

Тема: «Удосконалення технології відновлення деталей сільськогосподарської техніки»

Виконав: Кобзар Д.О.

Керівник: Тарельник Н.В.

## **ВСТУП**

### **1. Актуальність теми**

Сучасний розвиток агросектору значною мірою залежний від технічного стану та надійності сільськогосподарської техніки. інтенсивні режими експлуатації, робота в агресивному середовищі, сезонні навантаження та недостатній рівень технічного обслуговування призводять до прискореного зносу деталей, що у свою чергу, спричиняє зниження ефективності машин та підвищення витрат на їх утримання. У цих умовах особливої ваги набувають технології відновлення деталей, які дозволяють суттєво зменшити собівартість ремонту, збільшити ресурс техніки та підвищити її надійність.

Серед сучасних методів відновлення все більшого поширення набуває електроерозійне легування, яке забезпечує формування на поверхні зношених деталей зміцненого шару з підвищеними трибологічними властивостями. Цей метод вирізняється можливістю локального відновлення складних поверхонь, високою адгезією відновленого шару та здатністю ефективно працювати з різними матеріалами. Удосконалення технології електроерозійного легування є актуальним завданням, оскільки воно сприятиме підвищенню довговічності та надійності сільськогосподарської техніки, а також оптимізації ремонтних процесів.

### **2. Аналіз стану наукової розробки проблеми**

Питанням зношування та відновлювання деталей сільськогосподарської техніки присвячена значна кількість наукових праць, у яких розглядаються методи наплавки, зварювання, мехічної обробки та інші технології. Окремий науковий напрям становлять дослідження імпульсної

електроерозійної обробки та її різновидів, серед яких електроерозійне легування вирізняється широкими функціональними можливостями.

У працях різних дослідників вивчено механізм переносу матеріалу під дією електричних імпульсів, особливості формування покриттів, вплив параметрів обробки на фізико-механічні властивості зміцненого шару. Проте низка питань залишається недостатньо розробленою. Серед них – оптимізація режимів легування для конкретних груп деталей, удосконалення технологічних схем ремонту, дослідження зносостійкості відновлених поверхонь у реальних умовах експлуатації сільськогосподарської техніки. Це зумовлює необхідність подальших досліджень у цьому напрямку.

### **3. Мета дослідження**

Метою дослідження є удосконалення технології відновлення деталей сільськогосподарської техніки методом електроерозійного легування для підвищення їх зносостійкості та ресурсу роботи.

### **4. Об'єкт дослідження**

Об'єктом дослідження є деталі сільськогосподарської техніки, які зазнають інтенсивного зносу.

### **5. Предмет дослідження**

Предметом дослідження є технологічний процес електроерозійного легування та його вплив на експлуатаційні характеристики відновлених поверхонь деталей.

### **6. Завдання дослідження**

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

1. Проаналізувати особливості зношування деталей сільськогосподарської техніки та обґрунтувати доцільність їх відновлення методом ЕЕЛ.
2. Дослідити існуючі технологічні схеми електроерозійного легування та визначити їхні переваги та недоліки.
3. Обрати матеріали електроду-інструменту та встановити оптимальні режими перенесення матеріалу.

4. Провести експериментальне дослідження обраною технології відновлення зношених деталей.
5. Провести експериментальні дослідження структури та властивостей отриманих покриттів, задля оцінки зносостійкості та надійності.
6. Розробити економічне обґрунтування та інструкції з охорони праці, щодо впровадження технології у ремонтне виробництво.

#### **7. Методи дослідження**

У роботі застосовуються методи:

1. Метод електроіскрового легування.
2. Метод відновлення деталей електроіскровим легуванням.
3. Метод металографічних досліджень.

#### **8. Структура та обсяг роботи**

Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. У першому розділі розглянуто теоретичні основи зношування та технології їх відновлення. Другий розділ містить експериментальні дослідження та оцінку ефективності технології електроерозійного легування. У третьому розділі розроблено інструкцію з охорони праці. Четвертий розділ – це економічне обґрунтування впровадження запропонованої технології у ремонтне виробництво. Робота включає таблиці, рисунки і додаткові матеріали, необхідні для повного розкриття теми.

## РОЗДІЛ 1

### 1 ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬГОСПТЕХНІКИ

#### 1.1 Деталі, які зношуються.

Експлуатація сільськогосподарської техніки відбувається в умовах підвищеної складності, які можна охарактеризувати як агресивні з аспекту впливу зовнішніх факторів на робочі елементи машин. До таких умов належать підвищена запиленість навколишнього середовища, наявність вологи, контакт із агрохімічними сполуками, механічні удари, що виникають під час роботи на нерівних ділянках ґрунту, а також суттєві коливання навантажень. Сукупність зазначених чинників призводить до прискорення процесів зношування деталей і скорочення їхнього експлуатаційного ресурсу. Важливим є і те, що тривала робота без проведення належного технічного обслуговування, а також вплив різких температурних коливань, додатково активізують процеси структурної деградації металів і сприяють розвитку корозійних явищ.

