

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно–технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
“ ” 2025 р.
Зав. кафедри професор
(науковий ступінь, вчене звання)
В.В.Дідур
(підпис) (ініціали, прізвище)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломної роботи
магістр
(освітній рівень)

**тема роботи: «Дослідження технології відновлення деталей машин з
обґрунтуванням параметрів електроіскрового способу»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 22м–ім
освітньої програми магістр
спеціальності Н7
«Агроінженерія»
Довгополий Володимир Ігорович
(прізвище та ініціали)

Керівник: доцент, Петриченко Є.А.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА

Інженерно–технологічний факультет

Кафедра агроінженерії

Освітня програма _____ магістр _____

Спеціальність _____ Н7 «Агроінженерія» _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

“ ” _____ **В.В. Дідур**
2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ**

студенту _____ **Довгополому Володимирі Ігоревичу** _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження технології відновлення деталей машин з обґрунтуванням параметрів електроіскрового способу»

керівник роботи _____ доцент **Петриченко Є.А.** _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“14” листопада 2025 р. № 01–06/261 _____

2. Строк подання студентом роботи _____ 25.11.2025 р. _____

3. Вихідні дані до роботи: способи зниження коливань машинно–тракторних агрегатів; літературні джерела; шляхи підвищення тягово–зчіпних показників колісних тракторів.

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

- виконати аналіз причин відмов і характеру зношування елементів;
- узагальнити ступені їхнього спрацювання та систематизовано сучасні методи електроіскрової обробки для відновлення працездатності;
- теоретичні положення підтвердити експериментами, що засвідчили правильність вибору технології ремонту вала зчеплення та ефективність підвищення його довговічності;
- розробити організаційно-технічні заходи з охорони праці;
- провести техніко-економічне обґрунтування результатів.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 20 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломної роботи: мета і завдання дослідження; конструктивне рішення встановлення здвоєних коліс на тракторі ХТЗ–242К;

показники економічної ефективності;

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		
Техніко–економічне обґрунтування	Петриченко Є.А., доцент		

7. Дата видачі завдання 23 квітня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	30.04.2025 р.	
2.	Розділ 1.	14.05.2025 р.	
3.	Розділ 2.	28.05.2025 р.	
4.	Розділ 3.	11.06.2025 р.	
5.	Розділ 4.	25.06.2025 р.	
6.	Розділ 5.	24.09.2025 р.	
7.	Виконання ілюстративної частини роботи	23.10.2025 р.	
8.	Представлення роботи керівнику на перевірку	25.11.2025 р.	

Студент _____
(підпис)

Довгополий В.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Петриченко Є.В.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

У магістерському дослідженні обґрунтовано доцільність застосування електроіскрових технологій зміцнення та відновлення робочих поверхонь деталей машин. У межах дипломної роботи виконано аналіз причин відмов і характеру зношування елементів, узагальнено ступені їхнього спрацювання та систематизовано сучасні методи електроіскрової обробки для відновлення працездатності. Теоретичні положення підтверджено експериментами, що засвідчили правильність вибору технології ремонту вала зчеплення та ефективність підвищення його довговічності. Додатково розроблено організаційно-технічні заходи з охорони праці й проведено техніко-економічне обґрунтування результатів. Робота складається з пояснювальної записки на 64 сторінки та демонстраційного матеріалу у вигляді 12 слайдів Microsoft PowerPoint.

Ключові слова: електроіскрове легування; електроіскрове відновлення; відновлений шар; знос; мікротвердість; шорсткість; тощо.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1. Аналіз відмов деталей машин	9
1.2. Суть методу електроіскрового оброблення.....	10
1.3. Методи електроіскрової обробки	14
1.4. Устаткування для електроіскрової обробки.....	16
1.5. Досвід та проблеми використання електроіскрових технологій	22
2.1. Опис конструкції деталі та опис її дефектів	26
2.2. Вибір раціонального способу відновлення деталі.....	29
2.3. Складання технологічного плану операції.....	31
2.4. Вбір параметрів режимів відновлення та розрахунок норм часу	32
3. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	41
3.1. Установка, режими та методика нанесення електроіскрового по- криття. 41	
3.2. Зразки для випробування.....	44
3.3. Методика нанесення покриття	44
3.4. Методика дослідження шорсткості та мікротвердості поверхні	46
3.5. Результати дослідження нанесеного шару.....	49
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	52
4.1. Загальні відомості про охорону праці на підприємстві	52
4.2. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів на ділянці з відновлення деталей зварюванням та наплавленням	54
4.3. Заходи по забезпеченню захисту працівників від дії шкідливих та небезпечних факторів	55
4.4. Правила безпечного виконання робіт при зварювальних та наплавочних роботах	
4.5. Дії у разі настання надзвичайної ситуації (пожежі).....	57
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	59
ВИСНОВОК.....	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	63

ВСТУП

Під технологією ремонту розуміють технічний спосіб відновлення, що виконується за визначеною послідовністю операцій. Розрізняють загальні для всіх деталей підходи та спеціальні методи для типових деталей і вузлів. Доцільність відновлення особливо висока за браку запасних частин: у багатьох випадках це дешевше, ніж виготовляти нову деталь.

Багаторічна практика ремонтних підприємств свідчить, що приблизно 40...45 % елементів машин (тракторів, автомобілів, комбайнів, верстатів тощо) можна повторно ввести в експлуатацію після відновлювальних робіт, що істотно знижує вартість ремонту та підвищує конкурентоспроможність сервісних структур; ще 30...35 % становлять деталі без дефектів, які придатні до повторного використання без втручання; водночас 25...30 % елементів мають невіправні пошкодження і після дефектації підлягають утилізації [1, 2].

Витрати на повторне застосування придатної без ремонту деталі зазвичай становлять 7...10 % від ціни відповідної запасної частини, а відновлення деталей, як правило, обходиться не дорожче 60...70 % вартості аналогів із складу [3]. Повторне використання придатних і відновлених елементів дозволяє заощаджувати метал, електроенергію та інші матеріальні ресурси.

Експлуатаційні показники якісно відновлених деталей нерідко не поступаються новим і часто перевищують їх. Це пояснюється тим, що основна маса дефектів пов'язана зі зміною геометрії та стану поверхневого шару, тоді як об'ємні міцнісні властивості матеріалу зазвичай збережені. Тому ремонт із використанням відновлених деталей є технічно й економічно виправданим.

Переважна частка деталей, що підлягають відновленню, має знос 0,01 – 0,2 мм, тож їх можна відновити з мінімальними втратами металу й енергоресурсів. Водночас існує група прецизійних елементів (насамперед вузли паливної апаратури та гідроагрегатів) зі зносом $< 0,01$ мм, для яких потрібні спеціалізовані технології.

Сучасні вітчизняні методи обробки матеріалів дозволяють у ряді випадків організовувати ремонт безпосередньо «на місці», інколи навіть без повного

розбирання механізму [4]. Одним із найуніверсальніших підходів є електроіскрове легування (ЕІЛ). Використання установок нового покоління типу «БИГ», що прийшли на зміну морально застарілим «Элитрон», «Вестрон» тощо, дає змогу з невеликими капітальними витратами відновлювати найрізноманітніші деталі: вали, осі, шворні, цапфи, корпусні елементи, кришки, корінні опори блоків циліндрів, колінчасті вали компресорів, золотники та корпуси гідророзподільників і гідропідсилювачів керма, лопатки турбін та ін., що підтверджено практикою [5, 6].

Вагомий внесок у розроблення та впровадження методів відновлення зробили К. А. Ачкасов, В. І. Черноіванов, І. Г. Голубєв, R. Gleason, А. Н. Батищев та ін. Основи електроіскрових технологій заклали подружжя Б. Р. та Н. І. Лазаренки, які у 1943 р. запатентували електроіскровий спосіб обробки металів. Нині тему активно розвивають науковці Мордовського державного університету ім. Н. П. Огарьова (Ф. Х. Бурумкулов, А. В. Столяров, А. П. Сенін та ін.). В Україні процеси електроіскрового відновлення вивчають О. В. Іванкова, В. Ю. Бартош, В. А. Дідур та інші дослідники.

Ключові переваги ЕІЛ — висока універсальність; відсутність перегріву й деформації заготовки; сильна адгезія покриття до основи; можливість «виходу в розмір» без подальшої механічної обробки; локальне нанесення; використання будь-якого струмопровідного матеріалу як електрода; високий коефіцієнт перенесення речовини (до 80–95 %); низька енергоємність процесу (близько 0,5–1,0 кВт); екологічність тощо — і саме вони забезпечують ефективність методу в ремонтних задачах.

В електроіскрових технологіях параметри покриття узгоджують з умовами роботи поверхонь та чинниками руйнування [7]. Особливість підходу — нанесення покриттів до номінального розміру або з мінімальним припуском під доведення. Якщо вимоги до шорсткості невисокі, фінішна механічна обробка може не знадобитися. Регулюючи енергію імпульсу, склад електродного матеріалу та інші параметри, новоутвореному шару надають потрібні властивості: підвищену мікротвердість, жаростійкість, зносо- та задиростійкість тощо.

1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Аналіз відмов деталей машин

В автомобілях, тракторах, комбайнах та інших машинних агрегатах працюють численні деталі, що під час експлуатації зазнають впливу навколишнього середовища, мастильних матеріалів і змінних навантажень. Унаслідок цього виникають різнотипні дефекти. За даними авторів [8, 9], до 60 % відмов спричинено зношуванням, а близько 40 % — втомним руйнуванням.

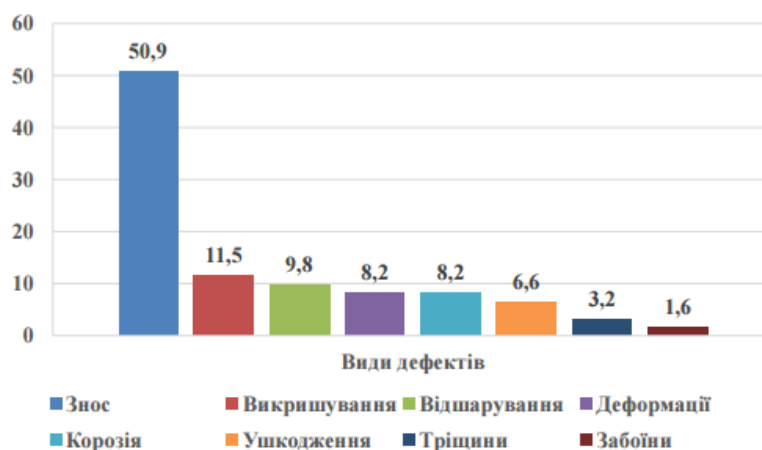


Рисунок 1.1 – Дефекти деталей машин.

Як свідчить рис. 1.1, домінуючою причиною відмов є саме зношування. За даними [10, 11] для більшості елементів величина спрацювання зазвичай не перевищує 0,1–0,3 мм. Зношенню піддаються різні типи поверхонь і контактних пар (див. рис. 1.2) [12, 13].

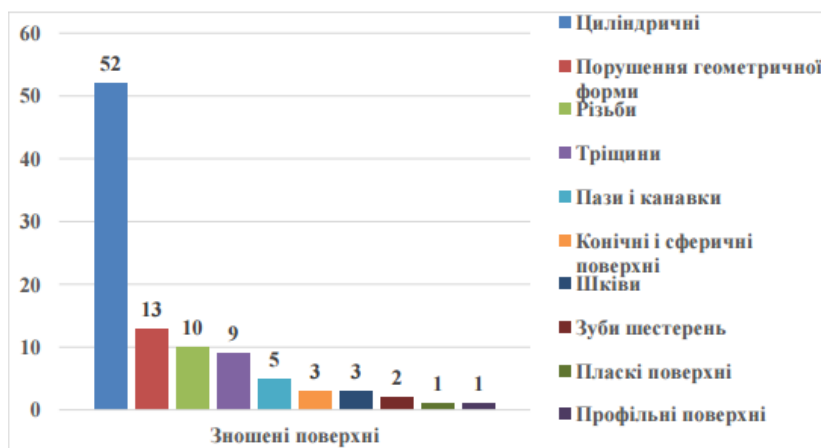


Рисунок 1.2 – Розподіл зносів поверхонь деталей машин.

Переважають циліндричні поверхні. Згідно з [10, 11], розподіл

їхніх зносів має такий характер (рис. 1.3): 46 % деталей мають спрацювання до 0,3 мм; 27 % — у межах 0,3–0,6 мм; 19 % — 0,6–1,2 мм; і 8 % — понад 1,2 мм. Для деталей типу «вал» найчастіше дефекти локалізуються на посадкових місцях під підшипники та на різьбових ділянках. Рекомендовані пороги відновлення:

- під підшипники — за зносу понад 0,017–0,060 мм;
- нерухомі з'єднання (наприклад, під маточини зі шпонковими пазами) — із застосуванням додаткових елементів при спрацюванні більш ніж 0,04–0,13 мм;
- рухомі з'єднання — коли знос перевищує 0,4–1,3 мм;
- зони під ущільнення — за зносу понад 0,15–0,20 мм.

Шпонкові пази відновлюють при збільшенні ширини зносу більш ніж на 0,065–0,095 мм, а шліцьові поверхні — за спрацювання, що перевищує 0,2–0,5 мм.

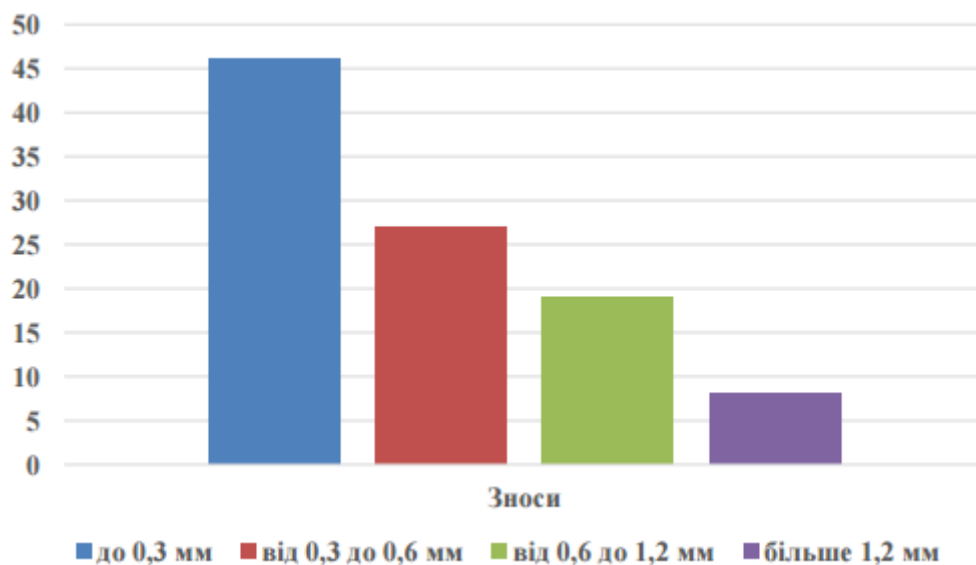


Рисунок 1.3 – Статистичний розподіл величини зношування деталей типу «вал»: до 0,3 мм — 46 %, 0,3–0,6 мм — 27 %, 0,6–1,2 мм — 19 %, понад 1,2 мм — 8 %.

