 7, 8.

Із збільшенням концентрації вуглецю зростає доля крихкої карбідної фази, що сприяє інтенсивному росту ерозії анода [16, 19]. На основі цих досліджень підтверджується, що і в цьому випадку масоперенос металу з аноду

на катод визначається матеріалом анода, числом проходів електрода і енергією імпульсу.

Для встановлення залежності впливу цих факторів використали метод планування експерименту

Основні чинники: концентрація вуглецю - ( $X_1$ ) і хрому - ( $X_2$ ) в металі анода; енергія імпульсу,  $E_{\text{и}}$  - ( $X_3$ ) та кількість проходів електрода при обробці,  $n$  - ( $X_4$ ).

При розробці параметрів режиму технології, важливо знати не тільки вплив кожного чинника окремо, але і сумісну їх дію [19, 25]. Відомо, що у ряді випадків взаємний вплив може виявитися більш значущим, ніж роль кожного чинника окремо. Для встановлення залежності впливу пропонованих чинників використовується метод планування експерименту -  $2^4$ .

Кожному чиннику привласнюється два кодовані значення:

- +1 - вміст вуглецю в матеріалі анода на верхній межі (2,8% C);
- 1 - вміст вуглецю в матеріалі анода на нижній межі (1,5% C);
- +1 - вміст хрому в матеріалі анода на верхній межі (30% Cr);
- 1 - вміст хрому в матеріалі анода на нижній межі (5,0% Cr);
- +1 - обробка з енергією імпульсу на верхній межі ( $E_2=3,5$ дж);
- 1 - обробка з енергією імпульсу на нижній межі ( $E_1=0,9$ дж);
- +1 - при нанесенні покриття використовували 6 проходів електрода;
- 1 - при нанесенні покриття використовували один прохід електрода.

Для розрахунку математичної моделі (1) як параметр оптимізації прийнятий приріст катода  $\Sigma \Delta k(Y)$ , г/см<sup>2</sup>.

Отримана математична модель має вигляд:

$$\begin{aligned}
 Y = & 0,84 - 0,38X_1 - 0,18X_2 + 0,83X_3 + 0,73X_4 - 0,48X_1X_3 - \\
 & - 0,33X_2X_3 + 0,32X_4X_3 - 0,12X_1X_4 - 0,12X_2X_4 + 0,62X_1X_2X_3 + \\
 & + 0,52X_1X_2X_4 - 0,48X_1X_3X_4 - 0,28X_2X_3X_4 + 0,28X_1X_2X_3X_4
 \end{aligned} \quad (3.1)$$

Перевірка поліноміальної моделі показала, що вона адекватна. Максимальний приріст катода досягається при енергії імпульсу і числі проходів на верхній межі значень, а також при концентрації вуглецю і хрому в аноді на -

нижньому. При аналізі парних взаємодій видно, що вуглець і хром не мають впливу на приріст катода, проте їх роль є значною при сумісній взаємодії з технологічними параметрами обробки -  $E$  і  $n$ . Тоді знижується значимість концентрації цих хімічних елементів. Отже, може бути ефективним використання не тільки хромистих сплавів, що містять вуглець і хром, а також і ферохрому.

Якість і властивості покриття визначаються не тільки масопереносом, але і структурою, фазовим складом, а також рівнем внутрішніх напружень, щільністю (пористістю) та наявністю дефектів – мікротріщин.

### 3.3.3 Визначення оптимальної кількості проходів електроду

Важливе значення у формуванні якості нарощеного шару відіграє кількість проходів електроду.

У роботах [16, 19, 22] приведена закономірність, яка свідчить про те, що із збільшенням кількості проходів електроду зростає мікропористість покриття. А при 1-3 проходах електроду формується дисперсна структура на основі хімічних елементів катода і анода.

При збільшенні числа проходів електроду частка хімічних елементів катода в шарі практично відсутня. А починають кристалізуватися оксидні фази, та зростає кількість скоагульованих і відокремлених карбідних включень (рис. 3), що пов'язано із збільшенням у шарі частки карбідоутворюючого елементу анода і зменшенням матричної фази катода.

