



## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи магістра має 65 сторінок, 12 рисунків, 6 таблиць, 27 літературних джерел.

**Метою роботи** підвищення зносостійкості деталей сільськогосподарської техніки шляхом керування трибологічними властивостями їх поверхонь при застосуванні комбінованих технологій на базі електроіскрового легування.

**Об'єкт дослідження** – ресурсозберігаючі та енергоефективні методи формування якісних характеристик поверхонь деталей на базі електроіскрового легування.

**Предмет дослідження** – якісні параметри відновлених поверхневих шарів деталей сільськогосподарської техніки, що сформовані комбінованими технологіями на базі електроіскрового легування.

Проаналізовано особливості функціонування системи технічного сервісу сільськогосподарських підприємств, конструкція, умови роботи та причин втрати працездатності колінчатих валів двигунів внутрішнього згорання, існуючі методи відновлення зношених поверхонь.

Запропоновано комбіновану технологію відновлення зношених поверхонь ґрунтується на поєднанні переваг методів електроіскрового легування та поверхнево-пластичного деформування. Розроблено технологічні рекомендації щодо впровадження розробленої технології в практику сервісних підрозділів підприємств агропромислового комплексу.

Розглянуто питання охорони праці, запропоновано комплекс заходів щодо безпечної реалізації процесу відновлення.

Визначено техніко-економічні показники розробленої технології.

**КОЛІНЧАСТИЙ ВАЛ, ЗНОС, ВІДНОВЛЕННЯ, РЕМОНТ, ПОКРИТТЯ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, ЗМІЦНЕННЯ, ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНЕ ЛЕГУВАННЯ, ПОВЕРХНЕВО-ПЛАСТИЧНЕ ДЕФОРМУВАННЯ.**

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1 Аналіз особливостей системи технічного сервісу сільськогосподарської техніки.....	7
1.1 Структура та призначення системи технічного сервісу.....	7
1.2 Причини втрати працездатності тракторів та іншої сільськогосподарської техніки.....	9
1.2 Види зносу колінчастих валів.....	12
1.3. Методи відновлення зношених поверхонь.....	21
1.4 Висновки за розділом 1.....	29
Розділ 2 Удосконалення технології відновлення зношених поверхонь деталей сільськогосподарської техніки.....	31
2.1 Розробка вдосконаленого енергоефективного технологічного процесу відновлення зношених поверхонь колінчастого вала.....	31
2.2 Обробка наплавленого шару поверхнево-пластичним деформуванням.....	41
2.3 Висновки у розділі 2.....	46
Розділ 3 Охорона праці.....	47
3.1 Організація роботи з охорони праці на підприємстві.....	47
3.3 Рекомендації щодо впровадження безпечних і здорових умов праці ..	48
3.4 Висновки по розділу 3.....	51
Розділ 4 Техніко-економічна оцінка відновлення колінчастого вала.....	52
ВИСНОВКИ.....	56
Література.....	57
ДОДАТКИ.....	61

Інженерно-технологічний факультет СНАУ

## Вступ

Сільськогосподарський сектор є важливою опорою світової економіки, що забезпечує продовольчу безпеку, роботу та засоби до існування для мільйонів. Оскільки попит на збільшення виробництва продовжує зростати, потреба в ефективній і надійній сільськогосподарській техніці стає першочерговою. Технічна справність і надійність є двома найважливішими аспектами, які забезпечують роботу обладнання на оптимальному рівні продуктивності. Розуміючи ці елементи, зацікавлені сторони в сільськогосподарській галузі можуть підвищити продуктивність, зменшити витрати та досягти сталого розвитку своєї діяльності.

Під технічною справністю розуміється легкість технічного обслуговування, ремонту та обслуговування сільськогосподарської техніки. Він охоплює різні практики, які гарантують, що обладнання залишається функціональним і ефективним протягом усього терміну служби. Регулярне обслуговування та технічне обслуговування мають вирішальне значення для досягнення високого рівня технічної справності, оскільки вони запобігають механічним пошкодженням і продовжують термін служби обладнання. Наприклад, звичайні перевірки тракторів і комбайнів можуть виявити потенційні проблеми, такі як витік масла або зношені деталі, перш ніж вони переростуть у дорогу поломку. Вплив справності на ефективність роботи є значним; обладнання, яке добре обслуговується, працює більш плавно, тим самим скорочуючи час простою та збільшуючи продуктивність. Дослідження, проведене Американським товариством сільськогосподарських і біологічних інженерів, показало, що обладнання, яке належним чином обслуговується, може підвищити ефективність використання палива до 15%, підкреслюючи економічну вигоду від інвестицій у зручність обслуговування.

На надійність сільськогосподарської техніки впливає кілька факторів, зокрема якість конструкції та розробки, використовувані матеріали та виробничі процеси. Високоякісний дизайн і техніка гарантують, що машини можуть витримувати суворі сільськогосподарські завдання та суворі умови.

Наприклад, трактори, розроблені з міцною рамою та чудовою системою підвіски, демонструють більшу надійність під час важких польових робіт. Крім того, важливу роль відіграє вибір матеріалів; компоненти, виготовлені з міцних сплавів або вдосконалених полімерів, менш схильні до зносу. Крім того, технологічний прогрес значно підвищив надійність сільськогосподарської техніки. Такі інновації, як автоматизоване проектування (CAD) і аналіз скінченних елементів (FEA), дозволяють виробникам передбачити й пом'якшити потенційні точки збою в машинах ще до виробництва. Цей проактивний підхід веде до створення більш надійних машин, необхідних для ефективності сучасних сільськогосподарських операцій.

Наслідки недостатньої придатності до обслуговування та надійності можуть бути серйозними для фермерів і сільськогосподарських підприємств. Фінансові наслідки включають збільшення витрат на ремонт і незапланований простой, що порушує роботу та призводить до втрати прибутку. Наприклад, фермер, у якого зламався зернозбиральний комбайн під час піку збору врожаю, може зазнати значних збитків через зниження продуктивності та затримки реалізації врожаю. Крім того, неможливо переоцінити вплив на врожайність і продуктивність; надійна техніка забезпечує своєчасну посадку, зрошення та збирання врожаю, що є критично важливим для максимізації врожаю. Недостатня експлуатаційна придатність також має довгостроковий вплив на термін служби машин, що призводить до частіших заміन і вищих капітальних витрат. У звіті Асоціації виробників сільськогосподарської техніки наголошується, що погані методи технічного обслуговування можуть скоротити термін служби сільськогосподарського обладнання на цілих 30%, наголошуючи на необхідності ретельного обслуговування.

Щоб підвищити технічну працездатність і надійність, можна застосувати кілька стратегій. Одним з ефективних підходів є створення регулярних навчальних програм для операторів і обслуговуючого персоналу, гарантуючи, що вони добре обізнані з найкращими практиками догляду за

обладнанням. Обізнаний персонал може завчасно виявити потенційні проблеми та провести профілактичне обслуговування, тим самим зменшивши ймовірність серйозних поломок. Крім того, впровадження технологій прогнозного технічного обслуговування, які використовують аналітику даних і датчики Інтернету речей, може надати інформацію про продуктивність обладнання в реальному часі, дозволяючи своєчасно втручатися до того, як виникнуть збої. Співпраця між виробниками та фермерами є важливою для розробки кращих рішень для обслуговування; виробники можуть запропонувати індивідуальні плани технічного обслуговування та підтримку, а фермери можуть надати відгук про продуктивність техніки в реальних умовах. Ці симбіотичні відносини сприяють безперервному вдосконаленню, зрештою підвищуючи технічну працездатність і надійність сільськогосподарської техніки.

Важко переоцінити важливість технічної справності та надійності сільськогосподарської техніки. Оскільки сільськогосподарський сектор стикається зі зростаючими вимогами до ефективності та продуктивності, розуміння важливості цих факторів стає критичним. Зосереджуючись на регулярному технічному обслуговуванні, високоякісному проектуванні та впровадженні сучасних технологій, зацікавлені сторони можуть пом'якшити несприятливі наслідки, пов'язані з неналежним обслуговуванням. Прагнення до вдосконалення практики не тільки приносить користь окремим фермерам і підприємствам, але й сприяє загальній стійкості та розвитку сільськогосподарської галузі. По мірі просування вперед вкрай важливо, щоб усі учасники сільськогосподарського ланцюжка створення вартості віддавали пріоритет технічній справності та надійності машин, щоб забезпечити процвітаюче майбутнє виробництва продуктів харчування.

## Розділ 1

### Аналіз особливостей системи технічного сервісу сільськогосподарської техніки

#### 1.1 Структура та призначення системи технічного сервісу

Система технічного обслуговування є невід'ємною складовою сучасного бізнесу, виступаючи в якості магістралі, яка підтримує різноманітні операційні процеси. У швидкоплинному світі технологій компанії повинні пристосовуватися до вимог, що постійно змінюються, і надійна система технічного обслуговування може значно підвищити їхні можливості в цьому.

Важливість системи технічного обслуговування важко переоцінити, оскільки вона відіграє життєво важливу роль у допомозі підприємствам працювати ефективно та результативно. Компанії можуть досягти цього шляхом оптимізації процесів, автоматизації завдань і використання технологій для оптимізації робочих процесів [1]. Як в промислово розвинутих країнах, так і в країнах, що розвиваються, користувачі технологій роблять значний внесок у створення успішних нових продуктів і процесів [2]. Цей вплив підкреслює необхідність системи технічного обслуговування, яка не тільки підтримує поточні операції, але й заохочує інновації. Крім того, системи підтримки прийняття рішень (DMSS) — це комп'ютерні системи, які спеціалізуються на допомозі на різних етапах прийняття рішень [3]. Ці системи надають цінні дані, керовані даними, які можуть покращити стратегічне планування та операційну ефективність, роблячи систему технічного обслуговування незамінною для будь-якої організації, яка прагне процвітати в умовах конкуренції.

Мета системи технічного обслуговування виходить за межі простої операційної підтримки; він служить критичним мостом між розробниками, інженерами та кінцевими користувачами. Технічна система визначається як конкретна система, така як комп'ютерна програма або фізичний об'єкт, яка використовує певну технологію для надання основних послуг в організації [4].

Полегшуючи спілкування та розуміння між зацікавленими сторонами, система технічного обслуговування має на меті допомогти користувачам більш ефективно орієнтуватися в складнощах технології [5]. Це особливо важливо в епоху, коли дотримання галузевих норм і стандартів має першочергове значення. У цьому відношенні технічний текст відіграє вирішальну роль, оскільки він гарантує, що всі залучені сторони добре поінформовані про тонкощі системи та можуть працювати в рамках встановлених інструкцій [6]. Таким чином, система технічного обслуговування не тільки підвищує ефективність роботи, але й узгоджує організаційну практику з нормативними вимогами.

Структура системи технічної служби є найважливішим аспектом, який визначає її ефективність у досягненні організаційних цілей. Чітко визначена організаційна структура обслуговування клієнтів може значно підвищити ефективність, співпрацю та задоволеність клієнтів [7]. Важливо розуміти різні ролі та обов'язки в системі технічного обслуговування, гарантуючи, що кожен член команди добре оснащений, щоб зробити свій внесок у її успіх. Крім того, оптимізація структури IT-відділу є фундаментальною; розуміння ключових ролей, функцій і типів у цій структурі може допомогти підприємствам будь-якого розміру задовольнити свої специфічні потреби [8]. Крім того, інтеграція технологій є життєво необхідною для успішного впровадження системи технічного обслуговування. Організації повинні впроваджувати необхідну технологічну інфраструктуру та бездоганно інтегрувати її у своє робоче середовище, щоб забезпечити злагоджену роботу всіх компонентів [9]. Такий структурований підхід не тільки покращує загальну функціональність системи технічного обслуговування, але й дає можливість організаціям завчасно реагувати на зміну ринкових умов.

Таким чином, система технічного обслуговування є наріжним каменем ефективних бізнес-операцій, підкреслюючи важливість оптимізованих процесів, покращеного зв'язку та чітко визначеної структури. Його роль у підтримці прийняття рішень, сприянні залученню користувачів і забезпеченні

дотримання правил підкреслює його багатогранне призначення. Крім того, надійна структура, яка включає в себе технологічну інтеграцію та стратегії оптимізації, є важливою для максимізації переваг системи технічного обслуговування. Оскільки підприємства продовжують орієнтуватися в складному технологічному ландшафті, розуміння цих елементів дозволить їм сприяти інноваціям, підвищувати ефективність і, зрештою, досягати довгострокового успіху.

## **1.2 Причини втрати працездатності тракторів та іншої сільськогосподарської техніки**

### **Механічні несправності та проблеми з обслуговуванням**

Розповсюджені механічні несправності тракторів можуть суттєво вплинути на ефективність сільськогосподарських робіт[1]. який, неправильний догляд, природний знос деталей, проблеми з налаштуваннями механізмів та неналежне зберігання є основними факторами, які призводять до поломок[2]. Часто трактора можуть стикатися з такими несправностями, як зниження тяги, що зумовлює недостатню силу тяги, підвищене споживання пального та олії, а також проблеми з трансмісією[3]. Ці механічні несправності не лише знижують продуктивність, але й можуть призвести до значних витрат на ремонт і обслуговування.

Важливість регулярного технічного обслуговування тракторів та іншої сільськогосподарської техніки важко переоцінити, після чого це залежить від їхньої надійності та довговічності[4]. Регулярні перевірки стануть окремих вузлів, зчеплень та частин дозволено перевірити ваші проблеми, які можуть призвести до серйозних несправностей[5]. Технічне обслуговування також сприяє збереженню ресурсів тракторів, завдяки чому своєчасне виконання налаштувань або ремонтних робіт запобігає перевищенню граничних значень ресурсів, що може призвести до втрати продуктивності[6]. Таким чином, регулярне обслуговування є критичним для забезпечення стабільної роботи

сільськогосподарської техніки.



Наслідки нехтування ремонтом тракторів можуть бути катастрофічними для сільськогосподарських підприємств [7]. Збільшення навантаження на обладнання через несправності причини до затримки у виконанні технологічних операцій, що у своєму випадку може спричинити збільшення витрат на врожай [3]. Крім того, несвоєчасний ремонт за рахунок збільшення витрат на обслуговування, після складних проблем завжди коштують дорожче за прості. Важливо розуміти, що нехтування регулярними та ремонтом лише не знижує продуктивність, але й може негативно вплинути на загальний фінансовий стан аграрного бізнесу.

#### **Помилки оператора та відсутність навчання**

Неадекватне навчання операторів може суттєво вплинути на ефективність використання сільськогосподарського обладнання [8]. Коли оператори не отримують достатньої підготовки, це може призвести до неправильної експлуатації та, як наслідок, до зниження продуктивності техніки. Наприклад, повідомляються знання про правильні маневри та організацію сільськогосподарських робіт, які можуть викликати проблеми з рухом трактора, що в свою чергу завантажується на обладнання [9]. Це може призвести до зростання витрат на ремонт та обслуговування, а також до зниження загальної ефективності виконання технологічних операцій [7].

Розширені помилки оператора також можуть стати основною причиною несвоєчасних поломок і зниження продуктивності сільськогосподарської техніки [10]. Наприклад, невірне налаштування двигуна, недотримання інструкцій з експлуатації або ігнорування сигналів про несправності можуть призвести до серйозних збоїв у роботі трактора. Таким чином, такі проблеми, як постійне глухнення двигуна або перегріву, можуть бути наслідком неналежної експлуатації [11]. Ці помилки не тільки підвищують ризик поломок, але й загрожують безпеці оператора та інших працівників на полі.