1.2. Суть методу електроіскрового оброблення

Електроіскрові покриття за призначенням доцільно поділяти на дві умовні категорії [14] (див. рис. 1.4).

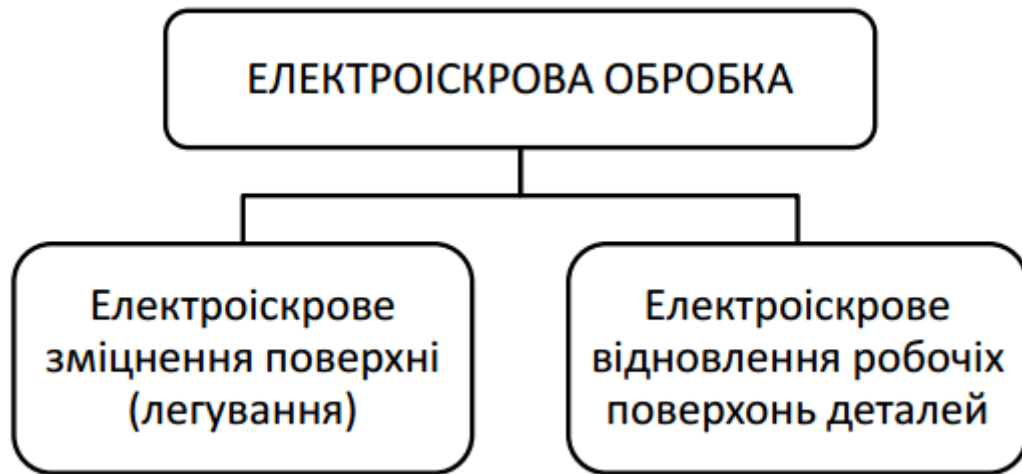


Рисунок 1.4 – Види електроіскрової обробки.

Процес електроіскрової обробки також зручно класифікувати на дві групи.

Перша група — функціональні шари. Вони безпосередньо контактують із зовнішнім середовищем і слугують захистом від руйнівних впливів: фізичних (силових, теплових), хімічних (корозійних) або їхньої комбінації.

Друга група — декоративно-технологічні шари. Такі покриття застосовують для надання кольору та рельєфу поверхні або як підложку (підшар) під інші види покриттів, що наносяться альтернативними методами (газодинамічним, детонаційним, з використанням металополімерів тощо). Окрім цього, ЕІ-покриття можуть підвищувати адгезію між основним матеріалом і верхнім шаром або виконувати опорні функції, коли необхідна стійкість до дії силових навантажень на поверхню деталі.

Засади електроіскрової обробки були закладені у 1943 році подружжям Бориса Романовича та Наталії Йосифівни Лазаренків (див. рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Подружжя Борис Романович і Наталія Йосифівна Лазаренки, 1960 р.

Процес електроіскрового легування (ЕІЛ) ґрунтується на явищі електроерозії анода під час іскрового розряду в газовому середовищі (здебільшого на повітрі), полярному перенесенні продуктів ерозії на катод (деталь) та формуванні на його поверхні шару зі зміненою структурою і хімічним складом. Після електричного пробоя міжелектродного проміжку виникає іскра, потік електронів у якій локально нагріває анод [15, 16].

Під дією теплових імпульсів на поверхні катода інтенсифікуються дифузійні, термомеханічні та гідродинамічні процеси змішування матеріалу електрода з основним металом. За своєю суттю ЕІЛ можна розглядати як спосіб формування нових композиційних приповерхневих шарів [17]. Це особливо характерно для тугоплавких покриттів, що кардинально підвищують експлуатаційні властивості верхнього шару. Масштаб змін визначається складом і структурою анода (електрода), а також технологічними параметрами режиму ЕІЛ.

Схему процесу ЕІЛ із вібруючим анодом-електродом і формуванням приповерхневого шару подано на рис. 1.6. Етап ініціації полягає у зближенні електрода (анода) з деталлю (катодом) до пробивної відстані, після чого виникає іскровий розряд тривалістю $10^{-6} - 10^{-3}$ с, і між електродами протікає імпульсний струм великої щільності [17]. За цих умов поверхня анода інтенсивно розігрівається, частково плавиться й випаровується, а розплавлені мікрокраплі під дією електромагнітного поля переносяться та осаджуються на поверхні деталі.

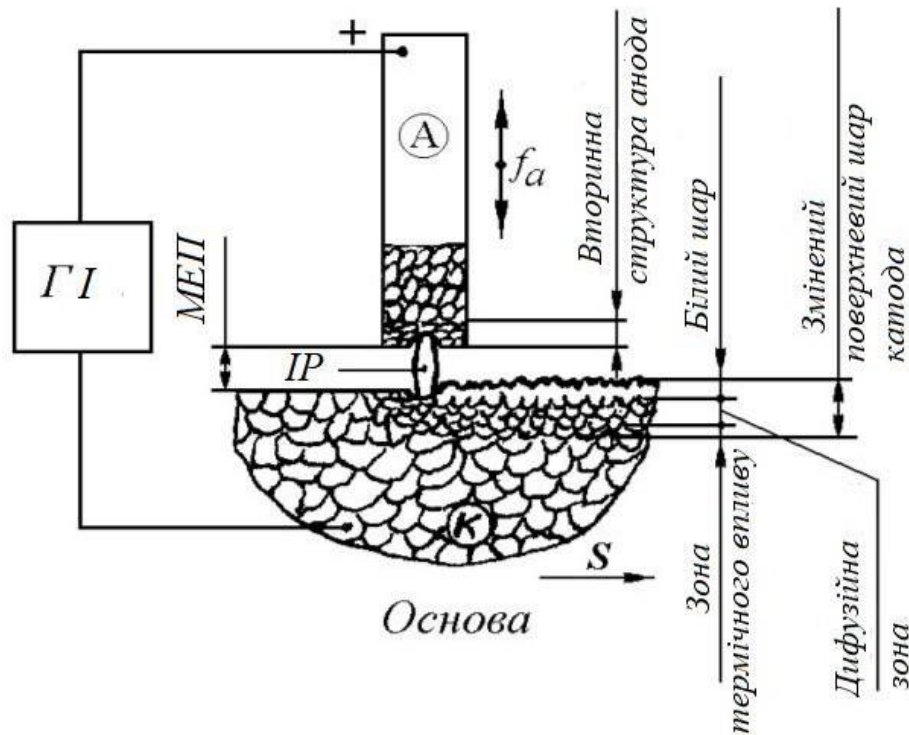


Рисунок 1.6 – Узагальнена схема процесу ЕІЛ:

Г.І. — генератор імпульсів; МЕП — міжелектродний проміжок; ІР — іскровий розряд; А — анод (компактний електрод); К — катод (деталь); f_a — частота вібрації анода; S — напрям подачі деталі.

По досягненню поверхні деталі, частки електрода впроваджуються в розплавлену лунку на поверхні деталі й змішуються з металом деталі. При переміщенні анода по певній траєкторії, виходить ряд лунок зі зміненою структурою металу. Для одержання гладкої зміцненої поверхні, електрод переміщують щодо деталі не більше ніж на $\frac{1}{4}$ діаметра лунки. Так відбувається необхідне перемішування й взаємне проникнення розплавленого металу катода й анода друг у друга й підвищення якості обробленої поверхні.

У процесі електроіскрового легування крім механічного перемішування часток розплавленого металу катода й анода, у поверхневому шарі електродів відбувається й дифузійні процеси. Так як процес ЕІЛ проходить у газоподібному середовищі, те розплавлені частки на своєму шляху починають взаємодіяти із цим середовищем і утворюють зміцнений шар, який по властивостях відрізняється від властивостей катода й анода.

Найголовніша якість ЕІЛ є те, що даний процес забезпечує досить міцний зв'язок зміцненого шару з легуючим матеріалом. Проведені дослідження показували, що зміцнений шар не відшаровується навіть у випадку нанесення покриття карбідними матеріалами. Це пояснюється тим, що між легуємою деталлю й зміцненим шаром є дифузійний зв'язок. Дифузія – це процес проникнення або перемішування однієї речовини з іншою за рахунок теплового руху молекул контактуючих речовин.

Причини, по яких процес ЕІЛ не одержав широкого поширення: невелика продуктивність ($0,5\text{--}3\text{ см}^2/\text{хв}$) і мала товщина шару покриття $15\text{--}60\text{ мкм}$. Збільшення товщини зміцненого шару можливо тільки при підвищенні енергії імпульсів і кількості проходів, що приводить до зростання витрат і пористості захисного шару.

1.3. Методи електроіскрової обробки

1.3.1. Електроіскрове легування порошковими матеріалами

Застосування цього підходу дає змогу розширити номенклатуру матеріалів покриттів, збільшити товщину зміцненого шару, підвищити продуктивність і полегшити автоматизацію процесу (див. рис. 1.7). Порошковий матеріал із бункера-живильника подається в міжелектродний проміжок між анодом і катодом. Під дією плазми іскрового каналу частинки порошку плавляться, частково випаровуються та осаджуються на поверхні деталі [18]. Як вихідні порошки можуть використовуватися як електропровідні, так і діелектричні композиції. За цієї схемою формують покриття товщиною порядку $200\text{--}300\text{ мкм}$.

У ході напилення відбувається розклад вихідних компонентів і їх взаємодія з матеріалом основи, що призводить до формування нових фаз у приповерхневому шарі. Однією зі складових зміцненого шару є метал підкладки (Fe), через що отримана мікротвердість зазвичай нижча, ніж у вихідних порошків.

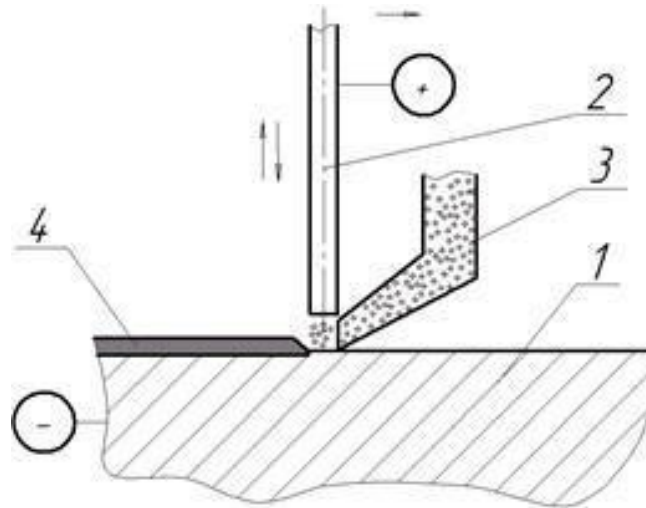


Рисунок 1.7 – Схема нанесення електроіскрових покриттів із використанням порошкових матеріалів:

1 — деталь; 2 — електрод; 3 — порошковий живильник; 4 — сформований шар покриття.

1.3.2. Метод анодно-іскрового осадження

Анодно-іскрове осадження (також відоме як плазмово-електролітична обробка або мікродугове оксидування) дає змогу формувати на металах і сплавах шари, що містять оксиди та сполуки на основі елементів електроліту (див. рис. 1.8) [18]. Хімічний склад такого покриття визначається матеріалом деталі, режимними параметрами й складом електроліту, компоненти якого потрапляють у зону електричного пробоя. Обмеженням методу є потреба занурювати деталь у ванну з розчином, що для великогабаритних виробів вимагає значного об'єму обладнання та електроліту.

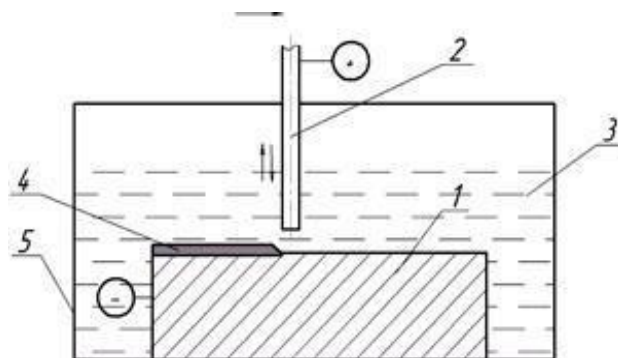


Рисунок 1.8 – Схема формування електроіскрових покриттів у електроліті (анодно-іскрове осадження):

1 — деталь; 2 — електрод; 3 — електроліт; 4 — сформований покривний шар; 5 — ванна.

Переваги технології ЕІЛ:

- висока надійність і відносна простота як обладнання, так і самого процесу;
- компактність і мала маса установок та оснащення;
- мобільність і придатність до використання у виробничих умовах будь-якого типу;
- можливість локально наносити покриття лише на потрібні ділянки деталі;
- міцне зчеплення сформованого шару з основним матеріалом (підкладкою);
- мінімальний тепловий вплив на деталь: температура поверхні зазвичай не перевищує 300 °С.

1.4. Устаткування для електроіскрової обробки

На рис. 1.9 подано принципову схему ручної установки ЕІ-легування, до складу якої входять: 1 — генератор імпульсів, 3 — електромагнітний вібратор, 2 — робочий електрод, 4 — оброблювана деталь.

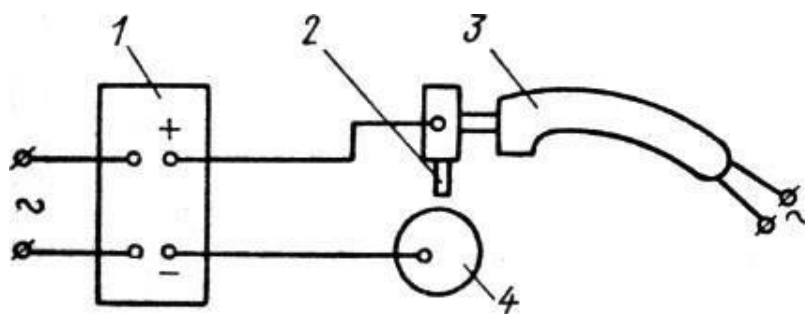


Рисунок 1.9 – Принципова схема установки електроіскрового легування (ЕІЛ).