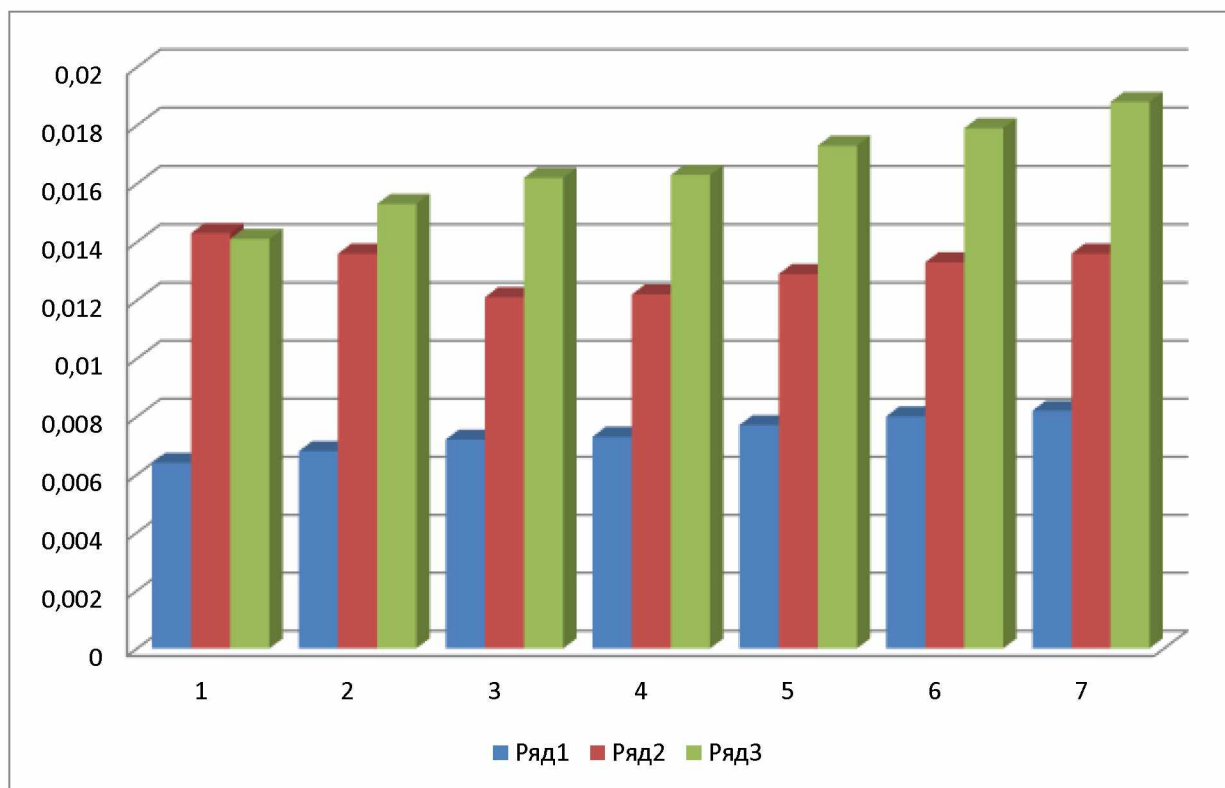
Ріст мікропор, кількості оксидних фаз на поверхні шару особливо чітко спостерігається після трьох проходів при  $E = 3,4$  Дж. В цьому випадку за рахунок розкладу оксидних фаз при наступних проходах електроду формуються пори, що спричиняє крихкість покриття.

$$\sum \Delta k = 1.11 \frac{\sqrt{C \cdot E_u}}{C r^2} \cdot n - 0.02 \frac{E_u \cdot \sqrt{C}}{C_r} \cdot n^2, \quad (3.2)$$

де  $C$ ,  $C_{г}$  - відповідно вміст вуглецю і хрому в матеріалі електроду, мас.%;

$n$  - кількість проходів електрода:

$E_{и}$  - енергія імпульсу обробки, Дж.



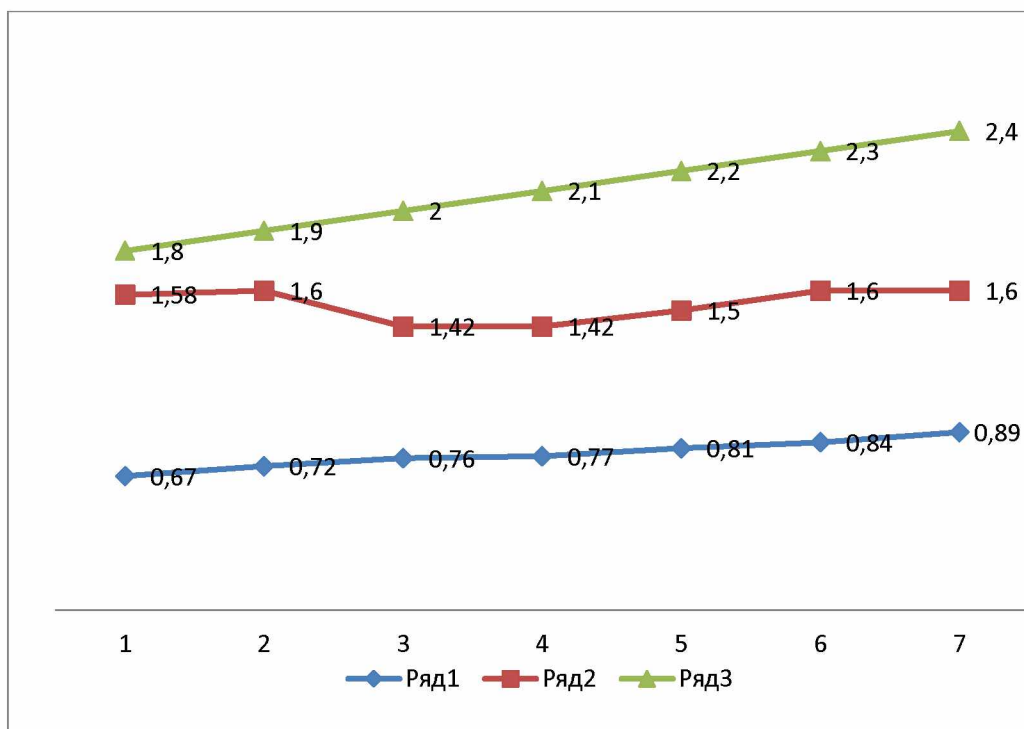
Ряд1 – відповідає 1проходу електроду, ряд 2 – відповідає 2 проходам електроду, ряд 3 – 3 проходам електроду; 1 – 1,5%С, 2 – 1,7%С, 3 – 1,9%С, 4 – 2%С, 5 – 2,2%С, 6 – 2,4%С, 7 – 2,5%С.