Важливість безперервної освіти для операторів не можна недооцінювати [12]. Постійне навчання готовим оператором залишитися в курсі нових технологій, методів і стандартів безпеки, що є критичним успіхом для ефективної роботи сільськогосподарської техніки. Крім того, регулярні курси підвищення кваліфікації можуть включати в себе теми, пов'язані із сучасними підходами до обслуговування та ремонту сільськогосподарського обладнання [10]. Завдяки такій освіті оператори повинні уникати розширених помилок, підвищуючи надійність і продуктивність своєї техніки, що в свою чергу позитивно позначиться на загальних результатах сільськогосподарських робіт.

#### **Фактори середовища та зовнішні умови**

Ґрунт та погодні умови суттєво впливають на продуктивність сільськогосподарської техніки [6]. Важливим є те, що характеристики обґрунтовано можуть заважати або, навпаки, сприяти ефективності роботи тракторів і комбайнів. Наприклад, важка техніка може викликати ущільнення ґрунту, що негативно впливає на біологічні процеси, що відбуваються в ньому [13]. Неадекватний стан обґрунтовано може призвести до зниження врожайності, що, у свою чергу, вимагає підвищення навантаження на техніку. У результаті цього трактори працюють в умовах, які знижують їх ефективність, підвищуючи ризик поломок і збоїв у роботі.



матеріалів у моторне масло. Загальні приклади абразивних матеріалів включають металеву стружку, бруд і частинки самого масла, які можуть накопичуватися в результаті роботи двигуна. Наявність таких забруднень може посилити знос, що призведе до збільшення тертя та виділення тепла. Інші типи зношування включають адгезійне зношування, яке виникає, коли поверхні ковзають одна по одній, спричиняючи перенесення матеріалу, і втомне зношування, яке є результатом повторюваних циклів напруги, що призводить до мікроскопічних тріщин. Розуміння цих різних типів зносу має вирішальне значення для виявлення основних причин зносу колінчастого вала та впровадження ефективних стратегій технічного обслуговування.

Прояви зносу колінчастого вала часто можна визначити шляхом ретельного огляду поверхні колінчастого вала. Візуальні ознаки зносу включають подряпини на поверхні, подряпини та зміни текстури поверхні колінчастого вала. Поверхневі подряпини зазвичай з'являються у вигляді лінійних слідів або канавок, які вказують на видалення матеріалу з колінчастого вала через контакт з іншими компонентами двигуна. Подряпини можуть бути поверхневими, але можуть свідчити про основні проблеми, якщо вони проникають глибше в поверхню. Крім того, зміни текстури поверхні, такі як шорсткість або ямки, можуть вказувати на початок втомного зносу або корозійного пошкодження. Ці прояви можуть суттєво вплинути на продуктивність колінчастого вала, що призведе до дисбалансу, підвищеної вібрації та, зрештою, поломки двигуна. Тому раннє розпізнавання цих ознак шляхом регулярних оглядів має важливе значення для запобігання більш серйозних пошкоджень.

Кілька факторів впливають на швидкість зношування колінчастого вала, особливо важливими є властивості матеріалу колінчастого вала. Колінчасті вали зазвичай виготовляються з таких матеріалів, як чавун, кована сталь або алюмінієві сплави, кожен з яких має різні властивості, що впливають на зносостійкість. Наприклад, ковані сталеві колінчасті вали відомі своєю чудовою міцністю та стійкістю до втоми порівняно з чавунними аналогами,

що робить їх менш схильними до зношування в умовах високого навантаження. Твердість матеріалу також відіграє вирішальну роль; твердіші матеріали краще витримують абразивні навантаження, ніж м'які. Крім того, виробничий процес, такий як термічна обробка та поверхневе зміцнення, може підвищити зносостійкість колінчастого вала. Розуміння цих властивостей матеріалу має вирішальне значення для інженерів і механіків при виборі або проектуванні колінчастих валів для конкретних застосувань, оскільки це безпосередньо впливає на довговічність і продуктивність компонента.

Оцінка зносу колінчастого вала є життєво важливою для підтримки працездатності та продуктивності двигуна. Для оцінки стану колінчастого вала існують різні методи, починаючи з методів візуального огляду. Механіки часто перевіряють колінчасті вали на наявність явних ознак зносу, таких як задири або зміна кольору, що може свідчити про перегрів. Більш просунуті методи включають використання бороскопів — гнучких камер, які дозволяють перевіряти важкодоступні місця всередині двигуна. Інші інструменти, такі як циферблатні індикатори, можуть виміряти биття та допомогти виявити проблеми зі зміщенням. Основні показники, на які слід звернути увагу під час перевірки, включають ненормальний характер зносу, шорсткість поверхні та вимірювання зазору в підшипниках. Застосовуючи ці методи оцінки, механіки можуть виявити ранні ознаки зносу, дозволяючи своєчасно втручатися, щоб запобігти катастрофічним збоєм двигуна.

Впровадження профілактичних заходів має важливе значення для зменшення зносу колінчастого вала та забезпечення довговічності компонентів двигуна. Належне змащування стоїть на передньому краї цих заходів. Вибір мастильних матеріалів відіграє вирішальну роль; високоякісні моторні оливи зменшують тертя та створюють захисну плівку на колінчастому валу, зводячи до мінімуму прямий контакт з абразивними частинками. Крім того, використання оливи правильної в'язкості відповідно до специфікацій двигуна має вирішальне значення для підтримки оптимального змащення в різних умовах експлуатації. Регулярне технічне обслуговування, включаючи

заміну масла та фільтрів, допомагає видалити забруднення, які сприяють зношенню. Крім того, періодичні перевірки можуть виявити ранні ознаки зносу, дозволяючи вжити коригувальні дії, перш ніж вони призведуть до значних пошкоджень. Дотримуючись цих профілактичних заходів, оператори двигунів можуть значно зменшити випадки зносу колінчастого вала, забезпечуючи надійну роботу двигуна та подовжений термін служби.

Якщо колінчасті вали демонструють значний знос, необхідно ретельно розглянути варіанти ремонту та заміни, щоб відновити працездатність двигуна. Доступні різні методи ремонту, залежно від ступеня зносу та цілісності матеріалу колінчастий вал.

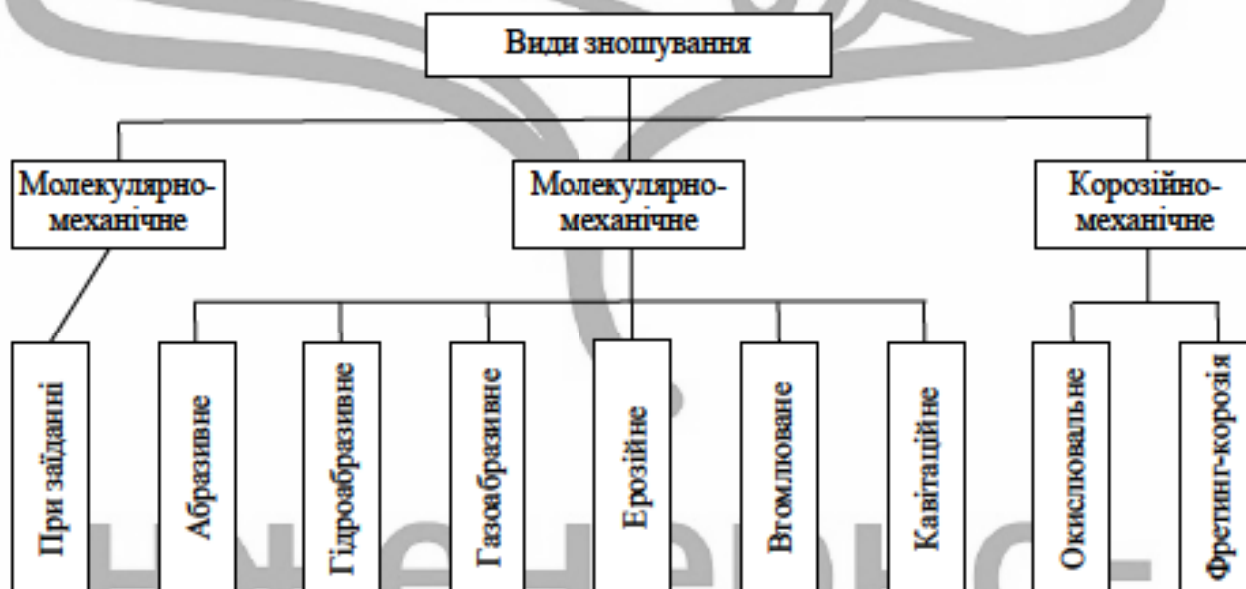


Рисунок 1.2 – Види зношування деталей

Одним із поширених підходів є зварювання, коли матеріал додається до зношених ділянок, ефективно відновлюючи профіль колінчастого вала. Ця техніка вимагає кваліфікованої робочої сили, щоб переконатися, що зварні шви міцні та належним чином інтегровані з вихідним матеріалом. Іншим методом є відновлення поверхні, яке передбачає механічну обробку колінчастого вала для видалення зношених ділянок і отримання гладкої рівної поверхні. Цей процес ефективний для незначного зносу, але може зменшити загальні розміри колінчастого вала, що вимагає ретельного вимірювання та

регулювання для підтримки належних зазорів двигуна. Зрештою, рішення відремонтувати або замінити колінчастий вал залежить від кількох факторів, включаючи серйозність зносу, вартість ремонту порівняно із заміною та очікувану довговічність після ремонту. У випадках значного зносу або порушення цілісності конструкції повна заміна може бути найбільш розумним варіантом для забезпечення надійної роботи двигуна.



Рисунок 1.4 – Ушкодження сальника колінвалу, який необхідно замінити

Розуміння зносу колінчастого вала має вирішальне значення для підтримки продуктивності та довговічності двигунів внутрішнього згорання.

Розглянемо різні типи зносу колінчастого вала, включаючи абразивний, адгезивний і втомний знос, висвітлюючи причини та приклади абразивних матеріалів, які сприяють погіршенню. Ми також досліджували візуальні прояви зносу колінчастого вала, такі як подряпини на поверхні та зміни текстури, які є життєво важливими для раннього виявлення. Було обговорено фактори, що впливають на знос, включаючи властивості матеріалу та виробничі процеси, наголошуючи на важливості вибору відповідних матеріалів для конкретних застосувань. Крім того, ми розглянули методи оцінки зносу колінчастого вала, від візуального огляду до передових

інструментів, таких як бороскопи, які допомагають виявити проблеми до того, як вони посиляться.

### **Види поломок колінчатих валів, причини та методи ремонту**

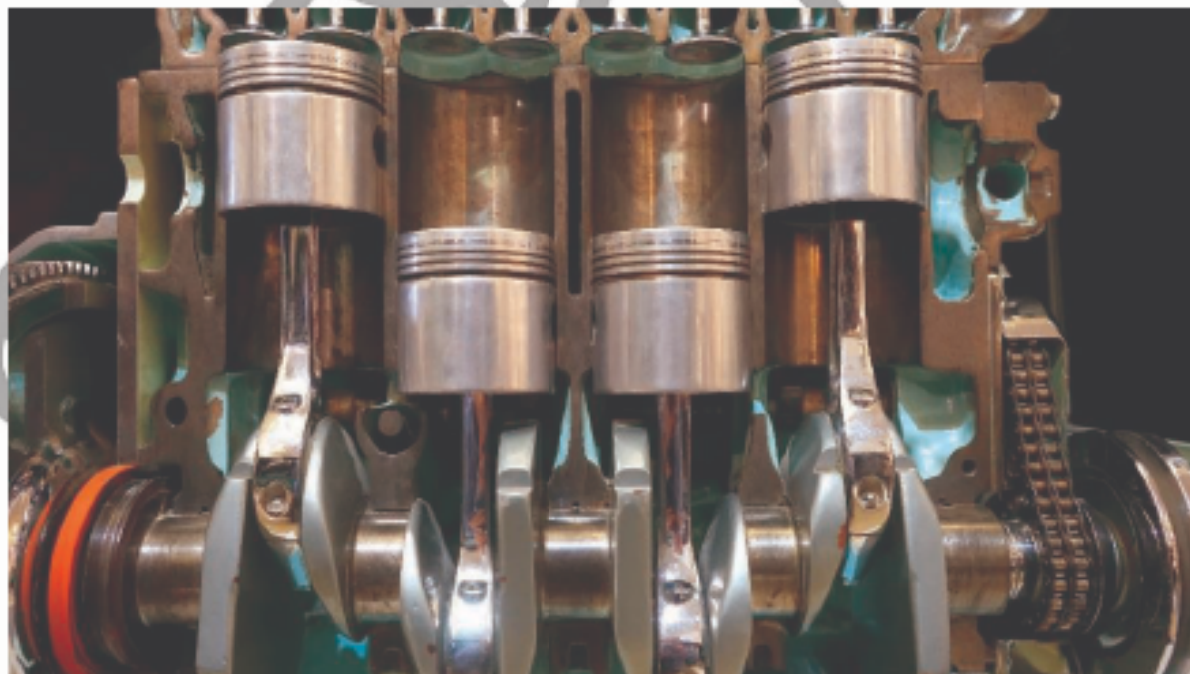


Рисунок 1.4 – Загальна конструкція двигуна внутрішнього згорання

### **Поширені види поломок колінчастого вала**

Зломи та тріщини є одними з найпоширеніших типів несправностей колінчастого вала і можуть виникнути внаслідок різних факторів, включаючи робоче навантаження та недостатнє змащення [1]. Коли колінчастий вал відчуває надмірне навантаження, особливо у високопродуктивних двигунах, це може призвести до руйнування в критичних областях, таких як шатун або головна шийка [2]. Ці переломи можуть виникнути через втому з часом або раптове перевантаження, що часто посилюється низькою якістю моторної оливи або наявністю забруднень у системі змащення [1]. Ремонт зламаних колінчастих валів зазвичай включає такі методи, як повторне шліфування для відновлення розмірів і використання передових методів зварювання, включаючи електродугове зварювання, щоб забезпечити цілісність конструкції після ремонту [3].

Надмірний знос і задирки є ще однією поширеною проблемою, яка може значно вплинути на продуктивність і довговічність колінчастого вала[2]. Цей тип несправності часто є наслідком недостатнього змащення, що призводить до контакту метал-метал між колінчастим валом і підшипниками. З часом це може спричинити втрату матеріалу та шорсткість поверхні, що ще більше погіршить функціональність колінчастого вала[1]. Для усунення надмірного зносу процес ремонту може включати повторне шліфування колінчастого вала для досягнення відповідних розмірів і гладкості поверхні, таким чином відновлюючи оптимальний контакт з підшипниками[2]. Регулярне технічне обслуговування та контроль якості масла можуть допомогти запобігти такому зносу та продовжити термін служби колінчастого вала.

#### **Причини поломок колінчастого вала**

Однією з основних причин поломки колінчастого вала є недостатнє змащення [5]. Правильне змащення має важливе значення для зменшення тертя між рухомими частинами двигуна, зокрема підшипниками колінчастого вала. Недостатнє змащення може призвести до надмірного зносу, що з часом призведе до серйозних пошкоджень. Фактори, що сприяють недостатньому змащенню, можуть включати бруд на колінчастому валу, використання неякісного моторного масла або наявність сторонніх предметів у масляних каналах[1]. Відсутність належного змащення може призвести до перегріву колінчастого вала, збільшуючи ризик переломів та інших серйозних пошкоджень.