Для стабільного перебігу процесу легування необхідно, щоб легуючий електрод 2 періодично торкався деталі 4 з заданою частотою. Ці коливальні контакти забезпечує електромагнітний вібратор 3; існують також інші конструктивні виконання вібраторів [13, 18]. Найкращі результати експериментально зафіксовано за частотами 100–400 Гц: зростання частоти в

межах цього інтервалу підвищує продуктивність, тоді як подальше її збільшення помітно погіршує якість сформованої поверхні. Технічні параметри типових установок електроіскрового легування наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 — Технічні характеристики установок для ЕІЛ

Найменування характеристики	ЭФИ-10М	ЭФИ-25	ЭФИ-54
Кількість режимів обробки	6	6	3
Напруга холостого ходу, В	15–200	20–49	18–38
Робочий струм, А	2,5–5,0	50–120	14–54
Шорсткість обробленої поверхні Rz, мкм	6,3	80	20
Споживана потужність, кВт	0,5	1,6	1,5
Габаритні розміри, мм	546×360×318	510×570×1000	564×360×318
Маса, кг	63	120	39

Настільна установка ЭФИ-54 укомплектована двома ручними електромагнітними вібраторами (великим і малим) та багатоелектродною обертовою головкою ручного типу. Призначення — нанесення шарів із цінних металів на контактні поверхні деталей електроапаратури для покращення їхніх комутаційних характеристик.

Модель ЭФИ-25 оснащена ручним електромагнітним вібратором і використовується для легування габаритних машинних деталей, а також для відновлення розмірів спрацьованих елементів.

Установка ЭФИ-10М виконана у настільному форматі, має ручний електромагнітний вібратор і застосовується як для легування, так і для повернення номінальних розмірів зношених деталей.

Комплекс «Alier-Metal» (див. рис. 1.10) ефективно вирішує широкий спектр інженерно-технічних задач: зміцнення й ремонт прокатних валків, штампового оснащення (молотові, ізотермічні, для гарячого/холодного штампування, видавлювання тощо), ріжучого інструменту (мітчики, фрези, протяжки, ножі, пилки і т. ін.), а також інших деталей, що працюють у важких умовах експлуатації. Технічні параметри комплексу наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 — Технічні характеристики установки «Alier-Metal»

Показники	Значення
Кількість робочих режимів	7
Робочий струм (залежно від режиму), А	200
Тип інструмента	
- ручний низькочастотний, Гц	100
Товщина покриття (зміцнення), мкм	10-450
Продуктивність, см ² /хв	До 6
Живлення	220В, 50Гц
Споживана потужність, не більш, Вт	500
Габаритні розміри, не більш, мм	170 × 250 × 430
Маса, кг	15

Визначальною перевагою цієї установки є компактність і мала маса, а також гнучке налаштування режимів нанесення для будь-яких електродних матеріалів завдяки регулюванню параметрів роботи генератора.



Рисунок 1.10 – Загальний вигляд установки «Alier-Metal».

Установка електроіскрового легування BIG-1 призначена для ЕІ-обробки металевих поверхонь деталей та інструменту з метою підвищення експлуатаційної надійності — зносо-, жаро-, корозійної й ерозійної стійкості — а також для відновлення розмірів спрацьованих поверхонь, нанесення функціональних спеціальних шарів і виконання декоративних покриттів [17].

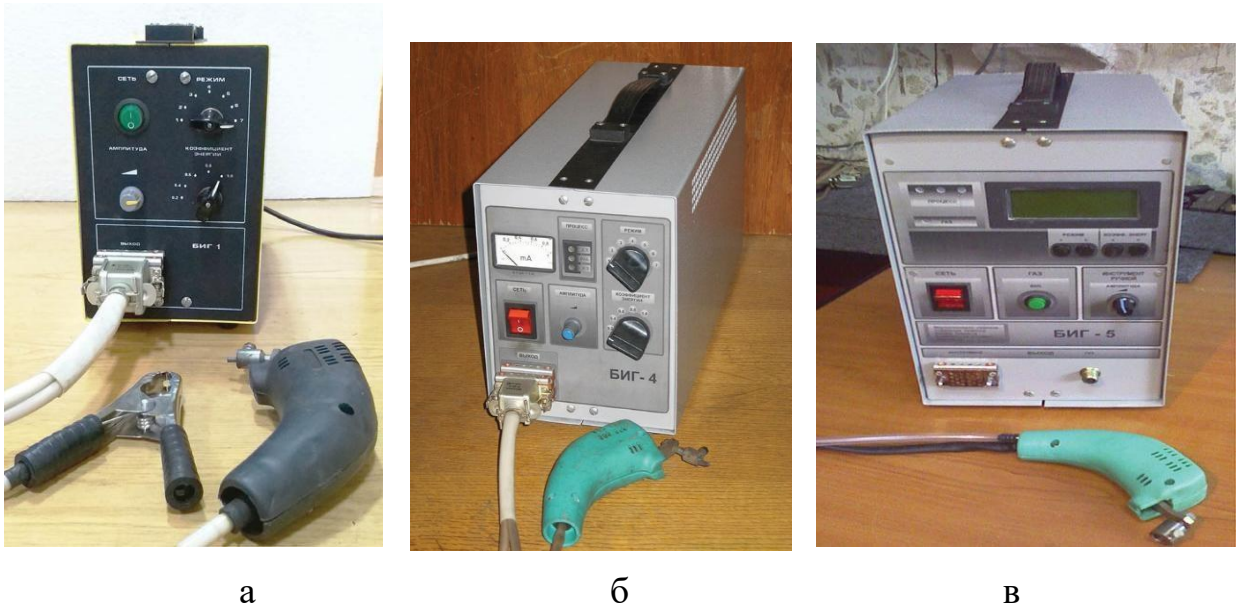


Рисунок 1.11 – Установки електроіскрового легування серії BIG:

а — BIG-1; б — BIG-4; в — BIG-5.

Живлення установки здійснюється від однофазної мережі змінного струму напругою 220 ± 22 В і частотою 50 ± 1 Гц. За номінальної напруги споживана потужність не перевищує 0,25 кВт. Габарити блока генератора — $130 \times 300 \times 210$ мм; маса: генератора — до 7 кг, вібробудника — не більш як 0,25 кг.

Процедура роботи з установкою UR-121 (див. рис. 1.12) гранично проста й не потребує спеціального навчання: достатньо ознайомитися з інструкцією. У результаті обробки будь-який інструмент із вуглецевої чи інструментальної сталі набуває твердосплавоподібних властивостей і служить у три та більше разів довше, не поступаючись дорогим твердосплавним аналогам.



Рисунок 1.12 – Загальний вигляд установки UR-121.

Технічні дані: габарити $246 \times 236 \times 125$ мм; маса — 7,8 кг. Споживана потужність — 0,11 кВт; живлення від мережі 220 В або 110 В. Витрата одного електрода забезпечує обробку орієнтовно $400\text{--}800$ см² поверхні за товщини нанесеного шару близько 20 мкм і глибини дифузійного зміцнення до 50 мкм. Мікротвердість приповерхневого шару становить 1200–1400 HV, що еквівалентно твердості приблизно 82–84 HRC.

Тривалість обробки інструмента — кілька хвилин; після ЕІ-легування підвищується якість обробки та у 3 й більше разів зростає інтервал між переточуваннями. Порівняно з попередніми моделями («Елітрон» — Молдова, «Ельфа» — Болгарія, «Карбидор» — Швейцарія, «Тугодур» — Японія) установка UR-121 вирізняється нижчою вартістю, суцільним покриттям (100% сплошність), меншою шорсткістю сформованої поверхні та вищою продуктивністю.

Таблиця 1.3 — Технічні характеристики установок типу «Елітрон»

Тип установки	Країна виробник	Товщина покриття, мм	Продуктивність см ² /хв	Кількість режимів	Висота мікронерівностей, мкм	Маса, кг
ЭИЛ-8А	Україна	0,01-0,08	2-6	18	10-50	14
Элитрон-22	Молдова	0,01-0,12	До 5	6	16-80	22
Элитрон-52	Молдова	0,01-0,2	До 9,9	15	8,5-155	120
Tucadur 2000	Італія	0,002-0,04	1-3	Нема даних	До 20	14,4



Рисунок 1.13 – Электроискровая установка «Элитрон-22»: загальний вигляд.



Рисунок 1.14 – Электроискровая установка «ЭИЛ-8А»: загальний вигляд.

На рис. 1.15 подано еволюцію (послідовність розвитку) установок ЕІЛ першого класу.

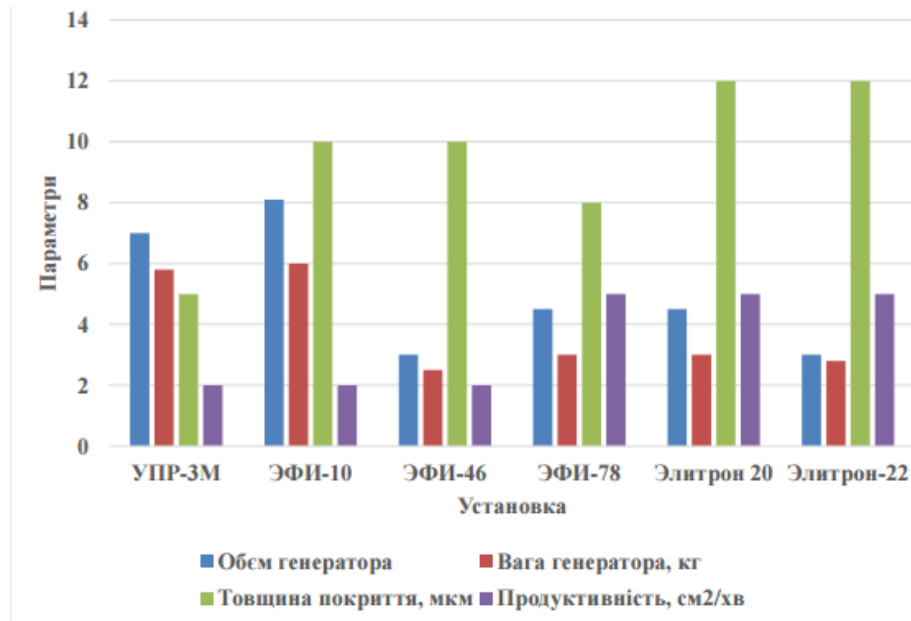


Рисунок 1.15 – Узагальнена характеристика та етапи розвитку установок електроіскрової обробки 1-го класу.

1.5. Досвід та проблеми використання електроіскрових технологій

Цікавим є практичний кейс відновлення блока та головки блока циліндрів дизельного двигуна Dxi 11 вантажівки «VOLVO». Обидві деталі належать до найбільш навантажених у двигуні: вони піддаються багаторазовим термічним і динамічним впливам і водночас є вартісними компонентами. Після демонтажу головки з'ясовано, що через порушення умов експлуатації на площині рознімання сформувався свищ загальною висотою понад 3 мм (див. рис. 1.16).



а)

б)

Рисунок 1.16 – Дефекти на площинах рознімання: а — головка; б — блок циліндрів.

Із фотоматеріалів видно, що пошкодження мають взаємно «дзеркальний» характер, тож обидві площини відновлювали за єдиною

технологічною схемою. Роботи виконували без демонтажу блока з автомобіля, застосовано установку «БИГ-4». Для заповнення порожнини на площині рознімання (прибл. 6 см², глибина ~1,5 мм) як електрод використовували ніхромовий пруток Х20Н80 діаметром 2 мм.

Відновлення площини здійснювали почерговими операціями: нанесенням ніхромового шару та його «підсадженням» міддю. Електричні параметри процесу наведено нижче.

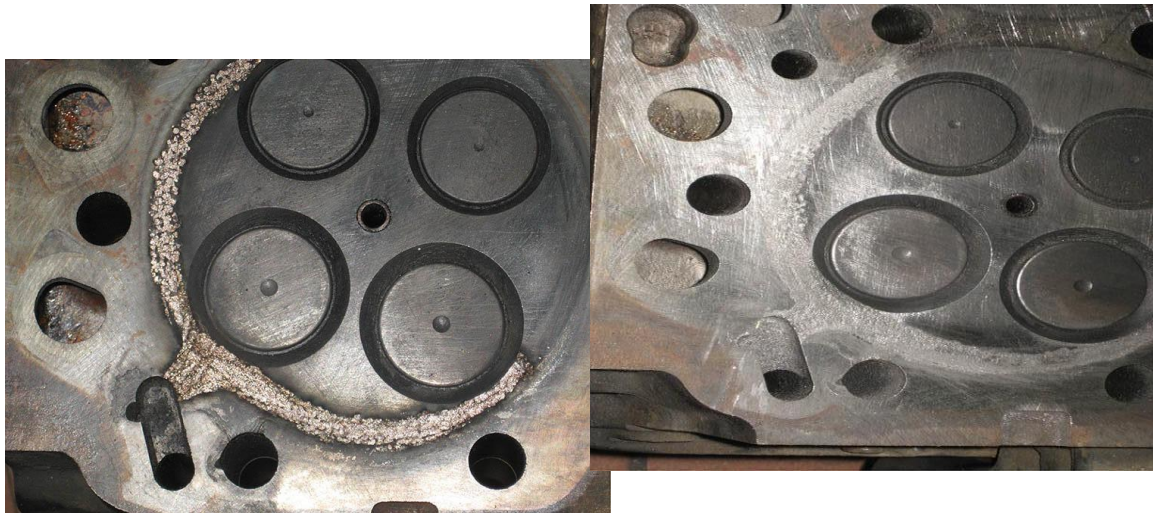
Таблиця 1.4 — Електричні режими установки «БИГ-4» під час відновлення площин рознімання головки та блока циліндрів

Найменування параметра	Значення параметра при обробці	
	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

Першим проходом ЕІЛ, застосовуючи мідний електрод, на максимальному енергетичному режимі виконували оплавлення крайок дефектної зони — фактично її первинне оброблення. За рахунок високої температури у каналі іскрового розряду (до ~10 000 °С) із відновлюваної поверхні видаляються масляні забруднення, а сама площина вкривається тонкою мідною плівкою, що слугує підкладкою для подальшого якісного нанесення шару ніхрому.