Рисунок 3.3 – Залежність зміни сумарного приросту катода від концентрації вуглецю та кількості проходів (енергія імпульсів,  $E_{и}=0,22$ Дж)

### 3.3.4 Оцінка товщини шару

Величина сумарного приросту катода  $\sum \Delta k$  (Y), дозволяє оцінити товщину шару  $h$ , що наноситься на поверхню деталі [19]:

$$h = \frac{\beta \cdot \sum \Delta k}{\rho}, \quad (3.3)$$



Ряд1 – товщина покриття,  $h$  за 1прохід електрода, ряд 2 – товщина покриття  $h$  за 2 проходи електрода, ряд 3 – товщина покриття  $h$  за 3 проходи електрода

Рисунок 3.4 – Зміна товщини  $h$  нанесеного шару покриття

Проведені дослідження (рис. 3.3 і 3.4) показують, що використання як електродів матеріалів з вмістом вуглецю 1,5-2,5% і хрому 10,0-15,0% не доцільно виконувати більше 3 проходів. Тоді забезпечується достатній приріст катода.

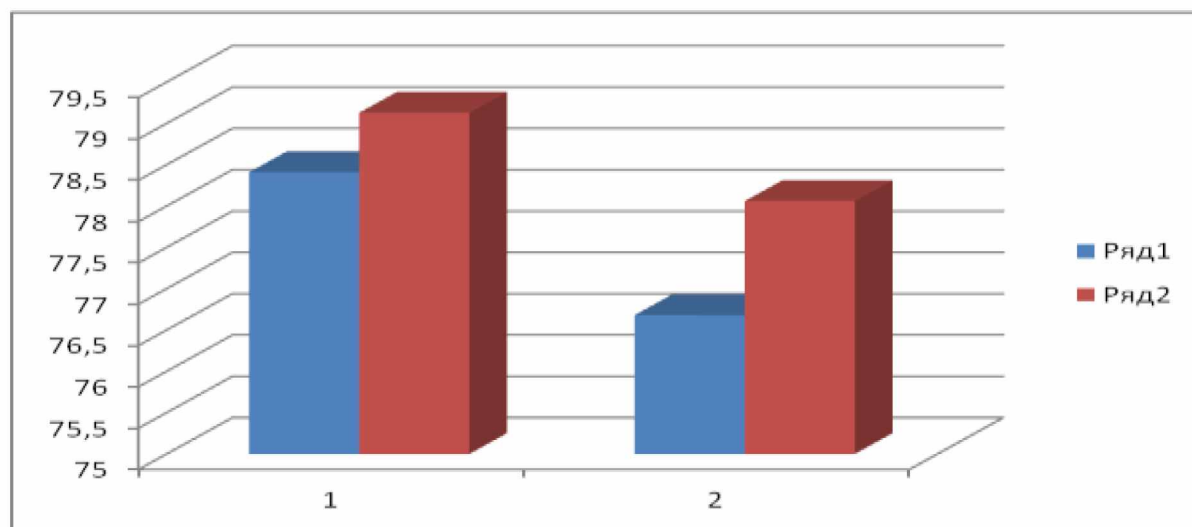
### 3.3 Випробування на зносостійкість

**Випробування на зносостійкість** зразків з нанесеним покриттям і без нього показують, що в нелегованих вуглецевих матеріалах втрата ваги практично не відрізняється від початкових зразків (за винятком сірого чавуну, який при обробці вибілюється). Найбільш висока зносостійкість в покритті досягається при використанні як анод високовуглецевих або низьковуглецевих легованих матеріалів. У табл. 3.3 приведені результати випробувань на знос.