Рисунок 1.4 – Пошкодження шійки шатуна через відсутність мастила

Чималу роль у виникненні поломок колінчастого вала відіграють також виробничі дефекти [1]. Ці дефекти можуть виникнути на різних етапах виробництва, включаючи вибір матеріалу, процеси механічної обробки або термічну обробку. Навіть незначні дефекти матеріалу можуть призвести до значних проблем, таких як тріщини та деформації під впливом напруги. Наприклад, якщо колінчастий вал неправильно збалансований під час виробництва, він може нерівномірно зношуватися, що призведе до передчасної поломки. Такі дефекти можуть порушити цілісність колінчастого вала, роблячи його більш сприйнятливим до поломки за нормальних умов експлуатації, що є критичною проблемою для надійності двигуна.

Перевантаження та неналежне технічне обслуговування є додатковими причинами, які сприяють виходу з ладу колінчастого вала[6]. Коли двигуни зазнають навантажень, що перевищують їх проектну потужність, колінчастий вал може відчувати надмірне навантаження, що призводить до деформацій згинання або скручування. Крім того, нехтування плановим техобслуговуванням, таким як заміна масла та перевірки, може посилити ці проблеми. Безперервна робота без усунення незначного зносу може призвести до значного пошкодження з часом, зменшуючи термін служби колінчастого вала. Регулярне технічне обслуговування має важливе значення для запобігання перевантаженням і забезпечення роботи колінчастого вала в межах призначених для нього меж, зрештою подовжуючи термін його служби

та покращуючи продуктивність двигуна.

### **Методи ремонту при поломках колінчастого вала**

Методи зварювання та шліфування є основними методами, що застосовуються для ремонту несправностей колінчастого вала [3]. При вирішенні таких проблем, як тріщини або знос поверхні, зварювання може відновити цілісність колінчастого вала шляхом заповнення дефектів і посилення ослаблених ділянок. Зокрема, такі методи, як електродугове зварювання та наплавлення, можуть бути використані для ефективного ремонту чавунних колінчастих валів [7]. Крім того, шліфування відіграє вирішальну роль у вдосконаленні розмірів колінчастого вала відповідно до експлуатаційних стандартів. Існують різні методи шліфування залежно від стану колінчастого вала, включаючи шліфування термічно оброблених і необроблених валів [8]. Ці процеси не тільки відновлюють функціональність, але й подовжують термін служби колінчастого вала, що робить їх безцінними для обслуговування та ремонту.

Процедури вирівнювання колінчастого вала мають вирішальне значення для вирішення проблем, пов'язаних із вигином або зміщенням, які можуть виникнути під час експлуатації [9]. Невеликий прогин колінчастого вала, як правило, близько 0,2 мм, часто можна виправити за допомогою шліфування корінної частини та шийки шатуна, забезпечуючи, щоб колінчастий вал залишався збалансованим і функціональним. У випадках більш значних вигинів використовуються методи холодного пресування, коли колінчастий вал регулюється під пресом, щоб його вирівняти [10]. Після цього можна застосувати термічну обробку для стабілізації структури колінчастого вала та запобігання майбутнім проблемам. Поєднання цих методів випрямлення не тільки відновлює продуктивність колінчастого вала, але й зменшує ризик подальших пошкоджень, які можуть призвести до катастрофічних збоїв.

### 1.3. Методи відновлення зношених поверхонь

Економічні вигоди від відновлення колінчастого вала значні, особливо якщо врахувати витрати, пов'язані з придбанням нових колінчастих валів. Ціна нового колінчастого вала може коливатися від сотень до тисяч доларів, залежно від марки та моделі двигуна. Навпаки, процес відновлення зазвичай включає частку цих витрат. Наприклад, повна реставрація може бути виконана лише за 50% вартості нового колінчастого вала, залежно від ступеня пошкодження та використаних методів. Крім того, фінансові наслідки виходять за межі безпосередніх витрат на відновлення. Підтримуючи існуюче обладнання шляхом відновлення, підприємства можуть уникнути вищих витрат, пов'язаних із придбанням нового обладнання, установкою та можливим простоем. В епоху, коли експлуатаційна ефективність і економічність є найважливішими, відновлення колінчастого вала є привабливою альтернативою, яка не тільки зберігає капітал, але й продовжує термін служби критично важливих машин.

Окрім своїх технічних та економічних переваг, відновлення колінчастого вала забезпечує значні переваги для навколишнього середовища, зокрема з точки зору зменшення відходів. Виробництво нових колінчастих валів передбачає значну кількість сировини, споживання енергії та утворення відходів. Згідно з дослідженнями, виробництво одного нового колінчастого вала може призвести до кількох кілограмів відходів, не кажучи вже про вуглецевий слід, пов'язаний із видобутком і обробкою цих матеріалів. Навпаки, практика реставрації мінімізує відходи шляхом повторного використання існуючих матеріалів і компонентів. Відновлюючи колінчастий вал, а не викидаючи його, ми не тільки зменшуємо попит на нові матеріали, але й зменшуємо вплив виробничих процесів на навколишнє середовище. Крім того, автомобільна промисловість все більше визнає важливість сталого розвитку, і реставрація відіграє життєво важливу роль у цьому переході. Наголошення на методах відновлення відповідає сучасним цілям сталого

розвитку та демонструє прихильність до охорони навколишнього середовища, що робить це важливим фактором як для виробників, так і для споживачів.

Відновлення колінчастого вала є технічно здійсненним, економічно вигідним і екологічно відповідальним вибором для підтримки продуктивності двигуна. Передові методи, такі як зварювання та CAD, гарантують, що процес відновлення дає високоякісні результати, які можуть відповідати або навіть перевершувати результати нових компонентів. Економічно економія коштів, пов'язана з відновленням, є значною, що дозволяє підприємствам ефективніше розподіляти ресурси, продовжуючи термін служби свого обладнання. Нарешті, переваги для навколишнього середовища від зменшення кількості відходів і збереження ресурсів підкреслюють важливість впровадження методів відновлення в епоху, зосереджену на стійкості. Оскільки промисловість прагне впроваджувати інновації, мінімізуючи свій екологічний слід, відновлення колінчастого вала постає не просто як альтернатива, а як життєздатний шлях до більш ефективного та сталого майбутнього в автомобільному секторі.

Серед сучасних актуальних напрямів технології машинобудування проблема відновлення деталей нанесенням покриттів із заданими властивостями та оцінка їх якості є чи не найширшою та розгалуженою. Значна кількість технологічних прийомів нанесення та різноманітність областей застосування покриттів, широкий спектр матеріалів для цих цілей роблять непростим в умовах конкурентного підходу об'єктивне рішення щодо вибору покриття та оптимальної технології його нанесення.

Тим часом ефективне використання зміцнювальних захисних покриттів при виготовленні та ремонті деталей є в даний час одним з найважливіших народногосподарських завдань, успішне вирішення якого дозволить різко зменшити витрати скраделегованих сталей та сплавів, підвищити якість та довговічність роботи машин та механізмів.

Виробництво з відновлення деталей використовує велику кількість праці, матеріалів та енергії, необхідних для нанесення покриттів, термічної та

механічної обробки деталей. Тому оптимізація витрат цих ресурсів, за рахунок найкращого їх використання за своєчасного виконання виробничих завдань та забезпечення нормативних показників якості, є актуальним завданням.

Більшість способів поверхневого зміцнення слід як альтернативні. Один і той самий матеріал покриття може бути нанесений декількома способами. При цьому можуть відрізнятися як властивості покриття, так і витрати на його нанесення. Умови нанесення можуть у межах змінювати комплекс механічних властивостей матеріалу основи, отже експлуатаційні характеристики деталі з покриттям істотно залежить від способу поверхневого зміцнення.

Відновити зношену деталь або зношене сполучення - це означає відновити первинні (або близькі до них) геометричні, фізико-механічні, фізико-хімічні та інші їх характеристики (властивості), тобто усунути експлуатаційні дефекти, відновити розміри, геометричну форму, структуру та фізико-механічні властивості відповідно до технічних вимог. Відновлення деталей та сполучення – найважливіше завдання ремонтного виробництва.

Відповідно до [12] працездатність та ресурс відновлених деталей становить у середньому 60...80% цих показників для нових. Проте нині відомі технологічні методи (електромеханічні, електрофізичні та інших.), з допомогою яких можна повністю відновити первинний ресурс деталей і навіть збільшити його.

Відновлення деталей дозволяє заощадити значну кількість дефіцитних матеріалів, у 2...3 рази продовжити термін їхньої служби, зменшити випуск товарних запасних частин на заводах-виробниках та знизити собівартість ремонту машин та обладнання. Впровадження централізованого відновлення деталей, широке застосування потокових ліній, автоматизації процесів ремонту деталей, сприяють подальшому підвищенню ефективності ремонтного виробництва.

Сьогодні існує багато різних технологічних методів компенсації зношеного шару металу деталей [12 - 15]. Одним із шляхів покращення якості поверхневого шару та зниження вартості ремонту машин є багаторазове

відновлення форми деталей металопокриттями та забезпечення їх взаємозамінності.

Найбільш поширені методи, їх переваги та недоліки представлені в табл. 1.1.

В результаті аналізу таблиці можна відзначити, що кожна з ремонтних технологій має як переваги, так і недоліки. Основні недоліки, які негативно впливають на кінцевий результат або значно підвищують собівартість ремонту:

- наявність повідців та жолоблень;
- слабка адгезія нанесеного шару із основою;
- наявність пір, тріщин та шлакових включень;
- зниження втомної міцності;
- підвищена екологічна небезпека.

Таблиця 1.1 – Технології компенсації зношеного шару металу деталей

Метод	Переваги	Недоліки
Наплавлення	Підвищення твердості та зносостійкості, можливість необмежено нарощувати зношену поверхню.	Утворення тріщин, висока пористість, наявність шлакових включень, зниження міцності втоми, короблення, підвищена екологічна небезпека.
Гальванопокриття	Зберігає структуру деталі, високу зносостійкість та твердість поверхні.	Низька прироблюваність та змочування маслом, зниження втомної міцності, низька адгезія, підвищена екологічна небезпека.
Металізація	Механічні властивості матеріалу деталі не змінюються і деталь не піддається жолобленню, висока зносостійкість.	Висока пористість (до 10%), зниження втомної міцності, низька адгезія, підвищена екологічна небезпека.
Пластичне деформування	Підвищує твердість, зменшує шорсткість, збільшує зносостійкість.	Низька продуктивність, можливе деформування поверхні на 5-10 мкм і більше можуть виникати

		рівномірні напливи металу товщиною 0,03-0,3 мм.
Електроерозійне легування.	Локальна обробка поверхні-легування можна проводити на окремих ділянках від декількох мм і більше не захищаючи решту поверхні; міцне з'єднання перенесеного та основного металу; відсутність загального нагріву деталі в процесі обробки, можливість використання як оброблюваних матеріалів: чистих металів, сплавів, металокерамічних композицій, тугоплавких сполук; підвищення твердості, жаро-, зносо- та корозійної стійкості; відсутність необхідної підготовки поверхні.	Підвищення шорсткості, виникнення в поверхневому шарі розтягуючих залишкових напруг, зниження втомної міцності.
Нанесення металополімерних матеріалів.	Можливість необмежено нарощувати зношену поверхню, близькі до металу деформаційні характеристики, висока адгезія.	Необхідність спеціальної підготовки поверхні, у тому числі формування шорсткості поверхні. Порівняно невисока твердість.

Серед розглянутих методів відновлення деталей великої уваги заслуговують електроерозійне легування (ЕЕЛ) та нанесення полімерних композитів (ПК), які останнім часом все частіше використовуються у ремонтному виробництві та доповнюють одна одну.

Серед численних доступних методів електроіскрове легування привернуло значну увагу як сучасне рішення для відновлення колінчастого вала. Цей метод передбачає нанесення сплавів на поверхню колінчастого вала за допомогою процесу електричного розряду, що забезпечує суттєве підвищення продуктивності та довговічності. Однак, як і будь-яка передова технологія, електроіскрове легування має як переваги, так і недоліки, які заслуговують на уважний розгляд.

Однією з головних переваг електроіскрового легування для відновлення

колінчастого вала є його значне підвищення зносостійкості. Цей метод дозволяє наносити міцні матеріали, такі як карбід вольфраму або хром, безпосередньо на поверхню колінчастого вала, що значно покращує його здатність витримувати суворі умови експлуатації. Наприклад, дослідження показали, що колінчасті вали, оброблені електроіскровим легуванням, демонструють значне збільшення твердості, що є життєво важливим для компонентів, які зазнають постійного тертя та напруги. Крім того, процес зменшує тертя та виділення тепла, що ще більше сприяє довговічності колінчастого вала. Це особливо корисно для високопродуктивних двигунів, де колінчастий вал піддається екстремальним умовам. Підвищена зносостійкість не тільки продовжує термін служби колінчастого вала, але й мінімізує частоту ремонтів і заміні, що з часом призводить до економії коштів операторів. Це поєднання довговічності та ефективності робить електроіскровий сплав кращим вибором для тих, хто шукає надійне рішення для відновлення колінчастого вала.

Незважаючи на свої переваги, електроіскрове легування не позбавлене недоліків. Одним із помітних недоліків є технічна складність процесу, який вимагає спеціального обладнання та знань. Оператори повинні пройти ретельну підготовку, щоб переконатися, що електроіскрове легування виконується правильно; неправильне застосування може призвести до неефективного ремонту, що може порушити цілісність колінчастого вала. Наприклад, якщо електричні параметри не контролюються точно, осад сплаву в результаті може бути нерівним або неправильно сплавленим, що призведе до слабких місць, які можуть вийти з ладу під напругою. Крім того, потреба в спеціальному обладнанні може збільшити загальну вартість відновлення, роблячи його менш доступним для невеликих майстерень або незалежних механіків. Цей потенціал для неправильного застосування підкреслює важливість досвіду в цій галузі, оскільки успіх електроіскрового легування значною мірою залежить від навичок оператора та розуміння процесу. Таким чином, незважаючи на те, що ця методика є багатообіцяючою, пов'язані з нею

складності є значною перешкодою для її широкого впровадження.

Не можна ігнорувати довгостроковий вплив електроіскрового легування на продуктивність колінчастого вала, особливо якщо врахувати покращену довговічність відновлених колінчастих валів. Численні тематичні дослідження задокументували випадки, коли колінчасті вали, оброблені електроіскровим сплавом, продемонстрували подовжений термін служби порівняно з тими, що були відновлені традиційними методами, такими як зварювання або шліфування. Наприклад, одне дослідження показало, що колінчасті вали, відновлені за допомогою електроіскрового сплаву, перевершували свої аналоги як за стійкістю до втоми, так і за швидкістю зношування протягом серії суворих циклів випробувань. Крім того, порівняно зі звичайними методами відновлення, електроіскрове легування незмінно давало кращі результати з точки зору ефективності експлуатації та інтервалів технічного обслуговування. Ці дані свідчать про те, що початкові інвестиції в електроіскрове сплавлення можуть бути виправдані значною віддачею продуктивності та довговічності. Оскільки галузі промисловості продовжують надавати перевагу ефективності та екологічності, переваги електроіскрового легування над традиційними методами відновлення стають все більш очевидними, підтверджуючи його місце як провідного методу відновлення колінчастого вала.