Важлива перевага методу ЕІЛ полягає в можливості працювати без ретельної попередньої підготовки: достатньо металевою щіткою зняти пухку іржу. Під час обробки електрод-інструмент вели по дефекту коловими траєкторіями, не виходячи за його межі. Повного заповнення порожнини досягали зазвичай за 5–6 циклів, завершальний прохід виконували мідним електродом для вирівнювання та згладжування ніхромового шару. Така фінішна операція забезпечувала щільне покриття з мінімальним припуском під механічну доробку

— близько 0,02–0,03 мм (див. рис. 1.17).



а)

б)

Рисунок 1.17 – Відновлена площина рознімання ГБЦ:

а — стан після електроіскрового легування; б — результат локальної ручної доробки (механічної обробки).

Оскільки дефект мав порівняно невеликі розміри (площа близько 6 см²), подальша механічна доробка зводилася до локального шліфування нанесеного шару ручною шліфмашинкою. Якість вирівнювання площини рознімання контролювали перевіркою лінійкою. Повний цикл відновлення головки та блока методом ЕІЛ зайняв не більш як 3 години.

Для зіставлення: за типовою технологією при такому пошкодженні довелося б демонтувати блок циліндрів, знімати шар металу шліфуванням на спеціалізованому верстаті, а також встановлювати ущільнювальну прокладку, підібрану під сумарну величину зняття матеріалу з площин рознімання. Очевидно, такий підхід є істотно більш трудо- і фінансовоємним.

Висновки та задачі роботи

Аналіз дефектів деталей типу «вал» показав, що близько 70 % відмов пов'язані зі спрацюванням у сполученнях вал–підшипник. Найбільша частка зносів припадає на інтервал до 0,3 мм — це дуже мала величина, тоді як більшість традиційних методів відновлення ефективні лише від товщини шару приблизно

0,5 мм.

Порівняння відомих технологій ремонту засвідчило: кожен із підходів має свої переваги й обмеження, проте перспективним для валів є саме електроіскрова обробка (ЕІО). Аналіз електродних матеріалів для ЕІО показав, що введення нанорозмірних частинок покращує фізико-механічні властивості відновлених покриттів.

Із проведеного огляду випливає, що для сучасного ремонтного виробництва ЕІО є одним із найбільш доцільних методів, оскільки дозволяє формувати шари з широким спектром фізико-хімічних і механічних характеристик. Керуючи електричними та кінематичними режимами, добором матеріалу електродів і міжелектродного середовища, можна цілеспрямовано впливати на експлуатаційні властивості робочих поверхонь. Водночас у наукових публікаціях ще недостатньо висвітлено питання оптимальних режимів для відновлювальних покриттів.

Враховуючи це, мета роботи — розробити технологію відновлення деталей методом ЕІО та обґрунтувати режими роботи електроіскрової установки.

Для досягнення мети необхідно розв'язати такі завдання:

- виконати аналіз відмов деталей машин і обґрунтувати раціональний спосіб відновлення зношених поверхонь;
- розробити технологічний процес ремонту типової деталі — вала головної муфти трактора ПМЗ — із застосуванням електроіскрової технології;
- сформулювати методику експериментальних досліджень покриттів, отриманих ЕІ-методом;
- обґрунтувати режими відновлення та зміцнення поверхонь деталей електроіскровою обробкою;
- розробити заходи з охорони праці та безпеки життєдіяльності;
- провести техніко-економічну оцінку запропонованої технології.

2. ТЕОРИТИЧНА ЧАСТИНА

2.1. Опис конструкції деталі та опис її дефектів

Вал головної муфти зчеплення трактора ПМЗ призначений для передавання обертового моменту.

- Клас деталі: вал.
- Каталогний номер: 45-1604113.
- Маса: 2,6 кг.
- Матеріал: сталь 18ХГТ (ДСТУ 4738:007).
- Твердість: HRC 56–63.
- Якість поверхні: шорсткість $Ra = 0,32$.
- Характер зношування на відновлюваних ділянках: переважно рівномірний.
- Характер навантажень: сталі (постійні).
- Можливі види деформацій: вигин, кручення, облом.



Рисунок 2.1 – Вал головного зчеплення (новий): загальний вигляд.

Під час експлуатації зафіксовано провертання підшипника 62205 на валу зчеплення; характерні дефекти та етапи розбирання показано на рис. 2.2–2.5.



Рисунок 2.2 – Демонтаж підшипника, що повернувся.



Рисунок 2.3 – Демонтаж вала головного зчеплення.



Рисунок 2.4 – Вал зі слідами зношення.



Рисунок 2.5 – Вал після відновлення та шліфування

Ремонтне креслення валу головного зчеплення наведено на рис. 2.6.

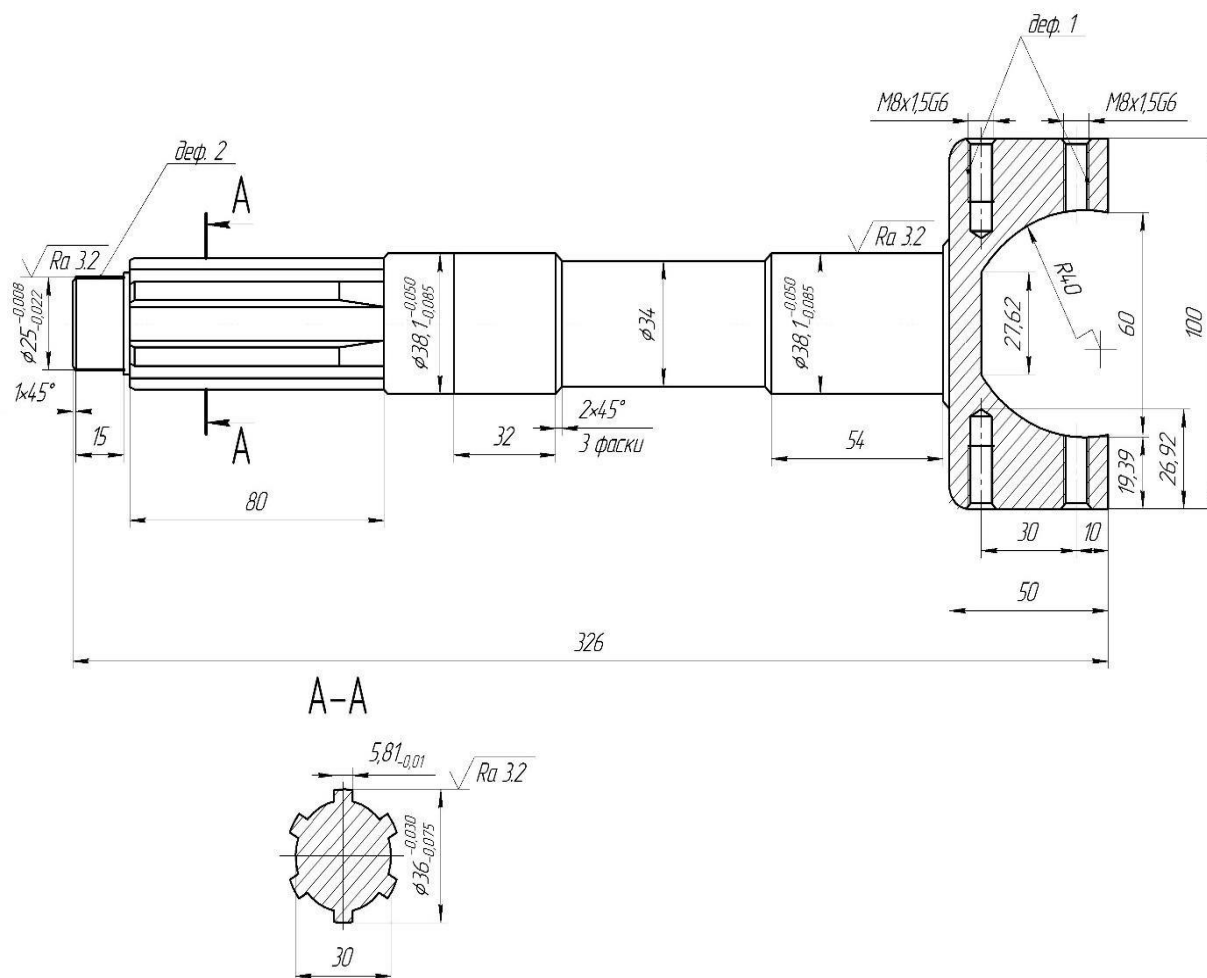


Рисунок 2.6 – Вал головного зчеплення: загальний вигляд.

Перелік виявлених дефектів вала наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 — Перелік дефектів вала

№	Назва дефекту	Розміри, мм		
		номінальний	допустимий без ремонту	допустимий для ремонту
1	Знос різьби	8	Знос більше 2х ниток не допускається	
2	Знос шийки під кульковий підшипник 62205	$25_{-0,022}^{-0,008}$	24,94	Менше 24,92

За результатами досліджень встановлено, що приблизно 65–70 % відмов пов’язані зі спрацюванням посадкової поверхні під підшипник 62205. У більшості випадків величина зносу не перевищує 0,1 мм, що зумовлює потребу в застосуванні доволі специфічних методів відновлення.

2.2. Вибір раціонального способу відновлення деталі

На вибір раціонального способу відновлення впливають матеріал деталі, величина й характер зношування, умови навантаження, а також очікувана вартість робіт. З огляду на це В. А. Шандричев запропонував методику вибору, що базується на послідовному застосуванні трьох критеріїв:

1. Технологічний (критерій застосовності). Дає змогу відсіяти методи, які неможливо реалізувати з огляду на геометрію, доступність зони ремонту, сумісність матеріалів, наявність обладнання, допустимий термічний вплив, необхідну точність і шорсткість тощо.

2. Технічний (критерій довговічності). Оцінюється коефіцієнтом довговічності формула 2.1 або формула 2.2:

де: K_i, K_v, K_c — коефіцієнти зносостійкості, витривалості та зчеплюваності відповідно;

K_n — поправочний коефіцієнт, що відображає реальну працездатність відновленої деталі в експлуатації, $K_n = 0,8 \dots 0,9$.

Тоді узагальнений коефіцієнт довговічності можна подати як формулу 2.3:

де: C_v і C_n — собівартість відновлення та вартість нової деталі відповідно.

Узагальнений техніко-економічний критерій можна подати як формулу 2.4:

де: K_T — інтегральний показник техніко-економічної ефективності. Ефективним вважають той спосіб відновлення, для якого значення K_T є мінімальним (тобто $K_T \rightarrow \min$).

Вузол: знос посадкової поверхні під підшипник

1) Технологічний критерій (застосовність): розглядаємо такі методи

- вібродугове наплавлення;
- електроіскрова обробка (ЕІО/ЕІЛ);
- залізнення;
- хромування.

2) Технічний критерій (довговічність): оцінюють за узагальненим коефіцієнтом:

$$K_d^{BFH} = 0,85 \cdot 0,62 \cdot 1,0 \cdot 0,9 = 0,47$$

$$K_d^{HCO_2} = 0,85 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,9 = 0,77$$

$$K_d^{зал} = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 0,9 = 0,5$$

$$K_d^{хром} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,6 \cdot 0,9 = 0,54$$

У підсумку найвищий ресурс забезпечує наплавлення в середовищі CO_2 .

Зношення різбових ділянок усувають заварюванням відповідно до технологічного процесу заводу-виробника.

Перелік рекомендованих методів подано в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 — Раціональні способи відновлення вала

№ деф	Дефект	Спосіб усунення	
		Основний	Допустимий
1	Знос різьби	Заварювання з наступним нарізанням нової	Постановка ДРД

2	Знос поверхні під підшипник менше	Наплавлення в середовищі вуглекислого газу	Електроіскрова обробка
---	-----------------------------------	--	------------------------

2.3. Складання технологічного плану операції

005 Зварювальна

Заварити 4 зношені різьбові отвори (дефект 1) М8×1,5 на довжині 26 мм.

Оснащення: стіл для електрозварювальних робіт ОРС-1549А, зварювальний випрямляч ВС-600, штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 (ГОСТ 166-80), захисна маска №1, металева щітка, молоток.

010 Наплавлювальна

Підготувати поверхню 2 (посадка під підшипник): із Ø24,9 мм проточити під Ø27 мм на довжині 15 мм; виконати наплавлення шаром ≈1 мм.

Оснащення: токарно-гвинторізний верстат 1К62, установка «Элитрон-22», електрод зі сталі 65Г, штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1.

015 Свердлильна

Просвердлити 4 отвори (дефект 1) до Ø7,5 мм на довжині 26 мм; нарізати різьбу М8×1,5.

Оснащення: вертикально-свердлильний верстат 2Н125, спеціальні механічні лещата (ГОСТ 16518-96), свердло Р9, серія середня 7,5×109 (ГОСТ 10902-77), штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 (ГОСТ 166-80), різьбовий шаблон.

020 Токарна

Після наплавлення обробити поверхню 2 з Ø27 мм до Ø25,1 мм на довжині 15 мм.

Оснащення: токарно-гвинторізний верстат 16К20Г, повідковий патрон, упорний центр, різець прохідний Р9-2101-0038, гак металевий, штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 (ГОСТ 166-80).

025 Шліфувальна

Шліфувати поверхню 2 з $\varnothing 25,1$ мм до $\varnothing 25,000$ ($-0,008/-0,022$) мм на довжині 15 мм.

Оснащення: круглошліфувальний верстат 3У12УА, шліфувальне коло ПП 100Г-20Г-32 ЕК36-60 СМ1, мікрометр МК 0-25 (ГОСТ 4381-68), центри, хомутик.

030 Контрольна

Перевірити розміри та якість відновлених поверхонь.

Оснащення: комплект «Ремдеталь», твердомір ТК-600, штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1, мікрометр МК 0-25-0,01 (ГОСТ 4381-68).

2.4. Вбір параметрів режимів відновлення та розрахунок норм часу

005 Зварювальна

Заварити чотири зношені різьбові отвори (дефект 1) $M8 \times 1,5$ на глибині 26 мм.

Основний час виконання ручного дугового зварювання визначають за формулою 2.5:

де: G — маса (вага) наплавленого металу, г;

V_n — швидкість наплавлення, г/год.

Масу наплавленого металу визначають за формулою 2.6:

де L — довжина (глибина заварювання), см;

F — площа повздовжнього перерізу, $см^2$;

γ — густина металу, г/ $см^3$.