Таблиця 3.3 - Результати випробування зразків з покриттям на зносостійкість

Матеріал покриття	Матеріал покриття	Маса зразка, г		Зміна маси, г	Величина зносу порівняно зі сталлю Ст.3
		початкова	кінцева		
Сталь 40Х	30Х13	78,41	76,68	1,43	0,58
	150Х30	78,55	76,89	1,66	0,63
Чавун сірий	30Х13	79,13	78,06	1,07	0,44
	150Х30	78,94	77,81	1,13	0,43

З аналізу приведених експериментальних даних видно, що при нанесенні покриттів на сталі Ст.3, 40Х та сірий чавун доцільно використовувати як анод леговані матеріали, особливо з підвищеним вмістом хрому, які крім збільшення зносостійкості забезпечують і високі показники жаростійкості і корозійної стійкості, малу схильність до графітизації і пошкоджуваності.



Ряд 1 – початкова маса зразка; ряд 2- кінцева маса зразка

Рисунок 3.5 – Зміна маси зразків: 1 – нарощеного електродом 30Х13; 2 – 150Х30

Виходячи з даних (табл. 3.4) та аналізуючи діаграми (рис. 3.5) бачимо, що середня зносостійкість по втраті ваги зразків, більш висока зразків, на які нанесено покриття електродами 150Х30. Підвищений вміст хрому крім підвищення зносостійкості забезпечує ще і жаростійкість і корозійну стійкість, знижує схильність до графітизації і крихкості [36].

### 3.4 Оцінка зчеплення нарощеного шару з основним матеріалом

Міцність зчеплення нарощеного шару з основним ми оцінювали за методикою, розробленою А.П. Гуляєвим та Н.Т. Гудцовим [28]. Оцінку рівня міцності зчеплення проводили при навантаженні на індентор  $P=50$ .

Так як у нас відшаровування нанесеного електроіскровим нарощуванням шару від основного матеріалу не відбувається, то міцність зчеплення буде не менше, ніж значення, підраховане за формулою:

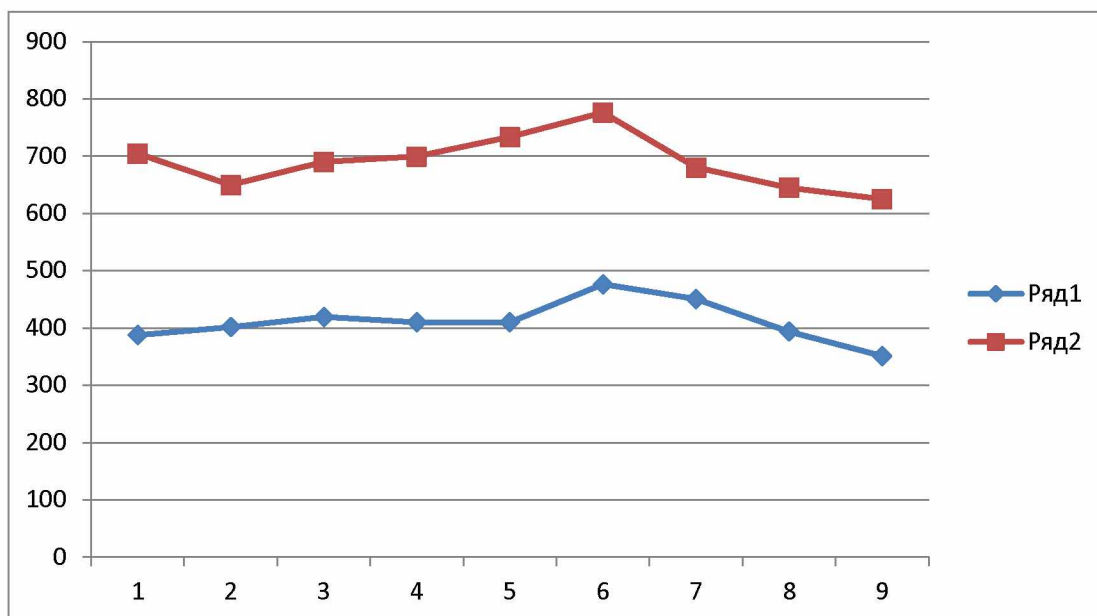
$$\sigma = 2 \frac{P}{d^2}, \quad (3.4)$$

Оцінюємо міцність зчеплення за формулою (3.11). Значення міцності зчеплення нарощеного шару з основним металом приведені у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Значення міцності зчеплення нарощеного шару з основним металом

Електроіскрове нарощування електродом 30X13	довжина діагоналі відбитка індентора								
	0,508	0,499	0,483	0,494	0,494	0,459	0,471	0,504	0,534
	міцність зчеплення нарощеного шару з основним металом								
	387,4	401,6	419,2	409,8	409,8	476,2	450,5	393,7	350,8
Електроіскрове нарощування електродом 150X30	довжина діагоналі відбитка індентора								
	0,377	0,393	0,393	0,379	0,378	0,347	0,384	0,388	0,400
	міцність зчеплення нарощеного шару з основним металом								
	704,2	649,4	689,7	699,3	833,3	476,2	680,3	644,6	625,0

На рисунку 3.6 показані графіки рівня міцності зчеплення нарощеного шару з основою.