Електроіскрове легування є переконливим варіантом для відновлення колінчастих валів, пропонуючи значні переваги щодо зносостійкості, довговічності та загальної продуктивності. Хоча технічні складності методу та потреба у спеціальних знаннях можуть створити проблеми, довгострокові переваги використання електроіскрового легування значно переважають ці недоліки. Із задокументованими випадками збільшення терміну служби та підвищення ефективності роботи стає зрозуміло, що ця інноваційна техніка відновлення є не тільки життєздатною, але й вигідною для сучасного обладнання. З розвитком промисловості та зростанням попиту на довговічні компоненти використання таких методів, як електроіскрове сплавлення, стане

важливим для забезпечення надійності та економічності технічного обслуговування та відновлення колінчастого вала.

Металополімерні матеріали та методи поверхневої пластичної деформації стали основними рішеннями для покращення відновлення колінчастого вала.

Переваги металополімерних матеріалів у реставрації колінчастого вала численні і є значним прогресом у порівнянні з традиційними реставраційними матеріалами. Однією з найбільш переконливих переваг є підвищена зносостійкість цих матеріалів. На відміну від звичайних матеріалів, які можуть зношуватися під впливом високих експлуатаційних навантажень, металополімерні композити демонструють надзвичайну довговічність. Наприклад, дослідження показали, що певні металополімерні суміші можуть витримувати значно більший рівень зносу, ніж традиційні сталеві аналоги, тим самим подовжуючи термін служби колінчастого вала. Крім того, ці матеріали мають чудові механічні властивості, які покращують несучу здатність. Це дуже важливо, оскільки колінчасті вали витримують значні зусилля під час роботи; таким чином, матеріали, які можуть ефективно розподіляти ці навантаження без деформації, є безцінними. Крім того, зменшення загальної ваги завдяки використанню металополімерних композитів призводить до підвищення ефективності та продуктивності. Полегшені колінчасті вали сприяють зниженню споживання палива в автомобілях, підвищуючи загальну продуктивність автомобіля та сприяючи зусиллям щодо сталого розвитку.

Технології поверхневої пластичної деформації зробили революцію у відновленні колінчастого вала, забезпечивши методи, які значно покращують механічні властивості компонентів. Різні методи, такі як дробеструйна обробка та поверхневе зміцнення, використовуються для створення залишкових напруг стиску на поверхні колінчастих валів, ефективно покращуючи їх опір втомі. Наприклад, дробеструйна обробка передбачає бомбардування поверхні колінчастого вала невеликими сферичними середовищами, що не тільки зміцнює поверхню, але й допомагає зменшити

ризик розповсюдження тріщин під напругою. Переваги цих методів добре задокументовані, а тематичні дослідження ілюструють успішне застосування в автомобільних і промислових умовах. Наприклад, відомий випадок в аерокосмічній промисловості продемонстрував, що колінчасті вали, оброблені методами поверхневої пластичної деформації, досягли збільшення терміну служби більш ніж на 30%, що підкреслює ефективність цих методів у реальних застосуваннях. Подовжуючи термін служби колінчастих валів, промисловість може мінімізувати час простою та витрати на технічне обслуговування, що призводить до підвищення ефективності роботи.

#### 1.4 Висновки за розділом I

В результаті проведеного аналізу можна зробити наступні висновки:

1. Широковживані методи відновлення зношених поверхонь мають ряд недоліків, які обмежують їх використання, так як можуть привести к порушенню мікро і макрогеометрії, небажані зміни властивостей матеріал відновлюваної деталі.

2. Аналіз методів підвищення зносостійкості та несучої здатності поверхонь деталей показав, що найбільш перспективними енергоефективними, екологічно безпечними і з мінімальною собівартістю відновлення зношених поверхонь є комбіноване використання методу електроіскрового легування, металополімерних матеріалів та поверхнево-пластичного деформування.

Метою роботи підвищення зносостійкості деталей сільськогосподарської техніки шляхом керування трибологічними властивостями їх поверхонь при застосуванні комбінованих технологій на базі електроіскрового легування.

Об'єкт дослідження – ресурсозберігаючі та енергоефективні методи формування якісних характеристик поверхонь деталей на базі електроіскрового легування.

Предмет дослідження – якісні параметри відновлених поверхневих шарів деталей сільськогосподарської техніки, що сформовані комбінованими технологіями на базі електроіскрового легування.



# Інженерно-технологічний факультет СНАУ

## Розділ 2

### Удосконалення технології відновлення зношених поверхонь деталей сільськогосподарської техніки

#### 2.1 Розробка вдосконаленого енергоефективного технологічного процесу відновлення зношених поверхонь колінчастого вала

Щоб зрозуміти процес електроіскрового нанесення покриття, необхідно спочатку визначити його основні принципи. Електроіскрове покриття, також відоме як електророзрядне покриття (EDC), — це метод, який використовує короткі сплески електричних розрядів високої напруги для розплавлення та нанесення матеріалу покриття на підкладку. Цей процес пропонує кілька переваг, у тому числі можливість створювати покриття, які металургійно з'єднані з основою, що значно підвищує адгезію та довговічність. Історично електроіскрове покриття виникло в середині 20-го століття, розвиваючись від попередніх форм електроерозійної обробки. Протягом десятиліть прогрес у технологіях електроживлення та системах керування удосконалив процес, що дозволило наносити більш точні покриття з покращеними характеристиками поверхні. У порівнянні з іншими методами нанесення покриттів, такими як термічне напилення та лазерне наплавлення, електроіскрове покриття виділяється завдяки меншому тепловому впливу на підкладку, що мінімізує спотворення та зберігає початкові властивості матеріалу. Наприклад, у той час як термічне напилення може викликати значне нагрівання, яке змінює мікроструктуру підкладки, електроіскрове покриття працює з мінімальним тепловим впливом, що робить його особливо придатним для делікатних компонентів. Цей унікальний аспект електроіскрового покриття підкреслює його важливість у застосуваннях, що вимагають високої точності та надійності.

Металополімерні матеріали представляють захоплюючу категорію композитів, які поєднують корисні властивості як металів, так і полімерів, що

призводить до інноваційних рішень у різних галузях промисловості. Ці матеріали можна класифікувати за кількома типами, включаючи композити з металевою матрицею (ММС) і композити з полімерною матрицею (РМС), кожен з яких має певні переваги на основі свого складу. Особливо слід відзначити властивості металополімерних матеріалів; вони часто демонструють чудовий баланс міцності, гнучкості та стійкості до корозії. Наприклад, в автомобільній промисловості метало-полімерні композити використовуються для створення легких компонентів, які можуть протистояти механічним навантаженням, а також протистояти погіршенню навколишнього середовища. В аерокосмічній галузі ці матеріали сприяють зниженню ваги та підвищенню паливної ефективності, що має вирішальне значення для продуктивності та екологічності. Крім того, в секторі електроніки металополімерні матеріали використовуються завдяки їхній чудовій тепло- та електропровідності, що дозволяє розробляти передові друковані плати та радіатори. Універсальність металополімерних матеріалів продовжує стимулювати дослідження та розробки, прокладаючи шлях для майбутніх інновацій, які можуть задовольнити постійно зростаючі вимоги сучасних технологій.

Інтеграція електроіскрового покриття з металополімерними матеріалами пропонує низку переваг, які значно сприяють продуктивності та довговічності компонентів з покриттям. Однією з головних переваг є покращена адгезія та довговічність покриттів, отриманих за допомогою цього процесу. Металургійне з'єднання, досягнуте під час електроіскрового нанесення покриття, призводить до міцного поділу між покриттям і підкладкою, що має вирішальне значення для застосувань, які піддаються сильному зносу та впливу навколишнього середовища. Крім того, поєднання електроіскрового покриття та металополімерних матеріалів призводить до покращення експлуатаційних характеристик, зокрема щодо зносостійкості та термічної стабільності. Покриття, що містять металеві елементи, можуть ефективно зменшити знос, а полімерна матриця підвищує термічну стабільність, роблячи

композит придатним для застосування при високих температурах. Крім того, процес електроіскрового нанесення покриттів часто визнають за його економічну ефективність і ефективність у виробництві. Швидка швидкість осадження та мінімальна потреба в постобробці скорочують загальний час виробництва та витрати, що робить його привабливим варіантом для галузей, які прагнуть як до якості, так і до економічної життєздатності. У результаті синергетичний зв'язок між електроіскровим покриттям і металополімерними матеріалами не тільки покращує продуктивність продукту, але й відповідає економічним вимогам сучасного виробництва.

Незважаючи на численні переваги, процес електроіскрового покриття не позбавлений проблем і обмежень. Однією з важливих технічних проблем є отримання рівномірного покриття на різних підкладках, особливо при роботі зі складною геометрією або більшими поверхнями. Зміни напруги, тривалості розряду та взаємодії матеріалів можуть призвести до невідповідності товщини та якості покриття. Крім того, вибір і сумісність матеріалів є значними обмеженнями; не всі метали чи полімери можна ефективно комбінувати, що обмежує діапазон застосування цієї технології. Наприклад, певні полімери можуть деградувати або стати нестабільними в умовах високої енергії електроіскрового процесу, що призводить до неоптимальної продуктивності. Вирішення цих проблем вимагає постійних досліджень і розробок, зосереджених на вдосконаленні технології електроіскрового покриття. Майбутні напрямки можуть включати дослідження передових матеріалів, які можуть витримувати електроіскровий процес, розробку більш складного обладнання, яке дозволяє краще контролювати параметри покриття, і створення оптимізованих стратегій для досягнення рівномірного покриття. Подолавши ці обмеження, потенційні застосування та ефективність електроіскрового покриття можна значно розширити, проклавши шлях для нових інновацій у інженерії поверхні.

Процес електроіскрового нанесення покриття представляє собою складний і ефективний метод для підвищення продуктивності різних

підкладок, особливо в поєднанні з металополімерними матеріалами. Інтеграція електроіскрового покриття з цими матеріалами не тільки забезпечує покращену довговічність і робочі характеристики, але й сприяє економічній ефективності у виробництві. Проте проблеми, пов'язані з отриманням однорідних покриттів і сумісності матеріалів, вказують на те, що подальші дослідження та розробки є важливими для максимального використання потенціалу цієї технології. Зрештою, поєднання електроіскрового покриття та металополімерних матеріалів пропонує багатообіцяючі шляхи для інновацій у поверхневій інженерії, посилюючи потребу в продовженні дослідження та прогресу в цій галузі.

#### Перший варіант (Рис. 2.1 а).

На зношену поверхню деталі (1) методом ЕІЛ, наноситься шар покриття будь-якого твердого зносостійкого металу (3). При цьому між нанесеним металом і деталлю утворюється перехідний шар (2), що являє собою взаємне дифузійне проникнення елементів анода та катода.

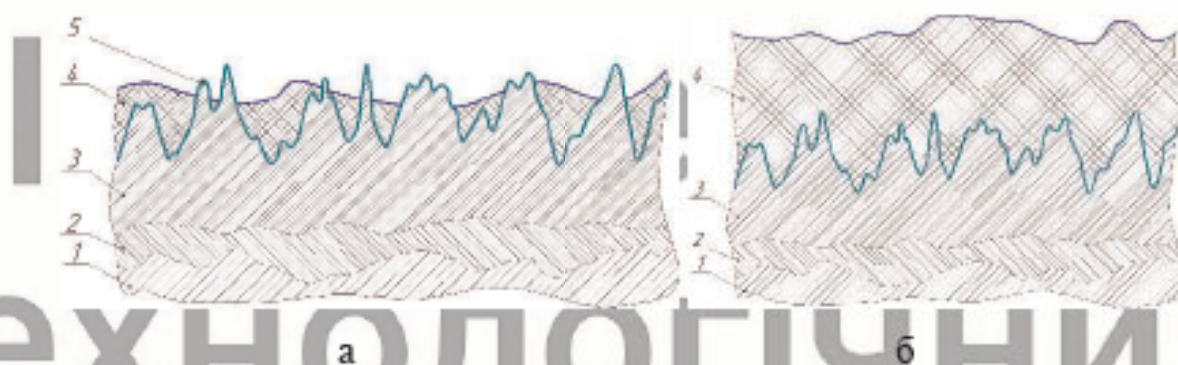


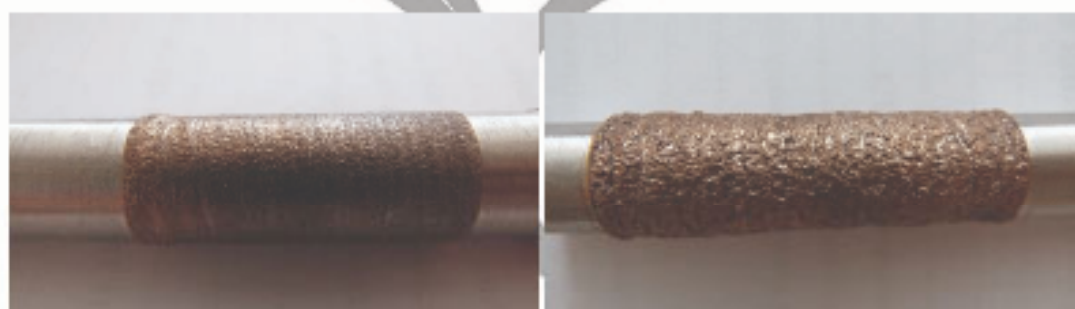
Рисунок 2.1 – Схема структури відновленого поверхневого шару деталі:

- 1 – матеріал деталі; 2 – перехідний шар; 3 – шар покриття нанесеного ЕІЛ;
- 4 – шар із МПМ.

Покриття можна наносити варіюючи енергією розряду, згідно використовуваного обладнання ЕЕЛ, в діапазоні 0,01 - 6,8 Дж. Зі зростанням енергії розряду збільшується товщина покриття, що наноситься, і шорсткість

поверхні. При цьому товщина шару може змінюватися, залежно від характеру взаємодії анода і катода (установки з ручним вібратором, типу «Елітрон 52-А» та механізовані установки з багатоелектродними головками, типу «Елітрон-347» або «ЕЛІ-9»), першому випадку від 0,01 до 0,25 мм і в другому випадку від 0,05 до 2,0 мм, а висота мікронерівності (Rz) при цьому змінюється, відповідно, від 8,5 до 155,8 мкм і від 20 до 200 мкм. Після цього на ЕЛІ поверхню наноситься металополімерний матеріал.

На рис. 2.2 зображені ділянки сталеві трубки діаметром 10 мм із сталі 20 із покриттями з бронзи марки БрО10Ц1,5Н, нанесеними на механізованій установці моделі "УЛІ-9" з енергією розряду  $W_p = 1,41$  Дж (а) та  $W_p = 2,83$  Дж (б). При цьому товщина шару становить відповідно 0,05 і 0,2 мм, а шорсткість (RZ) - 31,1 мкм і 119, мкм.