Тоді маса наплавленого металу:

$$G = (26 \cdot 4) \cdot 0,8 \cdot 7,8 = 374,4 \text{ г}$$

Швидкість наплавлення (масова продуктивність процесу) зручно задавати однією з еквівалентних моделей за формулою 2.7:

де α — коефіцієнт наплавлення, г/(А·год) (приймаємо $\alpha = 10$);

I — зварювальний струм, А (задаємо $I = 160$).

Тоді швидкість наплавлення:

$$V_H = 10 \cdot 160 = 1600 \text{ г/год}$$

Значення основного часу для даної зварної операції обчислюють за формулою 2.5.

Допоміжний час на виконання зварювання становить $T_{в1} = 1,5$ хв, а на встановлення та зняття деталі масою до 15 кг — $T_{в2} = 0,6$ хв.

Тоді сумарний (повний) допоміжний час розраховують за формулою 2.8:

$$T_B = 1,5 + 0,6 = 2,1 \text{ хв.}$$

Оперативний час визначаємо як суму основного та повного допоміжного за формулою 2.9:

$$T_{оп} = 0,23 + 2,1 = 2,33 \text{ хв.}$$

Додатковий час приймають у частках від оперативного, за формулою 2.10:

$$T_{дод} = \frac{2,33 \cdot 8}{100} = 0,02 \text{ хв}$$

Коефіцієнт додаткового часу від оперативного: $K = 8$.

Підготовчо-заключний час: $T_{пз} = 10$ хв.

Оперативний час:

$$T_H = T_o + T_{доп} + T_{дод} + \frac{T_{пз}}{n} = 0,23 + 2,1 + 0,02 + \frac{10}{1} = 12,35 \text{ хв}$$

де: n — кількість деталей у партії.

Операція 010, наплавлювальна: відновити посадкову поверхню 2 підшипник, збільшивши діаметр з $\varnothing 24,9$ мм до $\varnothing 27$ мм на довжині 15 мм; сформувати наплавлений шар товщиною 1 мм.

Режими наплавлення:

1. Товщина наплавленого шару — до 1 мм;
2. Діаметр електродного дроту — 1,6 мм;
3. Зварювальний струм — 140–150 А;
4. Напруга дуги — 24 В;
5. Крок наплавлення — 1,8 мм/об;
6. Подача дроту — 1,5 м/хв;
7. Швидкість наплавлення — 1,5 м/хв;

8. Витрата CO₂ — 20 л/хв.

Основний час наплавлення визначають за відповідною формулою 2.11:

L — довжина оброблюваної (наплавлюваної) ділянки, мм;

i — кількість проходів;

n — частота обертання деталі, хв⁻¹;

S — подача, мм/об.

Кількість проходів визначають за формулою 2.12:

де: D — діаметр деталі після наплавлення;

d — діаметр деталі до наплавлення;

t — товщина металу, що наплавляється за один прохід, мм (тут $t = 1$ мм).

Кількість необхідних проходів визначаємо за приростом радіуса:

$$i = \frac{27 - 24,9}{2 \cdot 1} = 1$$

Кількість обертів деталі за шар обчислюємо за формулою 2.13:

де: V — колова (периферійна) швидкість деталі, м/хв.

Розрахунок основного часу:

$$T_o = \frac{15 \cdot 1}{19 \cdot 1,8} = 0,4 \text{ хв}$$

Допоміжний час для деталі в центрах: $T_{д1} = 0,5$ хв; допоміжний час, пов'язаний із наплавленням, на один прохід: $T_{д2} = 0,9$ хв.

Тоді загальний допоміжний час визначається за формулою 2.14:

$$T_d = 0,5 + 0,9 = 1,4 \text{ хв.}$$

Оперативний час визначаємо як суму основного й повного допоміжного:

$$T_{оп} = 0,4 + 1,4 = 1,8 \text{ хв.}$$

Додатковий час беремо як частку від оперативного:

$$T_{дод} = \frac{1,8 \cdot 15}{100} = 0,27 \text{ хв.}$$

Підставляємо: $T_{оп} \approx 2,753$ хв, $T_d \approx 0,220$ хв, $T_{пз} = 16$ хв. Норма часу на операцію:

$$T_H = 0,4 + 1,4 + 0,72 + 16/1 = 18,52 \text{ хв.}$$

015 Свердлильна

Перехід 1 — установити та надійно зафіксувати деталь.

Перехід 2 — виконати свердління чотирьох отворів (дефект 1) до $\varnothing 7,5$ мм на довжині 26 мм, після чого нарізати різьбу M8×1,5.

Режим різання: швидкість $V = 12,9$ м/хв, частота обертання $n = 137$ об/хв.

Основний час для цього проходу приймаємо як: «Основний час T_o » під час свердління отвору визначають за відповідною розрахунковою залежністю (за ефективною довжиною різання, подачею та частотою обертання):

$$T_o = \frac{26}{137 \cdot 0,58} = 0,5 \text{ хв}$$

Допоміжний час на один прохід становить 0,750 хв; з урахуванням двох отворів сумарно $T_{\text{доп}} = 1,50$ хв.

Перехід 3. Виконати нарізання різьби M8×1,5 у двох отворах на довжині 26 мм. Частоту обертання інструмента задають згідно з обраним режимом різьбонарізання:

$$n = \frac{318 \cdot V}{D} = \frac{318 \cdot 4,5}{7,5} = 190,8 \text{ об/хв}$$

Час основної операції різьбонарізання приймають за формульним виразом:

$$T_o = \frac{26}{190 \cdot 0,18} = 1,1 \text{ хв}$$

Допоміжний час на один прохід становить $T_{\text{доп}} = 0,75$ хв; оскільки обробляємо два отвори, сумарно $T_{\text{доп}} = 1,50$ хв.

Перехід 4 — переустановити деталь у лещатах.

Перехід 5 — просвердлити два отвори 1 діаметром $\varnothing 7,5$ мм на довжині 26 мм. Режим: швидкість різання $V = 12,9$ м/хв, частота обертання $n = 137$ об/хв.

Основний час на виконання цього проходу приймають за розрахунком. «Основний час T_o » під час свердління отвору визначають за відповідною формульною залежністю (через ефективну довжину різання, подачу та частоту обертання):

$$T_o = \frac{26}{137 \cdot 0,58} = 0,5 \text{ хв}$$

Допоміжний час на один прохід становить $T_{\text{доп}} = 0,75$ хв; з огляду на два отвори сумарно $T_{\text{доп}} = 1,50$ хв.

Перехід 6. Виконати різьбонарізання $M8 \times 1,5$ у двох отворах на довжині 26 мм. Частоту обертання інструмента встановлюють згідно з обраним режимом оброблення:

$$n = \frac{318 \cdot 4,5}{7,5} = 190,8 \text{ об/хв}$$

Час основного проходу при різьбі визначається за спеціальним виразом:

$$T_o = \frac{26}{190 \cdot 0,18} = 1,1 \text{ хв}$$

Визначимо підсумковий основний час операції:

$$T_o = 3,2 \text{ хв}$$

Загальна тривалість допоміжних робіт:

$$T_{\text{доп}} = 6 \text{ хв.}$$

Визначимо тривалість оперативної частини за відповідним співвідношенням:

$$T_{\text{оп}} = 3,2 + 6 = 9,2 \text{ хв}$$

Значення додаткового часу приймають за формульним виразом:

$$T_{\text{дод}} = \frac{9,2 \cdot 9}{100} = 0,8 \text{ хв}$$

Норму часу на операцію визначаємо:

$$T_n = 3,2 + 6 + 0,8 + \frac{6}{1} = 16 \text{ хв}$$

020 Токарна

Обробити поверхню 2, зменшивши діаметр з $\varnothing 27,0$ до $\varnothing 25,1$ на довжині 15 мм.

Припуск на токарну обробку:

$$h = \frac{D-d}{2} = \frac{27-25,1}{2} = 0,95 \text{ мм}$$

Призначаємо глибину різання $t = 0,95\text{мм}$, тобто весь припуск знімаємо за один прохід, отже $i = 1$.

За прийнятою глибиною та діаметром заготовки обираємо повздовжню подачу: $S = 0,3\text{ мм/об}$ [21].

Швидкість різання за цими параметрами: $V = 75\text{ м/хв}$ [21].

З урахуванням поправочного коефіцієнта для марки сталі $K_M = 1,7$ [21] збільшуємо швидкість за формулою 2.15:

$$V = 75 \cdot 1,7 = 127,5\text{ м/хв}$$

Кількість обертів шпинделя визначаємо так:

$$n = 318 \frac{127,5}{27} = 1501\text{ об/хв}$$

Приймаємо найближчу паспортну частоту обертання верстата: $n = 1250\text{ об/хв}$.

Для розрахунку основного часу спершу визначаємо ефективну довжину обробки з урахуванням врізання та перебігу різця за формулою 2.16:

l — робоча довжина оброблюваної поверхні деталі;

u — додаток на врізання, мм (приймаємо $u = 3,5\text{ мм}$).

$$L = 15 + 3,5 = 18,5\text{ мм.}$$

Розрахунок основного часу виконуємо за відповідним виразом:

$$T_o = \frac{18,5 \cdot 1}{1250 \cdot 0,3} = 0,22\text{ хв}$$

Визначаємо допоміжний час. Час на встановлення та зняття деталі становить $0,330\text{ хв}$. Згідно з [21], для верстата з висотою центрів 200 мм допоміжний час, пов'язаний з проходом, дорівнює $T_d = 0,5\text{ хв}$ на один прохід:

$$T_d = 0,33 + 0,5 = 0,83\text{ хв.}$$

Оперативний час:

$$T_{оп} = 0,22 + 0,83 = 1,05\text{ хв.}$$

Час на додаткові витрати під час операції:

$$T_{дод} = \frac{1,05 \cdot 8}{100} = 0,08\text{ хв}$$

Підготовчо-заклучний час приймаємо $T_{пз} = 9$ хв. Норма часу на операцію становить:

$$T_n = 0,22 + 0,83 + 0,08 + 9/1 = 10,13 \text{ хв.}$$

025 Шліфувальна

Перехід 1. Обшліфувати поверхню 2, зменшивши діаметр з $\varnothing 25,1$ до $\varnothing(25-0,022 \dots 25-0,008)$ мм на довжині 15 мм.

Приймаємо: поперечна подача $S_{\text{поп}} = 0,01$ мм/об; повздовжня подача у долях ширини круга $\beta = 0,2$; швидкість різання $V = 20$ м/хв.

Ширина шліфувального круга $b = 20$ мм.

Повздовжню подачу визначаємо за виразом 2.17:

$$S_{\text{п}} = 0,2 \cdot 20 = 4 \text{ мм/об}$$

Розраховуємо припуск, необхідний для шліфування:

$$h = \frac{25,1-25}{2} = 0,05 \text{ мм}$$

Розрахуємо число проходів залежно від заданої глибини шліфування:

$$i = \frac{0,05}{0,05} = 1$$

Приймаємо один прохід. Частоту обертання визначаємо за наступним виразом:

$$n = 318 \frac{20}{25,01} = 253 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаємо оберти за паспортом верстата: $n = 253 \text{ хв}^{-1}$, оскільки передбачено безступінчасте регулювання.

Основний час (без виходу круга) визначаємо за відповідною формулою 2.18:

де: k_3 — коефіцієнт зачисних (чистових) ходів; $k_3 = 1,2 \dots 1,7$.

$$T_o = \frac{(15+3) \cdot 1}{253 \cdot 4} \cdot 1,2 = 0,02 \text{ хв}$$

Допоміжний час на установлення/зняття: $T_{д1} = 0,5$ хв; пов'язаний із проходом: $T_{д2} = 1,0$ хв (для першої поверхні однієї деталі).

Тоді загальний допоміжний час:

$$T_d = 0,5 + 1 = 1,5 \text{ хв}$$

Тоді оперативний час буде становити:

$$T_{оп} = 0,02 + 1,5 = 1,52 \text{ хв}$$

Частка додаткового часу під час шліфування становить 9% від оперативного. Тому:

$$T_{дод} = \frac{1,52 \cdot 9}{100} = 0,14 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час становить 7 хв; розрахунок норми:

$$T_n = 0,02 + 1,5 + 0,14 + 7/1 = 8,66 \text{ хв.}$$

030 Контрольна

Здійснити контроль розмірів і якості відновлених зон. Таким чином загальна норма часу на відновлення деталі дорівнює сумі норм за всіма операціями за формулою 2.19:

$$T_{нз} = 12,35 + 18,52 + 16 + 10,13 + 8,66 = 65,66 \text{ хв.}$$

З огляду на альтернативний спосіб відновлення — електроіскрову обробку — токарну операцію можна вилучити. Це забезпечує економію часу й матеріалів, а можливість відновлення деталі без демонтажу з машини робить метод особливо перспективним.

Порівняльні результати подано в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 — Порівняння методів відновлення вала.

Операція	Технологія	
	Базова з використанням CO ₂	Розроблена з викорис- танням ЕІО
	Час операцій, хв	
005 Зварювальна	12,35	12,35
010 Наплавлювальна	18,52	16,2
015 Свердлильна	16	16

020 Токарна	10,13	-
025 Шліфувальна	8,66	8,66
Всього	65,66	53,21

Отже, застосування електроіскрового методу зменшує час відновлення деталі на 19%, що можна вважати добрим результатом.

Висновок

Проведений аналіз відмов валу головного зчеплення показав, що близько 65–70% дефектів припадає на зношення посадкової поверхні під підшипник 62205. При цьому величина зносу зазвичай не перевищує 0,1 мм — це дуже малий дефект, для усунення якого потрібні спеціалізовані методи відновлення, недоступні більшості ремонтних підприємств. Разом із тим встановлено, що найбільш поширеним і економічно доцільним способом, який реально застосовують на практиці, є наплавлення у середовищі CO_2 .

Перехід від наплавлення в CO_2 до електроіскрової обробки дає змогу скоротити тривалість відновлення на 19%, а за наявності лише одного дефекту (знос місця під підшипник 62205) — виконати ремонт без демонтажу вала з трактора. Додатково, відновлення поверхні сталлю 65Г забезпечує відчутне підвищення міцності робочого шару деталі.

3. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

3.1. Установка, режими та методика нанесення електроіскрового покриття

Одним із ефективних способів легування та відновлювального наплавлення поверхонь деталей (або їх окремих елементів) є електроіскрове легування (ЕІЛ). Процес супроводжується комплексом фізико-хімічних перетворень у зміцненому приповерхневому шарі, що дає змогу підвищити зносостійкість і твердість, жаро- та корозійну стійкість, зменшити коефіцієнт тертя, а також виконувати ремонт із відновленням розмірів, надаючи поверхні нових експлуатаційних властивостей.