електроіскрове нарощування електродом 150X30

Рисунок 3.6 - Графіки рівня міцності зчеплення нарощеного шару з основою.

Отже, результати випробувань свідчать про те, що найвищу міцність зчеплення покриття з основою мають зразки після електроіскрового нарощування електродом 150X30

### 3.6 Дослідження мікроструктури та твердості покриття

Мікроструктуру нарощених зразків досліджували після травлення 4% розчином азотної кислоти в етиловому спирті [27, 28]. У випадку нарощування електродами із сплаву 150X30 (15%С і 30,0%Cr) формується голчаста мартенситна структура (рис.3.7) з дрібним зерном.

Нарощений шар являє собою не витравлену структуру, в якій проглядаються тонкі білі зони у вигляді ліній (товщиною 0,33-1,67мкм), що належать карбідній фазі. Ці лінії утворюють структуру, яка складається з кількох невеликих шарів.

При формуванні шару з числом проходів більше трьох виявляється

кристалізація неоднорідної структури. Особливо добре це видно після травлення зразків (рис. 3.8).



Рисунок 3.7 - Фото зміцненого шару чавунного зразка електроіскровим методом (x100 )



Рисунок 3.8 - Поверхневий шар зразків оброблених електродом із сплаву 150X30: а - 1 прохід електроду; б - 3 проходи електроду.

Мікротвердість  $H_m$  зразків визначали за допомогою приладу ПМТ-3 при навантаженні на індентор  $P=50\text{г}$ . [28] Середнє значення  $H_m$  для кожної точки обчислювали на підставі 5 вимірювань; середньоквадратичне відхилення складало  $\pm(20\text{...}30)$  од. На рисунках 3.9 і 3.10 приведені криві зміни твердості по відстані від нарощеного шару.

Аналізуючи рівень зміни твердості, зона термічного впливу незначно змінюється. У обох випадках по показниках твердості вона наближена до нарощеного шару.

Електроіскрове нарощування електродами 30X13 суттєвого впливу на підвищення твердості нарощеної поверхні не мала – підвищення незначне близько 400Н порівняно з твердістю основного металу. При нарощуванні

електродами із сплаву 150X30 твердість підвищується у 2,2 рази у порівнянні з твердістю основного металу.

### **Висновки**

В результаті проведених дослідів:

1). розроблена математична модель, що описує вплив основних параметрів обробки і вмісту найбільш значущих компонентів, - вуглецю і хрому на якість нарощуваного шару електроіскровою обробкою;

2). підтверджується що масоперенос металу з анода на катод визначається матеріалом анода, кількістю проходів електрода та енергією імпульсу;

3). при нарощуванні електродами із сплаву 1,5%С і 30,0%Cr (150X30) твердість підвищується у 2,2 рази у порівнянні з твердістю основного металу;

4). найбільш висока зносостійкість в покритті досягається при використанні анодів з високовуглецевих легованих хромом матеріалів;

5). міцність зчеплення забезпечується на рівні від 350 МПа до 644 МПа.

Тому, розробка технології відновлення конкретних зношених деталей сільськогосподарської техніки методом електроіскрового легування, є актуальною задачею, яка вимагає проведення подальших досліджень по застосуванню електродних матеріалів та параметрів режимів процесу.

## **4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК**

### **4.1 Екологічна експертиза**

Одним з найважливіших питань сьогодення є охорона навколишнього середовища. Наше суспільство тільки почало виходити на той рівень оберігання природи, який був необхідний ще декілька десятків років тому. Але завдяки науково - технічному розвитку - рухаємося швидкими темпами впроваджуючи наукові новинки в усі галузі життя.

Згідно із Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища» (6 розділ, 26 стаття) має обов'язково проводитися екологічна експертиза у господарських, управлінських, законотворчих процесах та інших видах діяльності, котрі впливають на стан оточуючого середовища. Також мають бути перевірені всі будівельні проекти та об'єкти, включно з об'єктами, що проходять реконструкцію та модернізацію [31].

В Україні діє закон «Про екологічну експертизу» від 09.02.1995р.

Екологічна експертиза - це комплекс заходів, досліджень, санітарно-епідеміологічних експертиз, спрямованих на забезпечення підтримання екології і навколишнього середовища в доброму стані.