а,  $W_p = 1,41$  Дж

б,  $W_p = 2,83$  Дж

Рисунок 2.2 – Ділянки сталеві трубки з бронзовим покриттям

Нанесення МПМ є однією з операцій, що визначають як якість утворених адгезійних зв'язків, так і довговічність відновленої деталі. Перший шар металополімеру ретельно втирається лопаткою або шпателем у поверхню відновлюваної деталі. Попадання при такому втиранні полімерного матеріалу у западини і мікронерівності відновлюваної деталі з одного боку забезпечує поліпшення адгезії, а з іншого - виключає можливість утворення вогнищ корозії в цих западинах, не заповнених полімерним матеріалом.

Якщо, сформованої таким чином, товщини поверхневого шару, що відновлюється, деталі достатньо, то другий і наступні шари наносити непотрібно. Після застигання МПМ виступаючі вершини шорсткості (5)

можна видалити методом ЕЕЛ з використанням графітового електрода. ПКМ не є провідниками електричного струму, тому при ЕЕЛ електричний розряд протікатиме між графітовим електродом і виступами шорсткостей, внаслідок чого останні будуть руйнуватися, що призведе до зниження рівня шорсткості відновленого поверхневого шару деталі.

**Другий варіант (Рис. 2.1 б).**

Якщо товщини, відновленого за першим варіантом поверхневого шару деталі, недостатньо, то її можна збільшити за рахунок нанесення наступних шарів (4) з ПКМ. Всі наступні шари наносяться без застосування будь-яких зусиль, виключаючи при цьому утворення порожнин заповнених повітрям.

Слід зазначити, якщо раніше нанесений шар ще не затвердів, то наступний шар можна наносити, будучи впевненим, що вийде однорідний гомогенний шар полімеру. Якщо ж полімеризація раніше нанесеного шару вже відбулася, то для з'єднання шару, що наноситься знову зі старим, поверхню останнього необхідно зачистити і знежирити, і потім втерти знову наноситься шар за допомогою шпателя. Зтверділий металополімерний матеріал можна обробляти будь-яким з відомих способів, включаючи шліфування або обробку лезовим інструментом.

**Третій варіант (Рис. 2.3).**

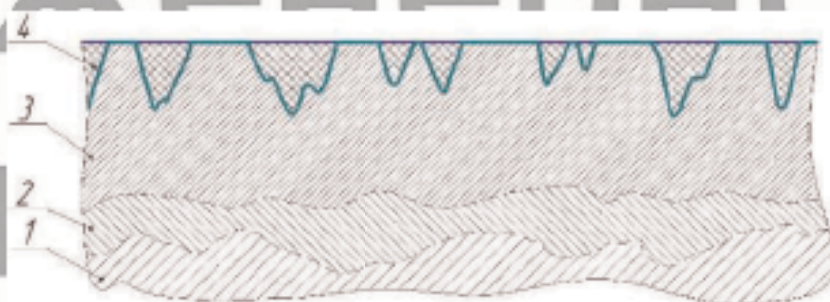


Рисунок 2.3 – Схема структури відновленого поверхневого шару деталі: 1 – матеріал деталі; 2 – перехідний шар; 3 – шар покриття нанесеного ЕЕЛ; 4 – ділянка шару із МПМ.

Для деталей, що працюють у більш жорстких режимах роботи і

вимагають більш високих механічних характеристик, деталі відновлюються за першим способом наступним чином (рис. 2.3), щоб після механічної обробки (шліфування або лезової обробки) їх розмір, поверхня деталі складалася б з окремих металевих ділянок та зон з МПМ (4). В даному випадку, у міру збільшення глибини обробки, площа ділянок поверхні МПМ буде зменшуватися, а ділянок, сформованих методом ЕЕЛ, відповідно зростати. Варіюючи режимами ЕЕЛ (енергією розряду) і використовуючи необхідне обладнання, що забезпечує той чи інший характер взаємодії анода і катода (установки з ручним вібратором або механізовані установки з багатоелектродними головками), можна керувати співвідношенням площ поверхні з ПМК і металу.

Так, на рис. 2.4 показано три ділянки поверхні, відновлені з різною енергією розряду  $W$ . При цьому  $W_1 < W_2 < W_3$ . Відповідно і висота мікронерівностей буде на третій ділянці більше ніж на 2-му, а на 2-му більше ніж на першому. Після лезової обробки, що забезпечує необхідне відновлення зношеного шару на розмір  $h$ , усереднені площі відновленої металевої поверхні розподіляться як  $S_{cp1} < S_{cp2} < S_{cp3}$ .

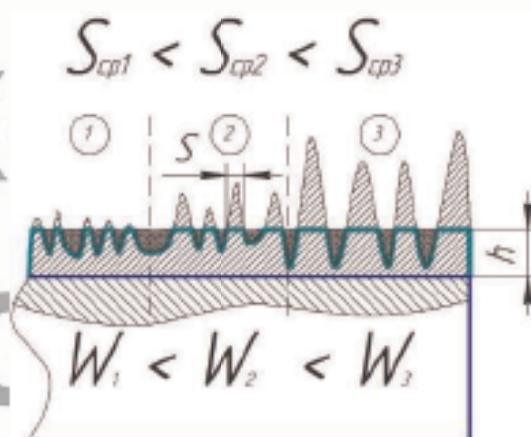


Рисунок 2.4 - Ділянки поверхні деталі, відновлені за різних режимів ЕЕЛ

При використанні механізованих установок типу «ЕЛІТРОН – 347» та «ЕЛІ-9» шорсткість поверхні може досягати 1000-1250 мкм залежно від режиму легування та матеріалу використовуваного електрода. При цьому суцільність покриття, залежно від режиму легування, знаходиться в межах

50-80%, причому чим вищий режим, тим нижча суцільність покриття. У табл. 2.2 наведена залежність сили струму генератора і перерізу електродів від необхідної товщини шару, що наноситься.

Таблиця 2.2 – Вплив сили струму на товщину покриття, що наноситься за один прохід (установка «ЕІЛ-9»)

Робочий струм, А	Перетин електродів, мм <sup>2</sup>	Товщина покриття, що наноситься за один прохід, мм
до 10	3-5	0,1-0,2
10-20	5-7	0,2-0,3
20-30	7-10	0,3-0,4

При використанні електрода нержавіючої сталі 12Х18Н10Т або високоміцної нержавіючої сталі ВНС-2 (08Х15Н5Д2Т) за один прохід товщина покриття може досягати 0,6 мм на діаметр, при суцільності покриття, відповідно 70 і 60%. Шорсткість поверхні в цьому випадку досягає 300 мкм. Після 5 проходів товщина шару досягає 2,8 мм на діаметр, суцільність знижується, відповідно до 50-60%. Шорсткість поверхні (RZ) для сталей 08Х15Н5Д2Т і 12Х18Н10Т зростає і становить відповідно до 1250 і 800 мкм (рис. 4.5).



Рисунок 2.5 – Покриття на ділянках зразка зі сталі 40Х (а – без покриття) електродами зі сталей 08Х15Н5Д2Т(б) 12Х18Н10Т (в) та нанесеними на механізованій установці моделі «УІЛ-9».

Після зацентрування ротора і проточки «як чисто» всіх шийок їхнє биття склало не більше 0,02 мм. Розміри шийок після проточки склали: шийки під підшипники -  $\varnothing 79,8$  мм та  $\varnothing 78,25$  мм (з боку напівмуфти); шийки під напівмуфту -  $\varnothing 72,64$  мм, вільний кінець валу  $\varnothing 74,93$  мм.

Всі чотири шийки були відновлені у розмір з використанням комбінованої технології ЕЕЛ та ППД (обкаткою роликом) та з урахуванням припуску на шліфування 0,4 – 0,5 мм на діаметр. У цьому нанесення шарів ЕЕЛ чергувалося з ППД, тобто. обкатка роликом проводилася після кожного "проходу" ЕЕЛ.

ЕЕЛ здійснювалося на установці "ЕЕЛ-9" (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – ЕЕЛ ротора електродвигуна.

Для відновлення розмірів шийок з боку напівмуфти використовувалися максимальні режими, коли сила робочого струму генератора становила  $I_p = 20 - 30$  А, що дозволяло збільшувати розмір шийки до 0,6 мм і більше на діаметр за один прохід. При відновленні шийок з боку вільного кінця валу використовувалися більш «м'які» режими, коли  $I_p = 5 - 10$  А. При цьому товщина покриття, що наноситься, становила до 0,2 мм на діаметр.

Обкатка роликом проводилася на токарному верстаті пружинно-штоковим пристосуванням з  $D_p = 40$  мм та профільним радіусом  $r = 4$  мм. Питоме зусилля випрасування становило 3000 МПа. Після кожного «проходу»

ЕЕЛ та ППД поверхня шийок ретельно очищалися металевими щітками.

Після шліфування шийок у розмір по кресленню проводилося фрезерування паза шпонки на глибину  $7,5^{0,2}$  мм і балансування ротора.

На рисунках 2.7, а і 2.7 б зображені, відповідно, шийки з боку напівмуфти і вільного кінця валу.

Слід зазначити, що якість відновлених поверхонь залежить від режиму ЕЕЛ. Чим менший режим ЕЕЛ, тим краща якість поверхні, що відновлюється. Так, найкраща якість поверхні спостерігається на вільному кінці валу  $\varnothing 75$  мм, що відновлювався на 0,07 мм на діаметр (див. рис. 2.7, б).



а

б

Рисунок 2.7 - Шийки ротора електродвигуна з боку напівмуфти (а) та вільного кінця валу (б).

Дещо гірша якість у шийки під підшипник  $\varnothing 80$  мм з боку вільного кінця валу, яка відновлювалася на 0,2 мм на діаметр, на поверхні якої є невеликі ділянки глибиною до 0,2 мм. Посередині шийки розташовується канавка, призначена для стопорного кільця, що у процесі відновлення захищалися.

Мікрорельєф шийок під напівмуфту  $\varnothing 75$  мм та підшипник  $\varnothing 80$  мм, які відновлювалися відповідно на 2,36 мм та 1,75 мм, є окремими майданчиками, загальною площею опорної поверхні  $\sim 75\%$ , міцно з'єднані з основою та макропорами до 1мм глибиною (див. рис. 2.7, а).

Слід зазначити, що якщо не проводити ППД після кожного проходу ЕЕЛ, то після шліфування окремі майданчики будуть меншого розміру і,

відповідно, загальна площа опорної поверхні буде меншою.

Таким чином, в результаті проведених досліджень, спрямованих на розробку технології ремонту зношених поверхонь деталей сільськогосподарської техніки, практичного застосування може бути запропонована комбінована технологія, що полягає в ЕЕЛ і нанесення МПМ.

При цьому:

1. У запропонованому способі відновлення деталей варіант 1 і особливо варіант 3 основним матеріалом, що визначає якість сформованого поверхневого шару, є шар покриття, нанесеного методом ЕЕЛ.

2. Наступне нанесення на шар, сформований методом ЕЕЛ, металополімерних матеріалів є технологічним шаром, що підвищує якість ЕЕЛ шару, наприклад суцільність і герметичність у нерухомому з'єднанні (шийка вала-підшипник).

3. Методом ЕЕЛ, змінюючи режим легування можна варіювати висотою мікронерівностей, а наступною лезовою обробкою можна забезпечувати те чи інше співвідношення площ з нанесеного металу та металополімерного матеріалу.

## 2.2 Обробка наплавленого шару поверхнево-пластичним деформуванням

Обкатка суттєво знижує шорсткість поверхні валів, підданих ЕЕЛ. Зменшення шорсткості поверхні пов'язане зі збільшенням зусилля обкатки, залученням до контакту нижчих виступів металу на поверхні ШВ, їх руйнуванням та пластичною деформацією.

ПШД валів здійснюється після шліфування або після чистової проточки ( $Ra=1,6$  мкм) з метою підвищення їхньої зносостійкості після електроерозійного покриття.

Накатник дозволяє обкатувати шийки будь-якого діаметра та забезпечує шорсткість поверхні до  $Ra = 0,05$  мкм.

### 2.2.1 Устаткування для ПШД

2.2.1.1 Процес обкатування здійснюється на універсальному обладнанні – токарних верстаках звичайної точності.

2.2.1.2 Пристосування для ППД (накатник) складається з двох частин: пристрій для створення робочого навантаження (державка) та змінні головки з різними розмірами індентора (рисунки 2.8 та 2.9, табл. 2.3).

Державка встановлюється по осі шийки, що обкатується, в різцетримачі токарного верстага.

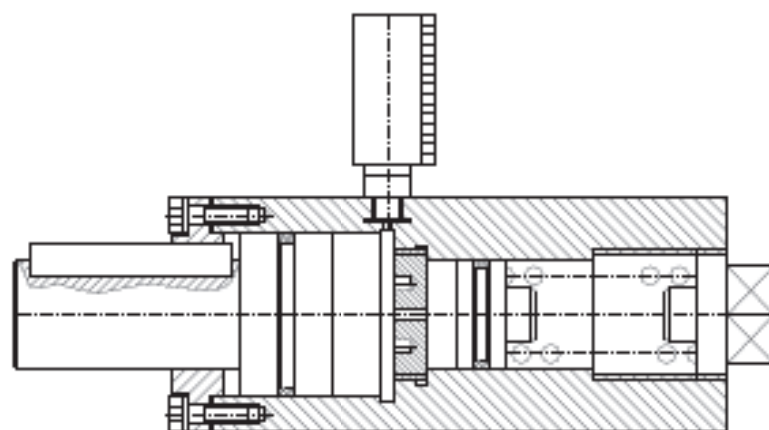


Рисунок 2.8 – Державка.

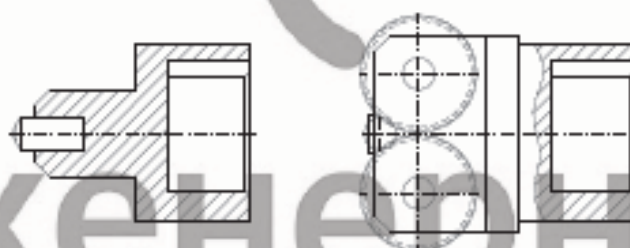


Рисунок 2.9 – Голівка кулькова (праворуч) та голівка алмазна (ліворуч).

Таблиця 2.3 – Технічна характеристика накатника

№ п/п	Найменування	Значення
1	Максимальне зусилля, кгс	204
2	Жорсткість пружини, кгс/мм	5-6
3	Діаметр кульок, мм	19,6-20
4	Діаметр кульок, мм	10
5	Діаметр алмазного вигладжувача, мм	3-4

#### **2.2.2.1 Опис роботи пристрою**

2.2.2.2 Пристосування є пружинно-штоковим механізмом, з кульковими головками. Робочим елементом пристосування (на навантаження) є пружина, поміщена в корпусі пристосування. Характеристика пружини наведена у табл. 3.14.

2.2.2.3 Перед здійсненням процесу обкатування проводять попереднє стиснення пружини пристосування за допомогою гайки, що відповідає необхідному робочому навантаженню (або створюється початковий тиск 2-3МПа, а на робочий тиск виводиться гвинтом супорта верстата).

Значення навантаження відображається на манометрі та перекладається за табл. 3.15 у М.

2.2.2.4 Пристрій дозволяє здійснювати процес обкатування як праворуч – ліворуч, так і ліворуч – праворуч.

2.2.2.5 Увімкнення, вимкнення та підтримання навантаження під час обкатування здійснюється гвинтом поперечних подач супорта.

#### **2.2.3 Технологічний процес ППД**

2.2.3.1 Встановити деталь на верстат, закріпити накатник у різцетримач верстата.