Ключовою технологічною характеристикою ЕІЛ є інтенсивність формування шару. Вона визначається енергією розряду, що виділяється в міжелектродному проміжку, та середнім струмом джерела імпульсів. У ході оброблення цими параметрами необхідно керувати, змінюючи режими.

Вибір режиму здійснюють залежно від вимог до сформованої поверхні: її чистоти, суцільності, товщини, пористості та допустимої величини перехідного (термозмінного) шару. Типові діапазони: енергія розряду — від часток джоуля до ≈ 8 Дж, середній струм — орієнтовно 0,2–0,5...50–80 А і вище. Умовно режими ЕІЛ (табл. 3.1) поділяють на «м'які» (№ 1, 2) та «грубі» (№ 8, 9). Чим «м'якший» режим (менша енергія розряду), тим меншою буде товщина нанесеного шару і його шорсткість; перехідний шар у такому випадку тонший, нанесений шар — щільніший, а чистота поверхні — вища.

Таблиця 3.1 — Характеристика режимів ЕІЛ установки «Елітрон-20».

Умовні номери режимів легування	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	М'які		Грубі						
Положення перемикача «Ємність»	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Положення перемикача «Напруга»	1	1	1	2	2	2	3	3	3

Ємність батарей накопичувачних конденсаторів, мкФ	210	420	630	210	420	630	210	420	630
Амплітуда імпульсів напруги на накопичувальних конденсаторах, В	40	40	40	60	60	60	80	80	80
Робочий струм, А	0,5	1,3	2,2	1,0	2,4	4,2	1,8	4,0	5,0

Склад сформованого на деталі шару та його фізико-хімічні характеристики зазвичай суттєво відрізняються від властивостей вихідного матеріалу. Змінюючи матеріал електрода й спосіб нанесення легованого покриття, можна цілеспрямовано коригувати фізико-механічні параметри поверхні.

У покритті після ЕІЛ умовно виокремлюють дві зони: «білий» шар взаємної кристалізації та зону термічного впливу. Остання, своєю чергою, включає дифузійну та перехідну підзони. «Білий» шар характеризується максимальною твердістю й переважно складається з нітридів і карбідів.

Склад «білого» шару визначається матеріалом електрода. Так, при ЕІЛ сталі 45 твердим сплавом Т15К6 утворюється шар з мікротвердістю близько 27–28 ГПа, що головню містить карбіди вольфраму та титану. Зона термічного впливу має аустенітно-мартенситно-карбідну структуру, тоді як перехідний шар — аустенітно-сорбітно-мартенситну.

Аустеніт утворюється під час охолодження внаслідок дифузійного насичення азотом; зі зменшенням частки азоту у відповідній зоні частка мартенситу після охолодження зростає.

Схему процесу й загальний вигляд установки подано на рис. 3.1 і 3.2.

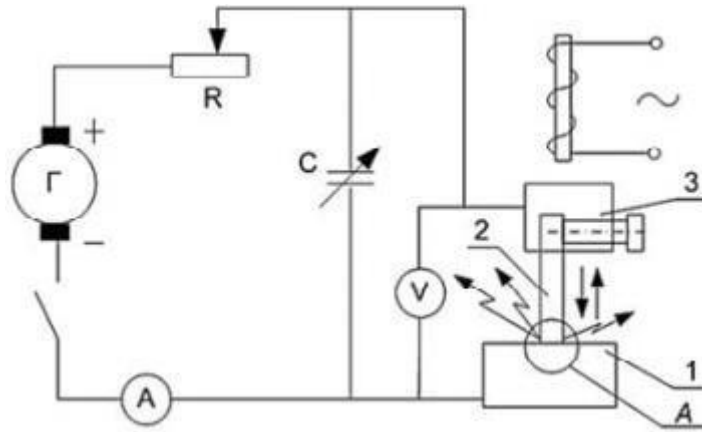


Рисунок 3.1 – Принципова схема ЕІЛ-установки «Елітрон-20»:

1 – оброблювана деталь; 2 – електрод; 3 – електромагнітний вібратор.



Рисунок 3.2 – ЕІЛ-установка «Елітрон-20»: 1) генератор; 2) вібратор; 3) експериментальний зразок; 4) електроди.

Генератор містить блок живлення, зарядно-розрядний модуль і блок керування. Працює від мережі змінного струму 220 ± 11 В, 50 Гц; споживана потужність — не більше 0,4 кВт. Зарядно-розрядний блок конденсаторів, керований перемикачем «Ємність» на задній панелі, дозволяє задавати ємність накопичувальних конденсаторів 200 або 360 мкФ. Амплітуду напруги на них можна плавно встановлювати в межах 15–90 В. Генератор формує імпульси технологічного струму 0,5–2,8 А, живить обмотки вібратора, контролює задані

режими обробки та керує процесом ЕІЛ. Конструктивно виконаний як переносний прилад.

Вібратор змонтований у діелектричному пластиковому корпусі з осердям електромагніта та котушкою; на якорі закріплено механічний електродотримач. Призначення — комутація розрядного кола віброуючим електродом із частотою 100 Гц, що періодично контактує з виробом. Амплітуда вібропереміщень електрода регулюється в межах 0,2–1,0 мм. Маса вібратора — 0,26 кг.

Електроіскрове легування на установці «Елітрон-20» виконується за прямого контакту електродом вручну. Технологія забезпечує: товщину нанесеного шару на виступах мікрорельєфу до 0,12 мм; висоту мікронерівностей покриття 16–80 мкм; продуктивність нанесення до 5,0 см²/хв.

3.2. Зразки для випробування

Досліджували два типи зразків — із прямокутним та круглим перетином — зі сталі 18ХГТ, оскільки саме з цього матеріалу виготовлено ремонтований вал зчеплення. Покриття на бічну робочу поверхню наносили методом електроіскрового легування електродом зі сталі 65Г на установці «Елітрон-20» [23] (див. рис. 3.2).



Рисунок 3.3 – Зразки для експериментів.

3.3. Методика нанесення покриття

Провести електроіскрове легування зразків зі сталі 18ХГТ електродом зі сталі 65Г у «м'якому» та «грубому» режимах відповідно до технологічної інструкції на установці «Елітрон-20» (див. рис. 3.4).

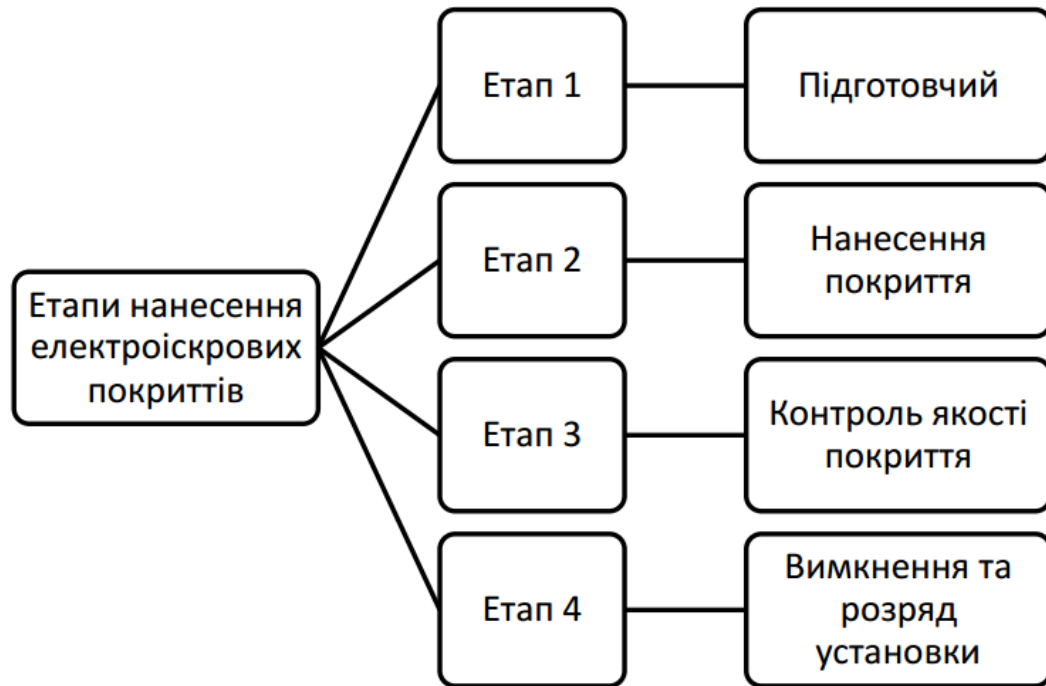


Рисунок 3.4 – Послідовність нанесення електроіскрового покриття

Підготовка та порядок виконання робіт:

1. Встановити генератор на робочому столі.
2. Під'єднати вібратор до генератора.
3. Закріпити в електродотримачі електрод, підібраний за перетином і маркою.
4. Під'єднати кабель до генератора; інший кінець під'єднати до пристосування для кріплення зразка.
5. Підключити установку до мережі 220 В.
6. Потенціометром «Струм» задати робочий струм відповідно до технологічної інструкції для «Елітрон-20».
7. Закріпити зразок у пристосуванні.
8. Увімкнути установку, взяти вібратор у руку.
9. Доторкнутися електродом до зразка (після контакту електрод почне вібрувати).
10. Відрегулювати амплітуду вібрації потенціометром «Амплітуда».
11. Розпочати легування, рівномірно переміщуючи електрод по поверхні зразка.
12. Перевірити оброблену поверхню через лупу з 4-кратним збільшенням;

необроблені ділянки доопрацювати.

13. Вийняти зразок із пристосування.

14. Після завершення роботи вимкнути установку і розрядити ємності дотиком електрода до заземленої поверхні (робочого столу).

3.4. Методика дослідження шорсткості та мікротвердості поверхні

За підсумками вимірювань будуємо профіль поверхні вздовж заданої прямої та за допомогою ПЗ обчислюємо параметри шорсткості (табл. 3.3). Вимірювання шорсткості виконано профілометром моделі 170621 (рис. 3.5).

Таблиця 3.3 — Технічні характеристики профілометра 170621.

Параметри	Значення
Вимірюваний параметр шорсткості поверхні за ГОСТ 2789-73	Ra
Ступінь точності профілометра 170621	2
Верхня межа піддіапазона, мкм	0,1; 1; 10
Межа основної погрішності, що допускається, профілометра	0,03Ravп+ 0,6Ra
Мінімальний крок шорсткості вимірюваної поверхні, мм	0,004
Рівень шуму й внутрішніх вібрацій по Ra, мкм, не більш	0,01
Відлік кроку, мм	0,25; 0,8; 2,5
Швидкість трасування датчика, мм/с	1
Довжина траси обмацування при вимірі, мм	1,5; 3; 6
Найменша дискретність відліку, мкм	0,0001
Мінімальний діаметр отвору, що перевіряється, мм: - на глибині до 20 мм - на глибині до 130 мм	6 16
Радіус кривизни щупа, мм	10+2,5
Радіус кривизни робочої частини опори датчика в площині виміру, мм, не менш	125

Габаритні розміри, мм, не більш: - привод - датчики - блок електронний - стійка	210x60x75 170x15,5x15,8 340x320x180 410x200x300
Маса, кг, не більш: - привод - датчики - блок електронний - стійка	1,2 0,2 7,0 16,2



Рис. 3.5. Профілометр 170621

Шорсткість визначали контактним методом. Мікротвердість вимірювали мікротвердоміром ПМТ-3 (рис. 3.6).



Рисунок 3.6 – Мікротвердомір ПМТ-3.

ПМТ-3 — прилад для визначення мікротвердості металів, сплавів, скла, абразивів, кераміки та мінералів методом вдавнення алмазного індентора. Оптична схема та принцип роботи ґрунтуються на зануренні алмазної піраміди в матеріал під заданим навантаженням і подальшому вимірюванні лінійних розмірів діагоналі відбитка. Значення мікротвердості визначають як відношення прикладеного нормального навантаження до умовної площі бічної поверхні отриманого відбитка.

Під час вимірювання зразок установлюють на предметний столик, у полі зору мікроскопа обирають ділянку для індентації та суміщують її з центром. Далі, повернувши столик на 180° , зразок підводять під індентор; арретир звільняє шток із вантажем, здійснюється вдавнення, після чого піраміду піднімають. Зразок знову підводять під об'єктив і при збільшенні $\times 200$ за допомогою окулярного мікрометра вимірюють діагональ відбитка.

Відліковий вузол мікрометра складається з барабана і каретки з рухомою сіткою; перехрестя сітки послідовно наводять на протилежні кути відбитка. За кількістю поділок, на яку зміщено лімб барабана, за таблицями [25] визначають довжину діагоналі в міліметрах і обчислюють твердість HV (кгс/мм²). Для підвищення точності окуляр повертають на 90° і вимірюють другу діагональ; за двома значеннями беруть середню і розраховують середню мікротвердість.

Мікротвердість також може бути обчислена, враховуючи прикладене навантаження та середню довжину діагоналі відбитка, за відповідною формулою 3.1:

де: P — навантаження, прикладене до алмазного індентора, кгс;

d — середнє арифметичне довжин діагоналей відбитка, мм;

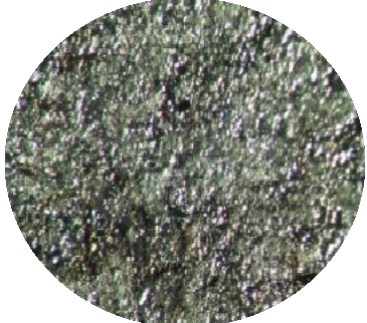
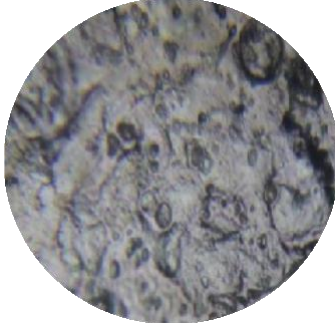
1,854 — коефіцієнт перерахунку від довжини діагоналі до площі відбитка.