Метою екологічної експертизи є запобігання шкідливому впливу антропогенної діяльності на загальний стан навколишнього середовища і здоров'я людей; оцінка екологічної ситуації на окремих об'єктах та територіях і ступеню екологічної безпеки господарської діяльності.

Головними завданнями екологічної експертизи є:

- 1) Оцінка впливу діяльності об'єктів екологічної експертизи на стан навколишнього середовища, здоров'я людей і якість природних ресурсів;
- 2) Визначення ступеню екологічного ризику і безпеки здійснюваної чи запланованої діяльності;
- 3) Організація комплексної, науково обґрунтованої оцінки об'єктів екологічної експертизи;
- 4) Встановлення відповідності об'єктів експертизи вимогам екологічного законодавства, санітарних та будівельних норм і правил;
- 5) Підготовка об'єктивних, всебічно обґрунтованих висновків;

б) Оцінка ефективності, повноти, обґрунтованості й достатності заходів щодо охорони навколишнього середовища і здоров'я людей.

Принципами екологічної експертизи є:

- 1) Законність;
- 2) Державне регулювання;
- 3) Гарантування безпечного навколишнього середовища для життя людей;
- 4) Збалансованість екологічних, економічних, медико – біологічних та соціальних інтересів з урахуванням громадської думки;
- 5) Екологічна безпека, територіально – галузева і економічна доцільність реалізації об'єктів екологічної експертизи , здійснюваної чи запланованої діяльності;
- б) Наукова обґрунтованість, об'єктивність незалежність, варіативність, комплексність, гласність і превентивність.

Відповідно до теми наукової роботи «Підвищення довговічності блоків циліндрів автотракторних двигунів за рахунок застосування зміцнюючої технології відновлення посадочних поверхонь » на базі СТО «Автомоторна компанія» досліджуємо головні екологічні проблеми зварювально – наплавлювального процесу, а саме виконання електроіскрового нарощування.

Наслідком технологічного процесу електроіскрового нарощування є викиди різних хімічних сполук у повітря, таких як: гази, хімічні сполуки, оксиди металів. Світлове, ультрафіолетове й інфрачервоне випромінювання також утворюється від зварювальної дуги.

Таблиця 4.1- Гранично допустимий вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони

Назва шкідливої речовини	Нормовані параметри, Мг/м <sup>3</sup>
	Допустимі
Оксид вуглецю	20,0
Двоокис азоту	5,0
Окис заліза	4,0
З'єднання марганцю	0,3
Пил, який містить кремній	1,0

Щоб уберегтися від шкідливих променів – мають бути застосовані спеціальні світлофільтри та зварювальні маски. Задля нормалізації хімічного складу повітря повинна проводитися безперервна вентиляція й постійний контроль за складом повітря на ділянці, застосовуватися засоби індивідуального захисту( або блоки подачі очищеного повітря). На ділянках з великим рівнем шуму мають бути застосовані засоби захисту органів слуху.

Кожен працівник повинен бути одягнутим у спеціальний вогнетривкий або брезентовий захисний костюм, а кожне робоче місце – обгороджене спеціальними щитами або ширмами. Постійне і вчасне проведення попередніх і періодичних медичних оглядів працівників є запорукою довголіття працівників та їхнього здоров'я.

## **4.2 Охорона праці**

### **4.2.1 Актуальність проблеми охорони праці у виробничому середовищі**

Охорона праці – важливий аспект будь якого виробництва.

Охорона праці – це система правових, соціально – економічних, організаційно – технічних, санітарно – гігієнічних та лікувально – профілактичних заходів і засобів, котрі спрямовані на збереження життя, здоров'я та працездатності кожної людини у процесі праці [29, 30].

Головною метою охорони праці є створення безпечних умов праці на кожному робочому місці, безпечне виконання будь яких робіт та правильна

експлуатація усіх робочих інструментів та обладнання. Зниження виробничого травматизму й професіональних захворювань – це також важливі складові охорони праці.

Система охорони праці в нашій державі складається із Закону України «Про охорону праці», Кодексу законів про працю України, Закону України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності», а також нормативно – правових актів, відповідних до них.

4.2.2 Організація безпечного виконання робіт відповідно до правил на всіх етапах трудових, виробничих і технологічних процесів.

У відповідності до теми кваліфікаційної роботи «Обґрунтування способів і розробка відновлення блоків циліндрів автотракторних двигунів» проводимо аналіз можливості впровадження розробок з точки зору забезпечення усіх вимог з охорони праці. Технологічний процес відновлення блоку циліндру з використанням установки для електроіскрового нарощування БІГ – 4. Впровадження плануємо в цеху ТОВ «Автомоторна компанія», яка є спеціалізованим підприємством з повним комплексом технологічного обладнання для якісного ремонту двигунів.