2.2.3.2 Видалити мастило та бруд з поверхонь, що піддаються зміцненню, серветками (ГОСТ 21220-75), змоченими зневодненою гасом (ГОСТ 4753-68). Ретельно видалити збіжжя абразиву.

2.2.3.3 На поверхнях, що підлягають зміцненню кульками, не допускаються: тріщини, вибоїни, задири, сліди корозії та інші дефекти поверхонь.

2.2.3.4 Перед зміцненням поверхня повинна бути підготовлена за п. 3.6.4 і після ЦЭЭЛ рясно полита олією «індустріальна 20».

2.2.3.5 Зробити вибір параметрів ППД (табл. 3.16).

Таблиця 2.6 – Вибір режиму обкатування

№ п/п	Показник	Значення
1	Зусилля, контрольоване за шкалою пристосування, кгс	0-200
2	Діаметр валу, мм	20-150
3	Швидкість обкатки, м/хв	15-35 *
4	Подача, мм/об,	не більше 0,2
5	Число проходів	1
6	Зусилля накатки, Н: - алмазне вигладжування: - обкатка кулькою:	до 500Н** до 1900Н**

\*Велике значення швидкості відповідає меншому діаметру валу, а менше значення більшому.

\*\* Рекомендоване значення зусилля накатки (у кожному конкретному випадку має бути уточнено).

2.2.3.6 У процесі обкатування навантаження та зняття навантаження повинно здійснюватися плавно (протягом 15÷20 секунд) для того, щоб унеможливити утворення хвилі металу, що деформується.

2.2.3.7 Кількість обертів валу багато в чому залежатиме від діаметра шийки, маси всього валу (ротора) в цілому.

## 2.2.4 Контроль якості процесу зміцнення

2.2.4.1 Перед зміцненням перевірити справність пристроїв (державки, головки), шорсткість поверхні оброблюваної деталі та зміцнювальних кульок.

2.2.4.2 Контроль шорсткості поверхні після обкатування здійснюється візуально порівнянням із встановленими еталонами.

2.2.4.3 Стабільність процесу гарантується дотриманням режимів та шляхом періодичної перевірки правильності тарування пружини при навантаженні.

2.2.4.4 Якість процесу обкатування забезпечується стабільністю процесу та режимів обробки.

2.2.4.5 Шорсткість поверхні після обкатування повинна відповідати

технічним вимогам креслення. Чим менше подача кульок, тим менше за інших рівних умов величина шорсткості оброблюваної поверхні.

2.2.4.6 Приймання деталей, оброблених обкаткою кульками, виконують безпосередньо після обкатки.

При прийманні слід перевіряти:

- а) становище меж обкатаного ділянки;
- б) якість поверхні до обкатки та після (задираки та ірваніни не допускається);
- в) розміри деталі до обробки та після.

При зміцненні обкаткою кульками внаслідок пластичної деформації може спостерігатися усадка (зменшення) діаметра деталі, що обкатується, або підйом. Коливання розміру в межах 0,02 мм.

## **2.2.5 Технічне обслуговування пристроїв**

2.2.5.1 У процесі експлуатації пристрою державку та головки підтримувати у справному стані.

2.2.5.2 Не допускати роботи з порушеною робочою поверхнею кульок. При виявленні дефектів на кульках їх необхідно замінити, а опорні ролики заповіряти.

2.2.5.3 Опорні ролики повинні обертатися плавно без люфтів та заїдань. При зберіганні вони мають бути покриті солідолом.

2.2.5.4 Не рідше одного разу на місяць проводити тарування пружини. Після закінчення процесу обкатки пружину звільнити від навантаження.

## **2.2.6 Вимоги техніки безпеки під час проведення процесу ППД**

2.2.6.1 Процес обкатування кулькою повинен виконуватись робітником, який знає роботу та налаштування пристосування, а також вивчив цю інструкцію.

2.2.6.2 При проведенні процесу ППД не допускати попадання стружки, ворсу від обтирального матеріалу та інших предметів на робочу частину кульок, опорних роликів та поверхні, що зміцнюються.

2.2.6.3 Під час проведення обкатування робітникам слід дотримуватися

всіх правил техніки безпеки роботи на токарних верстатах.

### 2.3 Висновки у розділі 2.

1. Запропоновано спосіб відновлення деталей сільськогосподарської техніки, який полягає в комбінованому використанні методів електроіскрового легування, поверхнево-пластичного деформування та нанесення металополімерних матеріалів.

2. Основа відновленого шару формується електроіскровим легуванням, наступне нанесення металополімерних матеріалів є технологічним шаром, що підвищує якість ЕІЛ шару, наприклад суцільність і герметичність у нерухомому з'єднанні (шийка вала-підшипник).

3. Методом ЕІЛ, змінюючи режим легування можна варіювати висотою мікронерівностей, а наступною лезовою обробкою можна забезпечувати те чи інше співвідношення площ з нанесеного металу та металополімерного матеріалу.

Інженерно-  
технологічний  
факультет  
СНАУ

## Розділ 3 Охорона праці

### 3.1 Організація роботи з охорони праці на підприємстві

Незважаючи на переваги електроерозійного легування, цей процес передбачає вплив різних небезпечних матеріалів і хімікатів, які можуть негативно вплинути на здоров'я працівників. Під час електроерозії працівники можуть контактувати з хімічними речовинами, такими як діелектричні рідини, які необхідні для охолодження та ізоляції електроерозійного апарату. Ці рідини можуть містити шкідливі компоненти, зокрема розчинники та добавки, які можуть становити серйозну небезпеку для здоров'я. Тривалий вплив цих хімічних речовин може призвести до проблем з диханням, подразнення шкіри та інших довгострокових проблем зі здоров'ям. Крім того, побічні продукти, що утворюються під час процесу електроерозії, також можуть містити токсичні речовини. Наприклад, дрібні частинки металу, що потрапляють у повітря, можуть спричинити небезпеку вдихання, що потребує використання захисних засобів, таких як маски та респіратори. Управління з безпеки та гігієни праці (OSHA) надає вказівки щодо допустимих меж впливу таких небезпечних матеріалів, наголошуючи на важливості моніторингу якості повітря та впровадження надійних протоколів безпеки для пом'якшення ризиків, пов'язаних із впливом хімічних речовин.

Окрім хімічної небезпеки, працівники, які займаються відновленням колінчастого вала за допомогою електроерозійного сплаву, стикаються зі значними небезпеками, пов'язаними з небезпекою електричного струму. Обладнання, що використовується в процесах електроерозії, як правило, працює під високою напругою, що може призвести до серйозного ураження електричним струмом, якщо не дотримуватись належних заходів безпеки. Працівники повинні бути навчені розуміти ризики, пов'язані з високовольтним обладнанням, оскільки навіть незначні порушення техніки безпеки можуть призвести до нещасних випадків, які загрожують життю.

Належне заземлення обладнання має важливе значення для запобігання стрибкам електричного струму, які можуть загрожувати працівникам. Крім того, робочий простір має бути організовано таким чином, щоб звести до мінімуму безлад і забезпечити відсутність електропровідних матеріалів, які можуть ненавмисно спричинити коротке замикання. Дотримання суворих протоколів безпеки, включаючи використання ізольованих інструментів і засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), має вирішальне значення для зменшення цих ризиків. Регулярні тренінги з техніки безпеки можуть надати працівникам змогу розпізнавати небезпеки та належним чином реагувати в разі виникнення надзвичайної ситуації, що зрештою сприяє створенню безпечнішого робочого середовища.

Хоча електроерозійне легування є складним методом відновлення колінчастих валів, воно супроводжується безліччю шкідливих і небезпечних факторів, які можуть поставити під загрозу безпеку працівників. Вплив небезпечних хімічних речовин у поєднанні з ризиками, властивими процесам електроерозії високої напруги, вимагає комплексного підходу до безпеки на робочому місці. Розуміючи тонкощі методу електроерозії та дотримуючись суворих протоколів безпеки, можна захистити працівників від ризиків, пов'язаних із цим критичним процесом відновлення. Оскільки автомобільний і промисловий сектори продовжують розвиватися, безпека працівників залишається пріоритетною для забезпечення сталості та ефективності операцій з відновлення колінчастого вала.

### **3.3 Рекомендації щодо впровадження безпечних і здорових умов праці**

Електроерозійне сплавлення — це процес, при якому електричні розряди руйнують матеріал із заготовки, що дозволяє точно відновити зношені або пошкоджені колінчасті вали. Однак ця інноваційна техніка пов'язана з невід'ємними ризиками, включаючи вплив обладнання під високою напругою,

шкідливі випари та потенційні травми від обладнання. Наприклад, високі температури, що утворюються під час процесу електроерозії, можуть призвести до опіків або інших теплових травм, якщо не вжити належних запобіжних заходів. Крім того, небезпечне робоче середовище може негативно вплинути на здоров'я працівників, призводячи до хронічних респіраторних проблем через вдихання токсичних парів і частинок. Дослідження показали, що середовище з недостатніми заходами безпеки може призвести до зниження продуктивності та збільшення кількості прогулів через проблеми зі здоров'ям. Таким чином, надання пріоритету безпеці не тільки захищає працівників, але й підвищує загальну операційну ефективність і продуктивність у довгостроковій перспективі.

Для забезпечення особистої безпеки під час процесу електроерозійного легування використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) має вирішальне значення. ЗІЗ є першою лінією захисту від різних небезпек, присутніх у робочому середовищі. Основні типи ЗІЗ для працівників, які беруть участь у цьому процесі, включають захисні окуляри для захисту очей від іскор і сміття, термостійкі рукавички для запобігання опікам і респіратори для захисту від вдихання шкідливих парів. Крім того, працівники повинні носити захисний одяг із матеріалів, які можуть витримувати високі температури та потенційний хімічний вплив. Проте простого забезпечення ЗІЗ недостатньо; співробітники повинні пройти ретельну підготовку щодо його правильного використання та обслуговування. Цей тренінг має охоплювати те, як правильно носити спорядження, розпізнавати його пошкодження та розуміти його обмеження. Наприклад, дослідження підкреслило, що на робочих місцях, де було впроваджено комплексне навчання ЗІЗ, суттєво зменшилася кількість травм на виробництві. Таким чином, забезпечення того, щоб працівники були добре оснащені та навчені, є важливим для підтримки безпечного робочого середовища.

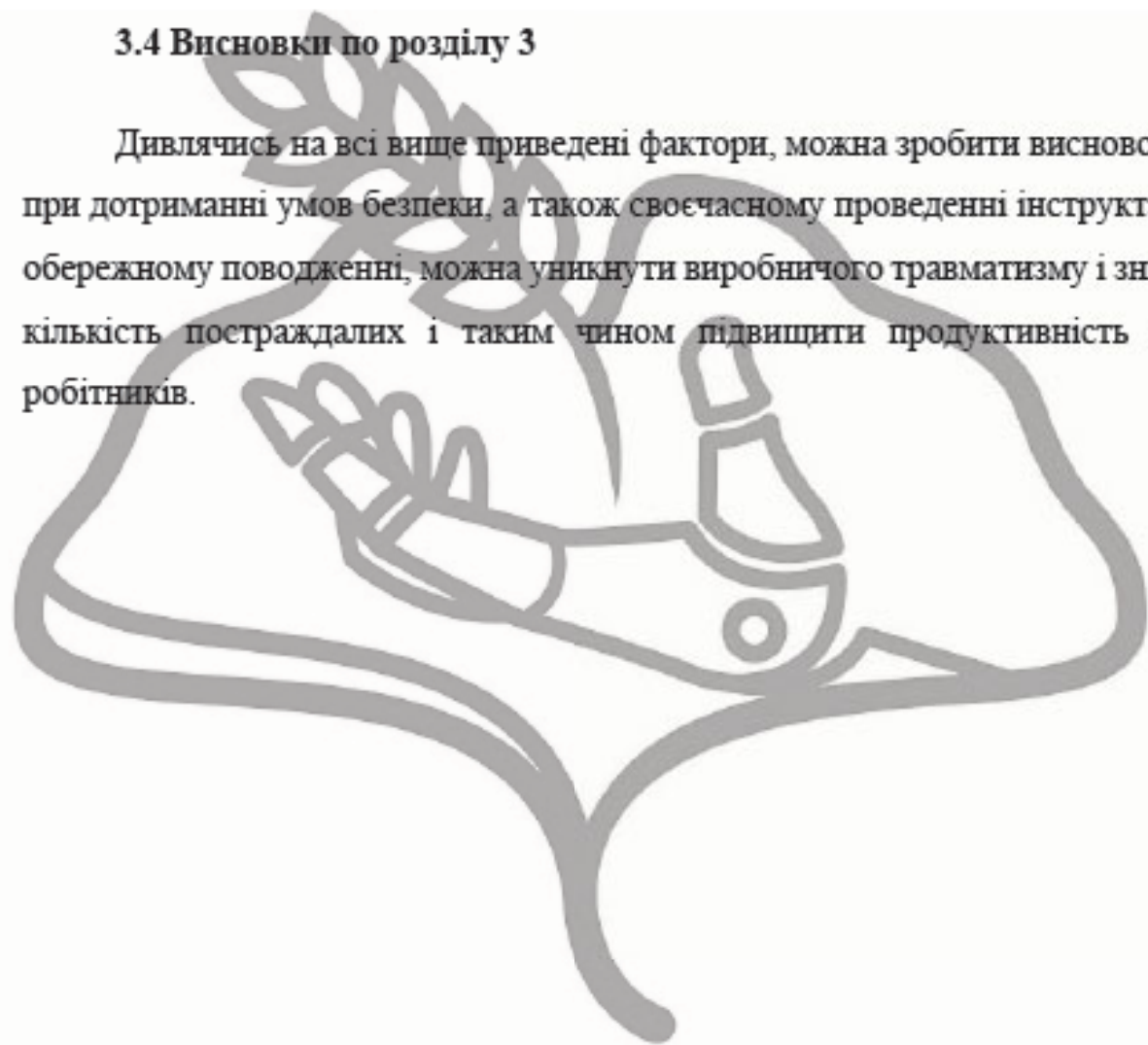
Окрім заходів особистої безпеки, протоколи екологічної та експлуатаційної безпеки відіграють важливу роль у забезпеченні добробуту

працівників під час процесу електроерозії. Одним із критичних аспектів є підтримка належної вентиляції в робочому приміщенні, оскільки електроерозія може утворювати небезпечні випари та тверді частинки. Належні системи вентиляції допомагають розбавляти та видаляти ці шкідливі речовини з повітря, таким чином покращуючи якість повітря та знижуючи ризик респіраторних проблем серед працівників. Крім того, під час електроерозійних процесів важлива реалізація заходів контролю якості повітря. Системи моніторингу можна використовувати для виявлення шкідливих речовин і забезпечення того, щоб якість повітря залишалася в безпечних межах. Встановлення систем видалення диму є особливо ефективним, оскільки вони можуть вловлювати та фільтрувати викиди безпосередньо біля джерела, таким чином мінімізуючи вплив на працівників. Національний інститут безпеки та гігієни праці (NIOSH) рекомендує такі системи для робочих місць, де використовується електроерозійна обробка, підкреслюючи їх важливість у створенні безпечнішого робочого середовища. Завдяки пріоритетним заходам з безпеки навколишнього середовища та експлуатації компанії можуть створити більш здорове робоче місце, яке захищає працівників від небезпек, пов'язаних із електроерозійним сплавом.