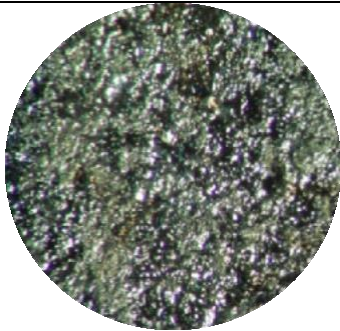
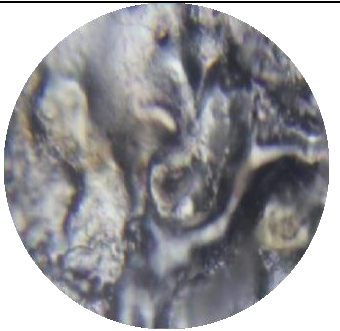
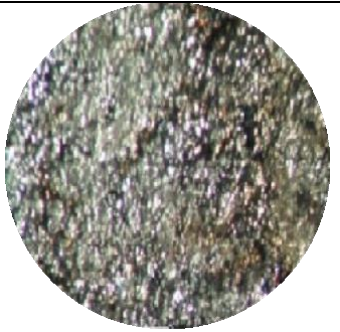
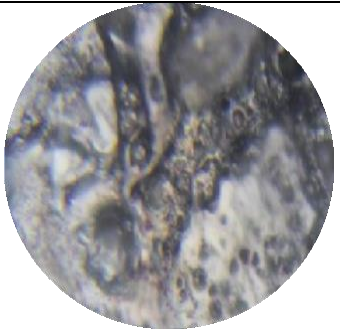
Вимірювання мікротвердості для кожного зразка виконували щонайменше тричі.

3.5. Результати дослідження нанесеного шару

На приповерхневий шар зразків із сталі 18ХГТ нанесено покриття зі сталі 65Г за різних режимів; отримані результати зведено до табл. 3.4.

Таблиця 3.4 — Мікро- та макрознімки зразків.

Сила струму, А	Щільність струму, А/мм ²	Структура зразка під мікроскопом	
		X50	X200
0,8 – 1,0	0,04 – 0,51		

1,0 – 1,2	0,076 – 0,102		
2,5 – 2,6	0,127 – 0,132		

Твердість зразків із покриттям та контрольного зразка без покриття визначали на мікротвердомірі ПМТ-3М з навантаженням 0,98 Н відповідно до ДСТУ ISO 6507-1:2007 [25]. Контрольний зразок піддавали гартуванню при 960 °С і відпуску при 540 °С протягом 2 год. Узагальнені результати твердості наведено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 — Твердість поверхні зразків із покриттям за різної щільності струму та контрольного зразка без покриття.

№ випро- бу- вання	Твердість поверхні зразка, ГПа			
	Контроль- ний після тер- мообробки	Покриття при щільності стру- му 0,04–0,51 А/мм ²	Покриття при щільності струму 0,076–0,102 А/мм ²	Покриття при щільності струму 0,127– 0,132 А/мм ²
1	13,8	19,6	22,3	17,2
2	8,9	14,7	25,21	24
3	12,6	19,6	19,7	19,6
4	13,8	19	18	18,6
5	10,9	19	16,8	20,59
6	13,7	17,05	16,3	22,3

7	13,1	15,3	18,94	19,98
8	15,4	13,9	17,65	18,9
Середнє	12,77	17,25	19,44	20,14

За результатами випробувань встановлено, що зразки сталі з покриттям, отриманим методом електроіскрового легування, характеризуються вищою твердістю порівняно зі зразками після термообробки. Товщину нанесеного шару визначали мікрометром (рис. 3.7).



Рисунок 3.7 – Вимірювання товщини наплавленого шару.

Підсумки вимірювань товщини та шорсткості подано на рис. 3.8 і 3.9.

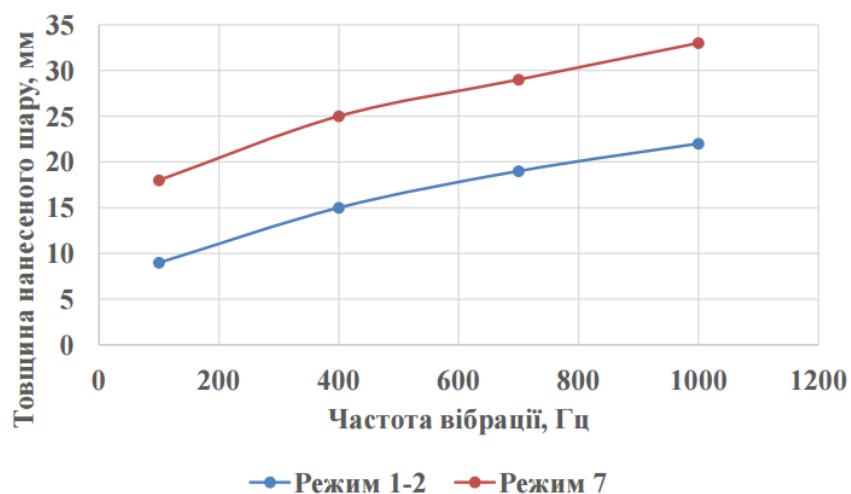


Рисунок 3.8 – Товщина покриття як функція частоти вібрацій електрода.

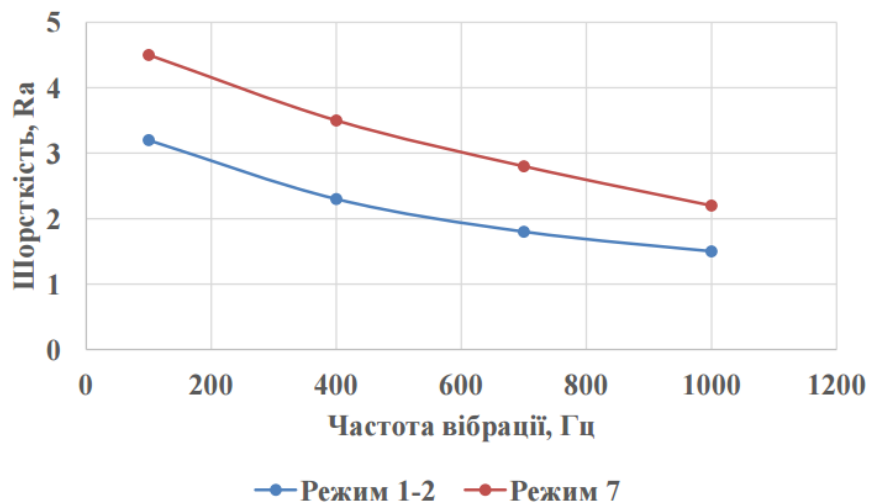


Рисунок 3.9 – Зміна товщини шару залежно від частоти вібрацій електрода.

Висновок

Електроіскрова обробка металів ґрунтується на електричній ерозії під дією іскрового розряду в газовому середовищі (здебільшого — на повітрі) та полярному переносі продуктів ерозії на катод (деталь), де формується шар зі зміненими структурою й складом.

Ручні установки для ЕІЛ включають: генератор імпульсів, електромагнітний вібратор, легуючий електрод і об'єкт оброблення. Як легуючий матеріал застосовують сталь 65Г, а робочим інструментом слугує ручний електромагнітний вібратор.

Технологічна послідовність ЕІЛ: підготовка → нанесення покриття → контроль якості → вимкнення та завершальні дії.

Експериментально встановлено, що режим обробки істотно впливає на властивості покриття. Так, мікротвердість загартованого необробленого зразка (вал зчеплення) становить 15,4 ГПа, тоді як за другим режимом при щільності струму 0,076–0,102 А/мм² — 25,21 ГПа. Отже, поверхня стає міцнішою (приблизно на 39%), що, своєю чергою, подовжує ресурс вузла.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Загальні відомості про охорону праці на підприємстві

«Охорона праці» — це цілісна система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я й працездатності працівника під час трудової діяльності [27]. Керівництво підприємства забезпечує безпечні умови праці відповідно до вимог [28].

Територія, будівлі та обладнання майстерні загалом відповідають нормам охорони праці. Майданчики для зберігання техніки спрофільовані так, щоб дощові та талі води відводилися до зовнішніх стічних каналів. Ширина внутрішніх доріг становить 7 м, що допускає двосторонній рух; відкриті ями та люки відсутні. Освітлення достатнє, працює витяжна вентиляція. Все обладнання заземлене, стан заземлення контролює енергетик господарства. Відстані між верстатами 2–3 м, що відповідає нормам.

Працівники ЦРМ проходять інструктажі з охорони праці (постійні та тимчасові) відповідно до [29]. Вступний і первинний інструктаж проводить фахівець з охорони праці, а повторні, позапланові та цільові — уповноважені інженерно-технічні працівники за наказом керівника. Структуру служби охорони праці подано на рис. 4.1. Облік інструктажів ведеться у спеціальних журналах. Регулярність повторних інструктажів — раз на 3 місяці. Перевірка знань з електробезпеки, охорони праці та пожежної безпеки проводиться щороку для працівників майстерень і механізаторів, а для інженерно-технічних працівників — один раз на три роки.

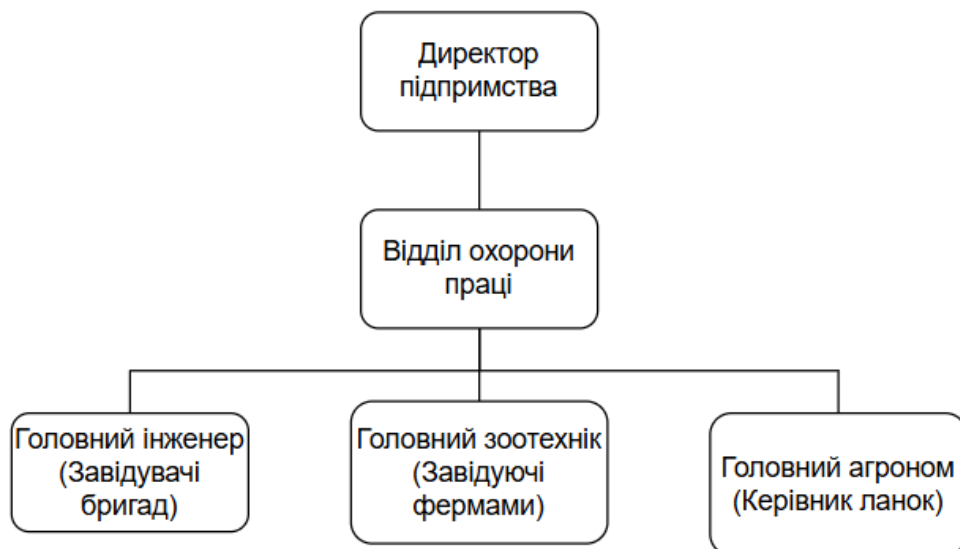


Рисунок 4.1 – Організаційна структура служби охорони праці підприємства.



Рисунок 4.2 – Процес проведення інструктажу на виробництві.

4.2. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів на дільниці з відновлення деталей зварюванням та наплавленням

Ремонтну майстерню зведено на початку 1980-х. Система опалення — парова, з власною котельнею під вугілля. Нині це економічно не вигідно, тож стаціонарне опалення не працює; приміщення обігрівають «буржуйками», спалюючи дрова, а подекуди й інші горючі матеріали (шини, паси тощо). Через холод і протяги зростає захворюваність працівників. Серед професійних недуг домінує ревматизм. Раніше господарство надавало пільгові путівки до санаторіїв, однак нині через брак коштів ця практика припинена. Піки лікарняних припадають на осінньо-зимовий і весняно-зимовий періоди; значна частина персоналу — працівники передпенсійного віку, які важче переносять міжсезоння.

Під час зварювання та наплавлення на організм діють хімічні, фізичні та психофізіологічні фактори. Хімічна небезпека при ручному дуговому зварюванні вуглецевих сталей електродами з фтористо-кальцієвим покриттям зумовлена аерозолями (сполуки Fe, Mn, Si, Ti) і токсичними домішками (фториди, фтороводень). При напавленні під флюсом, попри меншу кількість пилу, зростає виділення HF. Такі агенти можуть спричиняти гострі інтоксикації й хронічні профзахворювання (бронхіти, пневмоконіози тощо).

Фізичні фактори: при роботі з флюсами (засипання в бункер, відбивання шлаку) у повітрі утворюється дрібнодисперсний пил; при ручному зварюванні

спостерігаються надвисока яскравість дуги, інтенсивні УФ та ІЧ випромінювання, що здатні викликати електроофтальмію, кон'юнктивіт, помутніння кришталика. Відсутність спецодягу і взуття, що екранують теплове випромінювання, загрожує порушенням терморегуляції й тепловим ударом. Рівень шуму — помірний. Висока напруга та можливість доторку до відкритих струмоведучих частин створюють ризик ураження електричним струмом. Іскри, бризки розплавленого металу й шлаку можуть спричинити опіки та травми органів зору, а також підвищують пожежну небезпеку.

Психофізіологічні навантаження проявляються як статична перенапруга (тривала робоча поза, безперервна робота), так і зорове напруження від постійного контролю якості шва в несприятливих умовах освітлення та мікроклімату.

4.3. Заходи по забезпеченню захисту працівників від дії шкідливих та небезпечних факторів

Щоб запобігти захворюваності, за наказом керівництва в господарстві передбачено такі заходи:

- усунення протягів у виробничих приміщеннях;
- своєчасна видача теплового спецодягу;
- регулярна роз'яснювальна робота місцевим лікарем щодо причин захворювань.

Коли впровадити цілком безпечний і нешкідливий технологічний процес неможливо, необхідно знижувати рівні небезпечних і шкідливих чинників до гранично допустимих значень.

Концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони мають відповідати вимогам ДСН 3.3.6.037-99 та ДСН 3.3.6.042-99 [29, 30]. Допустимі рівні ультразвуку для операторів і в зварювальних цехах протягом 8-годинної зміни — згідно з ДСН 3.3.6.037-99 [31]. Норми на виробничу локальну вібрацію від допоміжного обладнання також визначені ДСН 3.3.6.037-99 [31].

Якщо зниження рівнів небезпечних і шкідливих факторів до ГДК неможливе з огляду на технологію, виконання зварювання, наплавлення та

різання металів без засобів колективного й індивідуального захисту, що забезпечують безпеку, забороняється.

4.4. Правила безпечного виконання робіт при зварювальних та наплавочних роботах

Безпечність робіт у зварювальному виробництві значною мірою визначається правильною організацією робочого місця [32]. Робоче місце зварювальника, з одного боку, — це підсистема «людина–машина» з усім необхідним оснащенням у структурі виробництва; з іншого — виділена частина площі дільниці, цеху чи монтажного майданчика, де один фахівець або бригада виконують зварювально-наплавлювальні операції.

Головна мета організації та обслуговування робочого місця — забезпечити безперервну й якісну роботу за оптимального фізичного навантаження й помірної нервової напруги, а також створити умови безпеки як для зварника, так і для оточення.