До виконання ремонтних робіт не допускаються особи молодші за 12 років та особи, котрі не пройшли інструктаж з техніки безпеки або не мають відповідної фахової підготовки, посвідчення зварювальника з відповідними допусками.

Кожен працівник забезпечується спецодягом: брезентовий костюм, шолом – маска зварювальника, спецвзуття, гумовий килимок, рукавиці.

Виконання робіт дозволяється виконувати у спеціально обладнаних кабінках, які обладнані приточно – витяжною вентиляцією, надійним заземленням джерела електричного струму. Усі електричні кабелі мають бути без пошкоджень ізоляції й роботи повинні проводитися не на відкритому повітрі у дощову погоду й на відстані 5м і більше від горючих матеріалів.

Будь які маніпуляції та обслуговування електрообладнання виконується лише у відповідності до «Правил технічної безпеки при експлуатації електроустановок користувачів» [29].

4.2.3 Розробка комплексу організаційних та технічних заходів з охорони праці та пожежної безпеки [30].

#### Організаційні заходи

1. Сертифікування на відповідність до вимог нормативної документації усіх послуг, котрі надаються підприємством.
2. Проведення експертизи та ліцензування на відповідність нормативним актам технічної та проектно – конструкторської документації.
3. Атестація робочих місць.
4. Оновлення стендів охорони праці на робочих місцях.
5. Застосування новітніх технологій підчас проведення інструктажу та навчання працівників.
6. Виховування у працівників робочої культури.

#### Протипожежні заходи

1. Впровадження новітньої системи попередження пожеж.
2. Встановлення новітньої автоматичної системи пожежогасіння.
3. Постійний контроль за наявністю та станом пожежного інвентарю.

#### Технічні заходи

1. Установлення захисної огорожі навколо електротрансформатора на території підприємства.
2. Обладнання додатковими джерелами освітлення всієї робочої ділянки.
3. Обладнання ділянки кондиціонерами для покращення температурного режиму.

#### Санітарно – гігієнічні заходи

1. Контроль за наявністю миючих засобів біля рукомийників.
2. Забезпечення засобами індивідуального заходу.

3. Покращення обладнання кімнати відпочинку персоналу.
4. Встановлення додаткових кондиціонерів у адміністративних приміщеннях.

### 4.3 Техніко – економічне обґрунтування розробок

Розрахунок собівартості ремонту

Собівартість – це комплексний економічний показник, який об'єднує в собі витрати матеріалізованої праці (засоби виробництва й обладнання) і витрати живої праці(заробітна плата робітників) [33].

Вона складається з прямих та непрямих (накладних) витрат. Прямими вважаються основна і додаткова заробітна плата працівників, соціальне страхування, вартість запасних частина і матеріалів.

Накладними вважаються витрати на витратні матеріали, такі як електроди, шліфувальні круги і т. д.

У таблиці 4.2 приведено дані необхідних матеріалів для виконання ремонту одного блоку циліндрів.

Таблиця 4.2 - Витрати матеріалів та ресурсів для ремонту блоку циліндрів

Необхідні ресурси (матеріали)	Діагностика		Ремонт блоку циліндрів		Шліфування відновлених поверхонь		Перевірка виконаних робіт	
	Необ- хідна. к/к	Ціна, грн	Необ- хідна к/к	Ціна, грн	Необ- хідна к/к	Ціна, грн	Необ- хідна к/к	Ціна, грн
Електроенергія, кВт	2,5	4,75	23,0	43,7	15,5	29,45	1,75	3,325
Електроди для електроіскрового наплавлення, шт.	-	-	10	450	-	-	-	-
Шліфувальний круг ПП600×25×305 ЭБ16- 25С1Б, ЭБ16-25С1К, шт.	-	-	-	-	1	60	-	-
Шліфувальний круг ПП600×25×305 КЧ16- 25С1К, КЗ16-25С1К, шт.	-	-	-	-	1	60	-	-
Разом		4,75		493,7		149,45		3,325

З таблиці 4.2 видно, що загальні витрати на матеріали склали :

- діагностика БЦ – 4,75 грн.;

- ремонт - 493,7грн.;
- шліфування відновлених поверхонь – 149,45грн.;
- перевірка виконаних робіт – 3,325 грн.

Розраховуємо кількість використаної енергії [32]:

$$N = k \times N_B = 0,55 \times 42,75 = 23,51 \text{ кВт/год}, \quad (4.1)$$

де  $k$  – коефіцієнт одночасної роботи технологічного обладнання,

$N_B$  - загальна витрата електроенергії кВт/год.

Витрати на електроенергію:

$$1,89 \times 23 = 43,7 \frac{\text{грн}}{\text{кВт/год}}$$

Обладнання працюватиме 8 годин на добу.