Забезпечення безпечних умов праці під час відновлення колінчастих валів шляхом електроерозійного легування має важливе значення для захисту здоров'я працівників і підвищення продуктивності. Ризики, пов'язані з цим прогресивним процесом, вимагають суворих заходів безпеки, зокрема використання засобів індивідуального захисту, всебічного навчання працівників та ефективного контролю навколишнього середовища. Запроваджуючи ці протоколи безпеки, компанії можуть розвивати культуру безпеки, яка не лише відповідає нормативним стандартам, але й надає пріоритет благополуччю їхньої робочої сили. Зрештою, прихильність до безпеки під час електроерозійного легування призведе до більш ефективного, продуктивного та сталого робочого середовища.

### 3.4 Висновки по розділу 3

Дивлячись на всі вище приведені фактори, можна зробити висновок, що при дотриманні умов безпеки, а також своєчасному проведенні інструктажів і обережному поводженні, можна уникнути виробничого травматизму і знизити кількість постраждалих і таким чином підвищити продуктивність праці робітників.



Інженерно-  
технологічний  
факультет  
СНАУ

## Розділ 4

### Техніко-економічна оцінка відновлення колінчастого вала

Колінчасті вали є невід'ємними компонентами двигунів внутрішнього згоряння, відіграючи ключову роль у перетворенні лінійного руху в обертовий, і, таким чином, підвищують ефективність роботи автомобіля. Відновлення колінчастих валів має важливе значення для продовження терміну служби двигунів, зменшення відходів і підтримки стандартів продуктивності. Традиційно відновлення колінчастого вала покладалося на трудомісткі та дорогі методи, які часто можуть погіршити якість відновлення. Проте технологічний прогрес запровадив інноваційні процеси, які обіцяють підвищити ефективність відновлення колінчастого вала.

Щоб зрозуміти важливість технологій відновлення колінчастого вала, важливо визначити сам процес відновлення та його критичну роль у обслуговуванні двигуна. Відновлення колінчастого вала передбачає ремонт або оновлення зношеного або пошкодженого колінчастого вала для відновлення його початкової функціональності, що забезпечує оптимальну роботу двигуна. Традиційні методи, такі як шліфування та зварювання, широко використовувалися десятиліттями, але часто мають значні недоліки, включаючи довгий час обробки та потенційні компроміси щодо цілісності конструкції. Навпаки, нещодавно розроблені технологічні процеси включають передові технології, такі як лазерне накладення та виготовлення металевих добавок, які не тільки підвищують точність реставрації, але й забезпечують краще з'єднання матеріалу та довговічність. Наприклад, нещодавній технологічний прогрес із використанням лазерного плакування показав перспективу відновлення колінчастих валів із мінімальними термічними спотвореннями, таким чином зберігаючи початкові розміри та покращуючи механічні властивості. Цей огляд підкреслює необхідність всебічного техніко-економічного обґрунтування для оцінки ефективності цих передових технологій реставрації в порівнянні зі звичайними методами.

При оцінці ефективності розроблених технологічних процесів відновлення колінчастого вала основне значення має методика ТЕО. У дизайні дослідження використовувався підхід змішаних методів, поєднуючи якісні та кількісні методи збору даних. Були проведені опитування серед професіоналів галузі, щоб отримати інформацію про переважаючі практики та уявлення щодо нової технології. Були також створені експериментальні установки, де як традиційні, так і прогресивні процеси відновлення застосовувалися до ідентичних зразків колінчастого вала. Було проаналізовано практичні приклади з семінарів, які прийняли нову технологію, щоб забезпечити реальний контекст. Для оцінки ефективності використовувалися різні методи аналізу, включаючи статистичні порівняння показників якості відновлення, час, витрачений на кожен процес відновлення, і аналіз витрат і вигод. Цей комплексний підхід забезпечує надійну оцінку здійсненності нових процесів, тим самим забезпечуючи всебічне розуміння їхніх потенційних переваг у відновленні колінчастого вала.

Ефективність розроблених технологічних процесів відновлення колінчастого вала можна оцінити шляхом порівняльного аналізу з традиційними методами. Початкові результати вказують на те, що якість відновлення, досягнута за допомогою нових процесів, значно перевершує якість звичайних методів. Наприклад, використання лазерного наплавлення не тільки покращує обробку поверхні, але й покращує мікроструктурні властивості відновленого колінчастого вала, що призводить до покращення стійкості до втоми. Крім того, ефективність часу є вирішальним фактором. Показано, що передові методи скорочують час відновлення до 50%, що є значним покращенням. Економічна ефективність є ще однією важливою сферою оцінки, хоча початкові інвестиції в нову технологію можуть бути вищими, довгострокова економія, пов'язана зі зниженням витрат на робочу силу та збільшенням пропускної здатності, є переконливим аргументом для її прийняття. Використання ресурсів також оптимізується за допомогою цих передових процесів, оскільки вони часто потребують менше матеріалів і

утворюють менше відходів порівняно з традиційними методами.

Вплив нових технологічних процесів на продуктивність і довговічність відновлених колінчастих валів є глибоким. Показники продуктивності, такі як крутний момент і стабільність обертання, вказують на те, що колінчасті вали, відновлені за допомогою передових методів, демонструють кращу функціональність порівняно з тими, які обробляються традиційними методами. Наприклад, тематичне дослідження за участю парку комерційних транспортних засобів показало, що колінчасті вали, відновлені за допомогою нового процесу, показали 20% підвищення ефективності роботи та помітне зменшення частоти технічного обслуговування. Крім того, довговічність і термін служби відновлених колінчастих валів є критично важливими міркуваннями. Докази свідчать про те, що ті, які лікуються передовими методами, зберігають свою структурну цілісність протягом тривалих періодів, зменшуючи ймовірність майбутніх несправностей. Визначне прикладне дослідження включало високоефективну гоночну команду, яка застосувала нову технологію відновлення, що призвело до помітного покращення часу проходження кола та надійності двигуна, демонструючи реальну застосовність і переваги цих інноваційних процесів.

Незважаючи на багатообіцяючі результати, пов'язані з новими технологіями відновлення колінчастого вала, слід визнати певні проблеми та обмеження. Однією з головних технічних проблем є потреба в спеціалізованому обладнанні та досвіді для ефективного впровадження передових процесів реставрації. Ця вимога може стати перешкодою для широкого впровадження в галузі, особливо серед невеликих майстерень, яким може бракувати ресурсів для таких інвестицій. Крім того, необхідно навчати існуючий персонал, щоб ознайомити його з новим технології мають вирішальне значення, оскільки успішне впровадження залежить від кваліфікованих операторів. Крім того, не можна ігнорувати регуляторні та екологічні міркування. Як і у випадку з будь-якою новою технологією, відповідність галузевим стандартам і екологічним нормам буде важливою для

забезпечення безпечної та стійкої практики. Вивчення цих проблем підкреслює необхідність подальших досліджень і співпраці промисловості для сприяння успішному переходу до передових процесів відновлення колінчастого вала.

Техніко-економічне обґрунтування розробленого технологічного процесу відновлення колінчастого вала виявляє значний потенціал для цих інноваційних методів перевершити традиційні методи відновлення. Завдяки детальному порівнянню якості відновлення, ефективності часу та економічної ефективності нові процеси демонструють багатообіцяючі переваги, які можуть революціонізувати галузь. Позитивний вплив на продуктивність і довговічність додатково підкреслює необхідність продовження дослідження та впровадження цих технологій. Однак вирішення проблем, пов'язаних із впровадженням, включаючи технічні бар'єри, потреби в навчанні та нормативні міркування, буде важливим для сприяння плавному переходу. Оскільки автомобільна промисловість продовжує розвиватися, застосування передових технологій відновлення не тільки підвищить ефективність роботи, але й сприятиме екологічній практиці, продовжуючи термін служби критичних компонентів двигуна, таких як колінчасті вали.

# Інженерно-технологічний факультет СНАУ

## ВИСНОВКИ

1. Широковживані методи відновлення зношених поверхонь мають ряд недоліків, які обмежують їх використання, так як можуть привести к порушенню мікро і макрогеометрії, небажані зміни властивостей матеріал відновлюваної деталі.

2. Аналіз методів підвищення зносостійкості та несучої здатності поверхонь деталей показав, що найбільш перспективними енергоефективними, екологічно безпечними і з мінімальною собівартістю відновлення зношених поверхонь є комбіноване використання методу електроіскрового легування, металополімерних матеріалів та поверхнево-пластичного деформування.

3. Запропоновано спосіб відновлення деталей сільськогосподарської техніки, який полягає в комбінованому використанні методів електроіскрового легування, поверхнево-пластичного деформування та нанесення металополімерних матеріалів.

4. Основа відновленого шару формується електроіскровим легуванням, наступне нанесення металополімерних матеріалів є технологічним шаром, що підвищує якість ЕІЛ шару, наприклад суцільність і герметичність у нерухомому з'єднанні (шийка вала-підшипник).

5. Методом ЕІЛ, змінюючи режим легування можна варіювати висотою мікронерівностей, а наступною лезовою обробкою можна забезпечувати те чи інше співвідношення площ з нанесеного металу та металополімерного матеріалу.

6. За матеріалами магістерської роботи опубліковано дві тези доповіді.

## Література

1. Zachary Fiddle Increasing Operational Efficiency With Technology // Forbes – <https://www.forbes.com/councils/forbesbusinesscouncil/2023/03/29/increasing-operational-efficiency-with-technology/>
2. Matthew S. Gamser, Innovation, technical assistance, and development: The importance of technology users, World Development, Volume 16, Issue 6, 1988, Pages 711-721, [https://doi.org/10.1016/0305-750X\(88\)90177-5](https://doi.org/10.1016/0305-750X(88)90177-5).
3. Mora, Manuel & Phillips-Wren, Gloria & Marx-Gomez, Jorge & Wang, Fen & Gelman, Ovsei. (2014). The role of decision-making support systems in IT service management processes. Intelligent Decision Technologies. 8. 147-163. 10.3233/IDT-130184.
4. Експлуатація сільськогосподарських тракторів . Методичні вказівки для самостійної роботи з підготовки трактористівмашиністів А1 // Укладачі: Гунько І.В., Гуцаленко О.В., Музичук В.І., П'ясецький А.А. / Вінниця: ВНАУ. – 2017. 108 с.
5. Основні причини поломки тракторів та запчастини для їх ремонту. [https://krupaik.com.ua/articles/osnovnye-prichiny-polomki-traktorov?srsId=afmbooolfbhl1mynclz9416nyfzloxmgdfpggqhuf-u8qq\\_iejpnwegi](https://krupaik.com.ua/articles/osnovnye-prichiny-polomki-traktorov?srsId=afmbooolfbhl1mynclz9416nyfzloxmgdfpggqhuf-u8qq_iejpnwegi)
6. Аналіз типових несправностей і причин трактора. <https://ua.jiangchenghydraulic.com/info/analysis-of-common-fault-phenomenon-and-cause-62626370.html>
7. Дідур В.В. Конспект лекцій з дисципліни «Технічний сервіс в АПК» для студентів спеціальності 208 «Агроінженерія». – Умань: УНУС. – 2020 р. – 163 с.
8. Технічний сервіс в агропромисловому комплексі: навчальний посібник / Коновалюк О.В., Кіяшко В.М., Колісник М.В. – К.: Аграрна освіта, 2013. – 404 с.
9. Надійність сільськогосподарської техніки: Підручник. Друге видання, перероблене і доповнене/ М.І. Черновол, В.Ю. Черкун, В.В. Аулін, Є.К.

- Солових, С.Г. Гранкін, О.В. Гранкіна. За ред. М.І. Чорновола.- Кіровоград, 2009.
10. Практикум з ремонту машин. Технологія ремонту машин, обладнання та їх складових частин. Том 2 / Сідашенко О.І., Тіхонов О.В. Скобло Т.С. та інші./ За ред. О.І. Сідашенко, О.В. Тіхонова Навчальний посібник. – Харків: ТОВ «Пром-Арт», 2018 - 491с.
  11. Тарельник В.Б. Комбіновані технології електроерозійного легування. - К.: Техніка, 1997. - 127 с.
  12. Тарельник В.Б. Управління якістю поверхневих шарів деталей комбінованим електроерозійним легуванням. - Суми: МакДен, 2002. - 323 с.
  13. Самсонов Г.В. Електроіскрове легування металевих поверхонь / Г.В.Самсонов, А.Д. Верхотуров, Г.А. Бовкун, В.С. Сичів. - К.: Наукова думка, 1976. - 220 с.
  14. Патент України на винахід № 82948, 23С 8/00. Спосіб цементації сталевих деталей електроерозійним легуванням / В.С. Марцинковський, В.Б. Тарельник, А.В. Белоус / Опубл. 25.03.2008, бюл. № 10.
  15. Тарельник В.Б., Белоус А.В. Технологія зміцнення поверхонь деталей машин методом електроерозійної цементації // Вісник національного технічного університету «ХПІ». – 2008. – №4. – С. 27-31.
  16. Верхотуров А.Д., Муха І.М. Технологія електроіскрового легування металевих поверхонь – К. : Техніка, 1982. – 181 с.
  17. Патент України на винахід № 101715, 23Н 9/00. Спосіб цементації сталевих деталей електроерозійним легуванням / В.С. Марцинковський, В.Б. Тарельник, М.П. Братушак / Опубл. 25.01.2013, бюл. № 8.
  18. Тарельник В.Б. Триботехнологія деталей машин: навчальний посібник / В.Б. Тарельник, Конопляченко Є.В., Марцинковський В.С., Антошевський Богдан. – Суми : Видавництво «Мак Ден», 2010. – 264 с.
  19. Тарельник В.Б., Білоус А.В., Яременко В.П., Волкова Л.К. Особливості формування поверхневих шарів при електроерозійному легуванні сталей