Якість організації суттєво впливає на рівень небезпечних і шкідливих психофізіологічних факторів: фізичних (статичних і динамічних), нервово-психічних (перенапруга аналізаторів, монотонність), а також на розумові та емоційні перевантаження. Під час ручного зварювання, коли рухи повільні, поза часто вимушена, а контроль зони зварювання безперервний, домінують тривалі статичні навантаження. Їх величина залежить від маси інструменту (електродотримача, пальника зі шлангом), щитка, жорсткості спецодягу та робочої пози.

Робоча поза — узгоджене положення частин тіла (стоячи, сидячи, лежачи) — визначається просторовим розміщенням зони зварювання, конструкцією інструмента, характеристиками ЗІЗ, зварювального та допоміжного оснащення. Спільним для всіх поз є вимушеність положення і тривала статична робота м'язів: локально (рука, що тримає інструмент) і регіонально (м'язи, що підтримують позу).

Просторове планування робочого місця — взаємне розташування вузла, обладнання, оснащення та зварника — виконують з урахуванням антропометрії й

біомеханіки працівника, особливостей зору, мінімізації непотрібних переміщень, зниження напруженості пози та підвищення безпеки.

Щоб зменшити втому, зону зварювання розміщують у межах оптимальної робочої зони (див. рис. 4.2). Це забезпечує достатню видимість зварювальної ванни, точність рухів, меншу роботу м'язів робочої руки та позу без надмірних статичних навантажень. На стаціонарних постах потрібного положення досягають поворотом і фіксацією вузла спеціальними пристроями. Висоту зони зварювання добирають з урахуванням зросту зварювальника H .

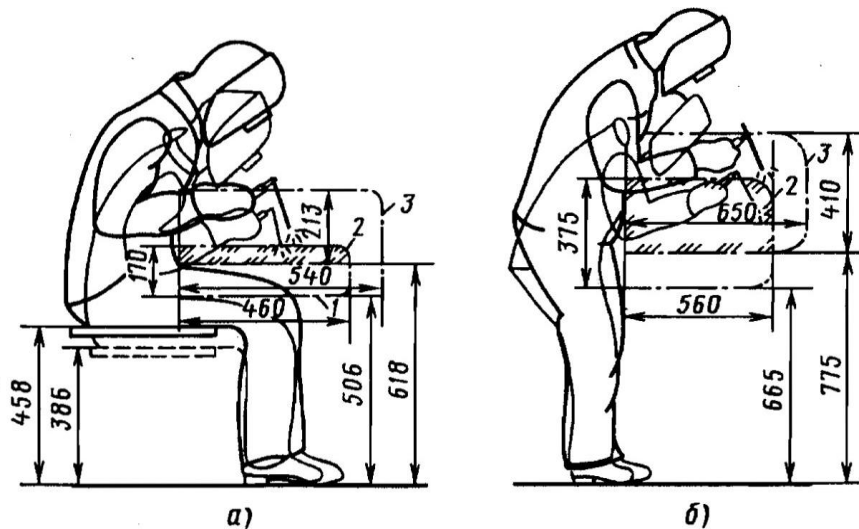


Рисунок 4.2 – Оптимальна робоча зона при ручному зварюванні: варіанти «сидячи» (а) та «стоячи» (б). Позначення: 1 — низький зріст (до 158,5 см); 2 — зона антропометричної нейтральності; 3 — високий зріст (від 177,5 см).

До основних параметрів стаціонарного робочого місця належать: висота d розташування зони зварювання від підлоги, її глибина від краю стола, а також висота сидіння a і висота підставки для ніг b (для роботи сидячи). Габарити робочого місця добирають з урахуванням зросту зварювальника. Щоб одним постом могли комфортно користуватися працівники різного зросту, висоти d та a задають, орієнтуючись на зварників високого зросту, тоді як глибину z підбирають під потреби низькорослих. Для зручності роботи зварювальники невисокого зросту застосовують підставку для ніг; оптимальні значення b і a визначають за відповідним графіком.

4.5. Дії у разі настання надзвичайної ситуації (пожежі)

У разі пожежі працівники повинні виконати три кроки:

- негайно зателефонувати до пожежної охорони;
- сповістити всіх працівників про загоряння;
- організувати евакуацію людей, розпочати гасіння та подбати про збереження матеріальних цінностей.

За появи осередків займання під час роботи слід зупинити процес і вжити заходів для їхнього гасіння. Якщо впоратися самотійно неможливо — повідомити бригадира або керівника.

У разі несправності зварювального агрегата, кабелів, електродотримача чи засобів захисту (щиток, шолом-маска) роботу треба припинити й поінформувати керівника робіт. Відновлення можливе лише після усунення дефектів уповноваженим персоналом.

Коли в приміщенні виникла загазованість і не працює витяжна вентиляція, роботи призупиняють і провітрюють приміщення. Зовнішні роботи також слід зупинити під час дощу або снігопаду; продовжувати їх можна тільки після припинення опадів або встановлення навісу над робочою зоною електрозварювальника.

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Розрахунок ключових показників виконуємо відповідно до рекомендацій [33] і на підставі результатів, отриманих у розділі 2 пояснювальної записки. Економічну ефективність оцінюємо для річної програми відновлення валів у обсязі $W = 100$ шт. Сукупну вартість технічного оснащення технологічного процесу приймаємо за формулою 5.1:

де: $C_{об}$ — орієнтовна питома вартість обладнання $\approx 10\,000$ – $12\,000$ грн на одного працівника, грн;

$C_{осн}$ — вартість технологічного оснащення, грн;

$C_{птз}$ — вартість підйомно-транспортних засобів, грн.

$$C_{осн} = 0,2 \cdot C_{об} = 0,2 \cdot 1000 = 200 \text{ грн.}$$

$$C_{птз} = 0,25 \cdot C_{об} = 0,25 \cdot 1000 = 250 \text{ грн}$$

$$\Phi_{ос} = 10000 + 200 + 250 = 10450 \text{ грн}$$

Собівартість виконання ремонтних робіт визначаємо за такою формулою 5.2.

Рівень оплати праці основних виробничих робітників становить проводиться за формулами 5.3 та 5.4:

$$C_0 = 0,88 \cdot 85 \cdot 100 = 7480 \text{ грн}$$

де: T — трудомісткість робіт, люд.-год;

$C_{год}$ — середня погодинна оплата праці робітника, грн;

W — річний обсяг програми, шт.

$$C_{год} = 0,08 \cdot 7480 = 598 \text{ грн}$$

$$C_{нрх} = 0,37(7480 + 598) = 2989 \text{ грн}$$

$$C_{зпн} = 7480 + 598 + 2989 = 11067 \text{ грн}$$

Розмір амортизаційних відрахувань на обладнання визначаємо за формулою 5.7:

$$A_{об} = 0,1 \cdot 1000 = 100 \text{ грн}$$

Сума відрахувань на ремонт обладнання визначається за формулою 5.8:

$$C_{роб} = 0,035 \cdot 1000 = 35 \text{ грн}$$

Обсяг витрат на ремонтні матеріали визначають за формулою 5.9:

$$C_m = 0,15 \cdot 7480 = 1122 \text{ грн}$$

Обсяг витрат на електричну енергію визначають за формулою 5.10:

$$C_e = 44 \cdot 3,26 = 143,4 \text{ грн}$$

де: $W_{e.p.}$ – обсяг споживання електроенергії під час виконання технологічної операції, кВт;

C_e – тариф на електроенергію за 1 кВт·год, грн.

$$C_n = 11067 + 100 + 35 + 1122 + 143,4 = 12467,4 \text{ грн}$$

Собівартість одиниці виробу визначають за формулою 5.11:

$$B_d = \frac{11467,4}{100} = 114,7 \text{ грн}$$

Значення приведених витрат визначають за формулою 5.12:

$$B_{пр}^1 = 114,7 + (0,15 \cdot 104,5) = 130,4 \text{ грн}$$

де: K_n — нормативний коефіцієнт відрахувань, $K_n = 0,15$;

K_d — капіталовкладення на одну деталь, грн, розраховується за формулою 5.13:

$$K_d = \frac{10450}{100} = 104,5 \text{ грн}$$

Витрати на одиницю деталі з ПДВ визначають за формулою 5.14:

$$B_{пр} = 130,4 + (0,2 \cdot 130,4) = 156,5 \text{ грн}$$

Ціна згідно з прейскурантом на 1 шт. дорівнює:

$$C_d = 230 \text{ грн}$$

Показник рентабельності становить визначається за формулою 5.15:

$$P_p = \frac{230-156,5}{156,5} \cdot 100 = 46,9 \%$$

Очікуваний за рік економічний ефект визначимо за формулою 5.16:

$$E_p = (230 - 156,5) \cdot 100 = 7350 \text{ грн}$$

Розрахунковий термін окупності визначимо за формулою 5.17:

$$O_p = \frac{10450}{7350} = 1,4 \text{ років}$$

Оцінювання доцільності застосування розробленої технології відновлення деталі проводимо за техніко-економічним критерієм, зіставляючи значення O_p та коефіцієнта ефективності K_e з нормативами ($K_{e,n} > 0,15$, $O_p < 6,0$ року) розрахуємо за формулою 5.18:

$$K_e = \frac{(230 - 156,5) \cdot 100}{10450} = 0,7$$

Проведений аналіз розрахунків підтверджує раціональність застосування запропонованої технології відновлення вала зчеплення трактора ПМЗ.

Таблиця 5.2 — Результати техніко-економічної оцінки відновлення вала зчеплення.

Показники	Значення показників
Об'єм впровадження, шт.	100
Об'єм капіталовкладень, грн.	10450
Загальна трудомісткість, люд.-год.	88
Виробничі витрати, грн..	12467,4
Витрати 1 деталь з врахуванням ПДВ, грн.	114,7
Прейскурантна ціна на 1 деталь, грн..	230
Випуск продукції на 1 грн. основних фондів, грн.	1,8
Рентабельність виробництва, %	46,9
Річний економічний ефект, грн.	7350
Термін окупності капіталовкладень, рок.	1,4

ВИСНОВОК

Аналіз відмов вала головного зчеплення показав, що близько 65–70 % несправностей пов’язані зі зносом посадкової поверхні під підшипник 62205; величина зносу зазвичай не перевищує 0,1 мм, що потребує спеціальних методів відновлення, недоступних більшості ремонтних підприємств. Водночас найпоширенішим і економічно доцільним способом, який нині застосовується, є наплавлення в середовищі CO_2 . Перехід на електроіскрове відновлення дає змогу скоротити тривалість ремонту на 19 %, а за наявності лише одного дефекту (знос посадки під 62205) — виконати відновлення без демонтажу вала з трактора. Нанесення шару зі сталі 65Г істотно підвищує міцність поверхні. Електроіскрова обробка базується на електроерозії в газовому середовищі (переважно повітрі) та полярному переносі продуктів ерозії на катод (деталь), де формується модифікований шар. Ручні установки містять генератор імпульсів, електромагнітний вібратор, легувальний електрод і деталь; як легувальний матеріал застосовують сталь 65Г, а як інструмент — ручний електромагнітний вібратор. Процес включає підготовку, нанесення покриття, контроль його якості та вимикання установки. Режим обробки істотно впливає на властивості шару: мікротвердість загартованого необробленого зразка з вала становить 15,4 ГПа, тоді як на другому режимі за щільності струму 0,076–0,102 А/мм² — 25,21 ГПа (зростання на 39 %), що подовжує ресурс вузла. Оцінка служби охорони праці підприємства засвідчила задовільний рівень безпеки, виявлено небезпечні та шкідливі фактори в майстерні та на ділянці зварювання/наплавлення і запропоновано заходи їх усунення. Розрахунки підтверджують доцільність упровадження електроіскрового відновлення вала зчеплення ПМЗ: очікуваний річний економічний ефект — 7350 грн, термін окупності — 1,4 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стоянов В.І., Масненко В.І., Кисільов В.М. Трактори та автомобілі: навч. посіб. Харків: ХНАУ, 2015. 340 с.
2. Головчук А.Ф. Експлуатація і ремонт сільськогосподарської техніки: підручник. Київ: Грамота, 2003. 336 с.
3. Динаміка автотранспортних засобів / За ред. Кудріна А.В. Київ: НАУ, 2012. 280 с.
4. Рибак А.П. Трактори та двигуни: навч. посіб. Київ: Центр учбової літератури, 2016. 412 с.
5. Каретников В.І., Гур'єв В.М. Двигуни внутрішнього згоряння. Харків: ХНАДУ, 2014. 298 с.
6. Костюк О.М., Барсуков В.П. Двигуни тракторів і автомобілів: конструкція, робота та технічне обслуговування. Харків: ХНАДУ, 2010. 336 с.
7. Пащенко В.Ф. Технічна експлуатація машин. Київ: Центр учбової літератури, 2011. 320 с.
8. Положення про технічне обслуговування та ремонт машинно-тракторного парку. Київ: Мінагрополітики України, 2010. 64 с.
9. Правила дорожнього руху України. Київ: Алерта, 2022. 128 с.
10. ГОСТ 18322–78. Система технічного обслуговування і ремонту техніки. Терміни та визначення.
11. Лелеко В.Д., Філонов В.П. Технологія технічного обслуговування та ремонту машин. Харків: ХНТУ, 2011. 288 с.
12. Тарасюк В.Г. Технічна експлуатація тракторів і автомобілів. Львів: Новий Світ-2000, 2014. 364 с.
13. Дьяків О.О. Ремонт і відновлення деталей машин. Київ: Каравела, 2017. 256 с.
14. Говорущенко М.Я. Основи експлуатації машинно-тракторного парку. Харків: ХНТУСГ, 2008. 412 с.

15. Shigley J., Mishke C., Budynas R. Mechanical Engineering Design. McGraw-Hill, 2011. 1136 p.
16. Heywood J. Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw-Hill, 2018. 1170 p.
17. Taylor C. The Internal Combustion Engine in Theory and Practice. MIT Press, 1996. 850 p.
18. Bosch Automotive Handbook. 10th ed. Robert Bosch GmbH, 2018. 1372 p.
19. Stachowiak G., Batchelor A. Engineering Tribology. 4th ed. Butterworth-Heinemann, 2013. 884 p.
20. Rao S.S. The Finite Element Method in Engineering. 6th ed. Butterworth-Heinemann, 2017. 782 p.
21. Totten G. Handbook of Automotive Engineering. CRC Press, 2014. 1450 p.
22. Pawlowski L. The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings. Wiley, 2008. 656 p.