Витрати електроенергії за добу:

$$V_{e.d.} = 43,7 \times 8 = 349,6 \text{ грн.}$$

Витрати за рік :

$$V_{e.p.} = 349,6 \times 253 = 88,449 \text{ грн.}$$

Визначаємо потребу та розрахунок оплати персоналу на 2021 рік.

Таблиця 4.3 - Розрахунок оплати персоналу.

Фах працівника	К/к працівників	Оплата праці, грн		
		За місяць	За рік	Питома вага, %
Наплавлювальник (зварювальник)	1	7500	90000	31,81
Шліфувальник	1	15000	180000	36,37
Контролер - діагност	1	7500	90000	31,81
Разом	3	30000	360000	100,0

Прийmemo, що діагностика – 2 година; електроіскрове наплавлення – 3 години; шліфування 4 години. Заробітна плата в цьому випадку :  $187,5 + 562,5 + 375 = 1125$  грн.

Собівартість ремонту БЦ визначаємо за формулою:

$$C = O_n + H, \text{ грн.}, \quad (4.2)$$

де  $O_n$  - заробітна плата, грн.,

$H$  – накладні витрати, грн.

Накладні витрати: електроди для наплавлення - 450 грн.; шліфувальні круги - 120 грн.

Отримані результати вартості витрачених матеріалів та наданих послуг приводимо в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Розрахунок собівартості ремонту БЦ

Найменування статті витрат	Ремонт блоку циліндрів
Електроенергія, грн	349,6
Оплата праці, грн	1125
Вартість витрачених матеріалів та ресурсів	570
Разом	2044,6

Економічна доцільність:

$$\frac{C_p}{\eta_{\text{дов.}}} = C_{\text{нов.}} \quad (4.3)$$

де  $C_p$  2044,6 грн. – собівартість відновлення БЦ при розробленому способі відновлення;

$C_{\text{нов.}} = 18500$  грн. – вартість нової деталі з урахуванням націнки;

$\eta_{\text{дов.}} = 0,8 - 0,9$  – коефіцієнт довговічності.

$$\frac{2044,6}{0,9} = \text{грн. , а саме } 2271,8 < 18500 \text{ грн.}$$

Отже, собівартість ремонту автомобільного БЦ двигуна ЗіЛ становить 2271,8 грн. , тоді як вартість нового БЦ - 18500 грн. Із співвідношення видно, що ремонт даним способом є доцільним.

Висновки.

У даному розділі ми запропонували розроблені нами:

- 1) Заходи по зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище ділянки ремонту БЦ;
- 2) Покращення заходів з охорони праці;
- 3) Техніко – економічне обґрунтування впровадження розробок у виробництво.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В результаті всебічного аналізу літературних джерел зроблено висновок, електроіскрова обробка є однією з прогресивних у ремонтному виробництві, можливості якої ще повністю не з'ясовані. А, також про доцільність проведення експериментального дослідження процесу електроіскрового нанесення покриттів.

2. На основі аналізу умов експлуатації блоків циліндрів, вимог до якості базових поверхонь, підбрано методи оцінки якості нарощуваного шару металу, запропоновані методи оцінки покриття на міцність зчеплення, металографічного, оцінки мікротвердості.

3. В результаті проведених дослідів:

1). розроблена математична модель, що описує вплив основних параметрів обробки і вмісту найбільш значущих компонентів, - вуглецю і хрому на якість нарощуваного шару електроіскровою обробкою;

2). підтверджується, що масоперенос металу з анода на катод визначається матеріалом анода, кількістю проходів електрода та енергією імпульсу;

3). при нарощуванні електродами із сплаву 1,5%С і 30,0%Cr (150Х30) твердість підвищується у 2,2 рази у порівнянні з твердістю основного металу;

4). найбільш висока зносостійкість в покритті досягається при використанні анодів з високовуглецевих легованих хромом матеріалів;

5). міцність зчеплення забезпечується на рівні від 350 МПа до 650 МПа.

8. Проведені екологічна експертиза та аналіз заходів з охорони праці

9. Виходячи з отриманих результатів економічно обґрунтована доцільність впровадження відновлення посадочних ліжок блоку циліндрів (та інших деталей з аналогічними дефектами) нарощуванням шару методом електроіскрової обробки.

Тому, розробка технології відновлення конкретних зношених деталей сільськогосподарської техніки методом електроіскрового легування, є актуальною задачею, яка вимагає проведення подальших досліджень по застосуванню електродних матеріалів та параметрів режимів процесу.

Отже, використання запропонованих способу, обладнання і розрахованих параметрів режиму відновлення дозволяє підвищити зносостійкість відновлених деталей, зменшити витрати на ремонт, тому пропонуємо впровадити у виробництво, що є доцільним як з технологічної, так і з економічної точки зору