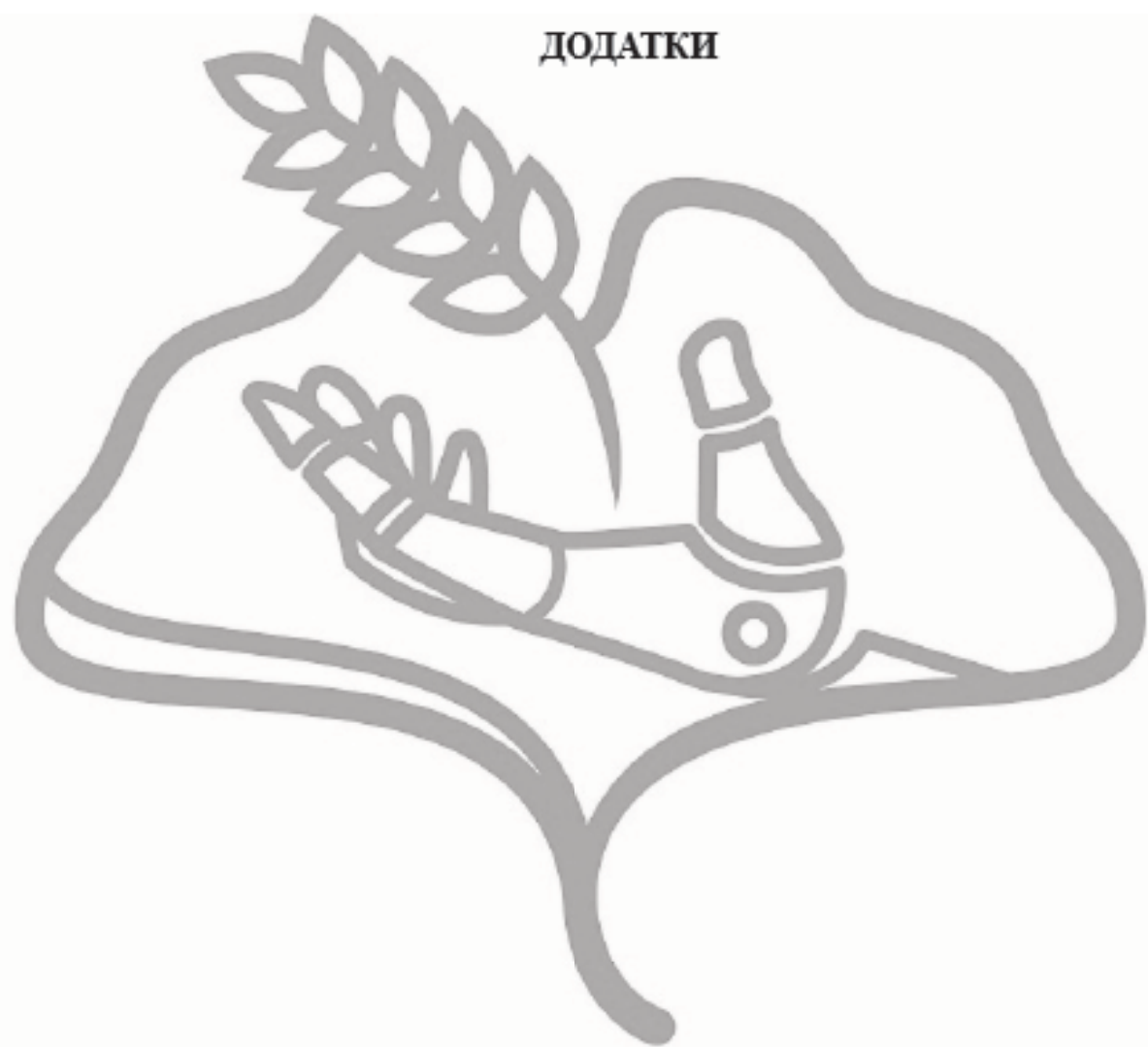
- 40X і 12X18H10T твердими зносостійкими матеріалами // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. – 2006. - №47. – С. 299-303.
20. Тарельник В.Б., Белоус А.В. Математична модель визначення глибини зміцненого шару при електроерозійній цементації // Вісник національного технічного університету "ХПІ". - 2007. - № 17. - С. 3-7.
21. Патент України на винахід № 101715, 23Н 9/00. Спосіб цементації сталевих деталей електроерозійним легуванням/В.С. Марцинковський, В.Б. Тарельник, М.П. Братушак / Опубл. 25.01.2013, бюл. № 8.
22. Марцинковський В.С., Тарельник В.Б. та ін. Проблеми безпечної експлуатації компресорного та насосного обладнання в сучасній промисловості: [колективна монографія] / за ред. В. Б. Тарельника, Є. В. Коноплянченка. Суми: ФОП Литовченко Є.Б., 2020. 410 с.
23. Martsynkovskyy V., Tarelynyk V., Konoplianchenko I., Gaponova O., Dumanchuk M. Technology support for protecting contacting surfaces of half-coupling—Shaft press joints against fretting wear. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer. 2020, P. 216–225. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6_22)
24. Tarelynyk V., Konoplianchenko I., Gaponova O., Antoszewski B., Kundera C., Martsynkovskyy V., Dovzhyk M., Dumanchuk M., Vasilenko O. Application of Multicomponent Wear-Resistant Nanostructures Formed by Electrosark Allowing for Protecting Surfaces of Compression Joints Parts. *Microstructure and Properties of Micro- and Nanoscale Materials, Films, and Coatings (NAP 2019)*. Springer Proceedings in Physics. 2019. Vol. 240. P. 195–209. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-1742-6\\_18](https://doi.org/10.1007/978-981-15-1742-6_18).
25. Tarelynyk V., Konoplianchenko I., Martsynkovskyy V., Dovzhyk M., Dumanchuk M., Goncharenko M., Antoszewski B., Gaponova O. Investigation of Qualitative Parameters of Surface Layers Formed By Stepwise Carburizing and Sulfo-Carburizing of Steel Parts With The Use of Electroerosion Alloying

Method. 8th IEEE International Conference on Nanomaterials: Applications and Properties, NAP 2018. 2018. P. 03TFNMC26. <https://doi.org/10.1109/NAP.2018.8915035>.

26. Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Коноплянченко Є. В.; Тарельник Н. В., Думанчук М. Ю., Гончаренко М. В., Антошевський Б., Кундера Ч. Спосіб обробки поверхонь сталевих деталей: пат. 121343 Україна: МПК (2020.01) В23Н 1/06 (2006.01) В23Н 9/00 С23С 12/02 (2006.01): заявл. 29.05.2018; опубл. 12.05.2020, Бюл. № 9.
27. Тарельник В. Б., Марцинковський В. С., Гапонова О. П., Коноплянченко Е. В., Тарельник Н. В., Думанчук М.Ю., Гончаренко М.В., Антошевський Б., Кундера Ч. Спосіб обробки поверхонь сталевих деталей: пат. 121346 Україна: МПК (2020.01) В23Н 1/06 (2006.01), В23Н 9/00, С23С 12/02 (2006.01) /; заявл. 06.07.2018; опубл. 12.05.2020, Бюл. № 9.

# Інженерно-технологічний факультет СНАУ

ДОДАТКИ



Інженерно-  
технологічний  
факультет  
СНАУ

### Техніко-економічна оцінка технологічного процесу відновлення колінчастого валу

Оцінка ефективності використання розробленого технологічного методу відновлення деталей проводиться по техніко-економічному критерію, який виражається нерівністю:

$$B_B \leq K_D \cdot B_H, \quad (\text{A.1})$$

де  $B_B$  – собівартість проведення відновлення колінвала, грн.;

$K_D$  – коефіцієнт довговічності,  $K_D = 0,8$ ;

$B_H$  – вартість нової деталі.  $B_H = 7500$  грн.

Значення  $B_B$  знаходимо за формулою:

$$B_B = B_{\Pi} + \Pi, \quad (\text{A.2})$$

де  $B_{\Pi}$  – повна собівартість відновлення, грн.;

$\Pi$  – планова величина прибутку підприємства, грн.

Прибуток ремонтного підприємства визначається за формулою:

$$\Pi = 1,05 \cdot B_{\Pi}. \quad (\text{A.3})$$

Повна собівартість проведення відновлення колінвала визначаємо за допомогою формули:

$$B_{\Pi} = Z_{\Pi} + B_{\text{РМ}} + B_{\text{ЗВ}} + B_{\text{ЗГ}} + B_{\text{ПН}}, \quad (\text{A.4})$$

де  $Z_{\Pi}$  – заробітна виробничих працівників, грн.;

$B_{\text{РМ}}$  – вартість матеріалів, що необхідні для ремонту;

$B_{\text{ЗВ}}$  – загальновиробничі накладні витрати, грн.;

$B_{\text{ЗГ}}$  – загальногосподарські накладні витрати, грн.;

$B_{\text{ПН}}$  – поза виробничі накладні витрати, грн.;

Величину заробітної плати виробничих працівників визначаємо за допомогою формули:

$$Z_{\Pi} = Z_0 + Z_d + C_{\text{соц}}, \quad (\text{A.5})$$

де  $Z_0$  – основна заробітна плата працівників, грн.;

$Z_d$  – додаткова заробітна плата працівників, грн.;

$C_{\text{соц}}$  – нарахування на виплату податків у розмірі 35,6% від  $(Z_0 + Z_d)$ , грн.

Значення  $Z_0$  знаходимо за формулою:

$$Z_0 = T_p \cdot C_T \cdot K_t, \quad (A.6)$$

де  $T_p$  – трудомісткість відновлення деталі, люд/год.;

$C_T$  – годинна тарифна ставка, грн./год.;

$K_t$  – коефіцієнт, що враховує доплату за понаднормову та іншу роботу, рівний 1,1–1,12.

## A.2 Розрахунок видатків на реалізацію технологічного процесу

### A.2.1. Розрахунок заробітної плати:

$$Z_0 = 28 \cdot 10 \cdot 1,1 = 308 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата:

$$Z_d = \frac{20 \cdot Z_0}{100}, \quad (A.7)$$

$$Z_d = \frac{20 \cdot 308}{100} = 61,6 \text{ грн.}$$

Виплата податків:

$$C_{\text{соц}} = (308 + 62,6) \cdot 35,6\% = 131,93 \text{ грн.}$$

Звідси отримаємо:

$$Z_{\text{п}} = 308 + 62,6 + 131,93 = 502,53 \text{ грн.}$$

A.2.2. Вартість ремонтних матеріалів приблизно можна визначити виходячи з частки заробітної плати та частки вартості матеріалів:

$$B_{\text{рм}} = \frac{K_{\text{рм}}}{K_{\text{зп}}} \cdot Z_{\text{п}}, \quad (A.8)$$

де:  $K_{\text{рм}}$  – частка вартості матеріалів,  $K_{\text{рм}} = 0,25-0,35$ ;

$K_{\text{зп}}$  – частка заробітної плати,  $K_{\text{зп}} = 0,66-0,75$ .

$$B_{\text{рм}} = \frac{0,35}{0,75} \cdot 502,53 = 234,51 \text{ грн.}$$

A.2.3. Загальновиробничі витрати знаходимо за формулою:

$$B_{\text{зв}} = \frac{B_{\text{зп}} \cdot Z_{\text{п}}}{100}, \quad (A.9)$$

де  $B_{\text{зп}}$  – відсоток загальногосподарських накладних витрат для ремонтної

майстерні, дорівнює 73,7%.

$$B_{зв} = \frac{73,7 \cdot 502,53}{100} = 370,36 \text{ грн.}$$

А.2.4. Загальногосподарські витрати визначаємо за формулою:

$$B_{зг} = \frac{B_{зг} \cdot 3_{п}}{100}, \quad (\text{A.10})$$

де  $B_{зг}$  – відсоток загальногосподарських витрат, дорівнює 20%

$$B_{зг} = \frac{20 \cdot 502,53}{100} = 100,5 \text{ грн.}$$

А.2.5. Позавиробничі витрати визначаємо:

$$B_{пв} = \frac{B_{пв} \cdot 3_{п}}{100}, \quad (\text{A.11})$$

де:  $B_{пв}$  – відсоток позавиробничих витрат, дорівнює 3%.

$$B_{пв} = \frac{3 \cdot 502,53}{100} = 15,07 \text{ грн.}$$

А.2.6. Повна собівартість відновлення:

$$B_{п} = 502,53 + 234,51 + 307,36 + 100,5 + 15,07 = 1159,97 \text{ грн.}$$

А.2.7. Прибуток ремонтного підприємства:

$$H = 1,05 \cdot 1159,97 = 1217,96 \text{ грн.}$$

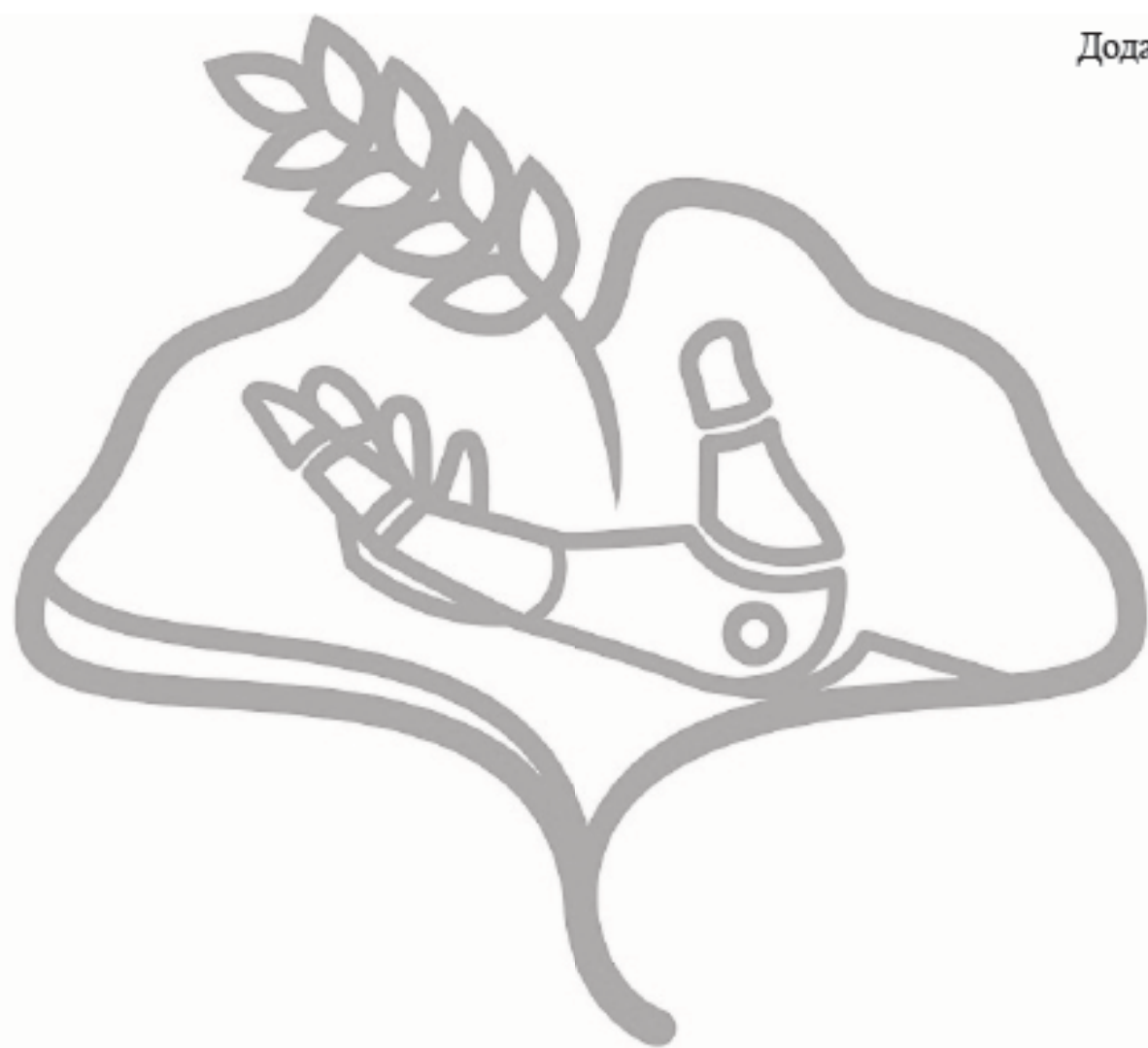
А.2.8. Знайдемо вартість відновлення:

$$B_{в} = 1159,97 + 1217,96 = 2377,94 \text{ грн.}$$

Підставивши данні у нерівність  $B_{в} \leq K_{д} \cdot B_{п}$  значення  $B_{в}$ , отримаємо:

$$2377,94 \leq 0,8 \cdot 7500 \text{ грн.}$$

$$2377,94 < 6000 \text{ грн.}$$



Інженерно-  
технологічний  
факультет  
СНАУ