Основними чинниками, що впливають на стан деталей сільськогосподарських машин, є абразивне тертя, спричинене наявністю у робочій зоні пилу та твердих частинок ґрунту. Внаслідок їхньої дії відбувається інтенсивне стирання робочих поверхонь і поступова втрата геометричної точності. Значний вплив має також волога у поєднанні з агресивними хімічними середовищами, що зумовлюють корозійне руйнування, особливо в гідроциліндрах, корпусних елементах та інших деталях, виготовлених із вуглецевих і легованих сталей. Ударні навантаження, які виникають при русі техніки по пересіченій місцевості або під час контакту з камінням, викликають появу мікротріщин, пластичних деформацій та локальних пошкоджень робочих поверхонь, що знижує довговічність та надійність агрегатів.

Найбільш уразливими з точки зору зношування є деталі, які виконують функції передачі руху або перебувають у безпосередньому контакті з

абразивним середовищем. До них належать вали, підшипники, шестерні, гільзи циліндрів, гідроциліндри, пальці з'єднань та втулки. Вали зазнають зношування шийок унаслідок тривалого тертя та можливих деформацій при перевантаженнях. Підшипники виходять з ладу переважно через забруднення мастильних матеріалів, втрату мастила та корозію. Шестерні, що забезпечують передачу крутного моменту, інтенсивно зношуються унаслідок абразивної дії частинок ґрунту, а також через порушення точності зачеплення зубів. Гільзи циліндрів схильні до утворення задирів і деформацій, що зумовлюється контактною взаємодією з поршнями та впливом продуктів згоряння і мастильних матеріалів. Гідроциліндри, у свою чергу, руйнуються під впливом агресивних робочих рідин і абразивних домішок. Пальці з'єднань та втулки інтенсивно зношуються внаслідок вібраційних процесів та недостатнього рівня змащування у парах тертя.

Механізми зношування деталей сільськогосподарської техніки можна класифікувати як абразивне, адгезійне та корозійне зношування, а також як утомне руйнування, що відбувається при циклічних навантаженнях. Додатковим деструктивним фактором є механічні пошкодження, зокрема утворення тріщин, вм'ятин та викришування матеріалу. Слід підкреслити, що абразивне зношування є найбільш поширеним видом руйнування робочих поверхонь, тоді як адгезійне проявляється у випадках недостатнього змащення. Корозійні процеси розвиваються переважно у присутності вологи та агресивних сполук, тоді як утомне руйнування пов'язане з дією динамічних і змінних навантажень.

Розуміння процесів зношування є визначальним для правильного вибору методів відновлення, які спрямовані на повернення деталей до працездатного стану і подовження їхнього терміну служби. У практиці ремонту сільськогосподарської техніки найбільш поширеними є технології відновлення, що забезпечують відновлення геометричних параметрів та відновлення фізико-механічних властивостей поверхонь деталей. Застосування відповідних методів дає змогу суттєво підвищити ефективність

експлуатації машинно-тракторного парку, зменшити витрати на придбання нових запчастин та оптимізувати витрати аграрних підприємств.

Отже, в умовах сільськогосподарського виробництва найбільш інтенсивному зношуванню підлягають деталі, що перебувають у стані активного руху, зазнають значних статичних і динамічних навантажень та взаємодіють з агресивним зовнішнім середовищем. Своєчасне визначення ступеня зношення окремих компонентів, а також правильний вибір методів ремонту та відновлення, є ключовими факторами, що забезпечують надійність і ефективність функціонування сільськогосподарської техніки у сучасних виробничих умовах.

## **1.2 Види зношення**

Зношування елементів сільськогосподарських машин є природним процесом, який відбувається поступово внаслідок дії різних фізико-хімічних чинників - таких як тертя, температурні коливання, корозія тощо. Дослідження цих явищ дозволяє з'ясувати, які саме вузли та компоненти найчастіше піддаються руйнуванню, а також оцінити, як це впливає на працездатність, безпечність і строк експлуатації техніки. Аналіз механізмів зношування сприяє вдосконаленню конструкцій, підбору матеріалів і технологій виготовлення з метою зменшення негативних наслідків тертя та продовження ресурсу агрегатів.

Мета такого аналізу полягає у розумінні процесів, що відбуваються з деталями під час їхньої роботи. Це включає вивчення різних форм зношування - хімічного, механічного, термічного - і визначення їхнього впливу на функціональність та безпеку транспортних засобів. Підсумком дослідження є встановлення компонентів, які зношуються найінтенсивніше, а також факторів, що прискорюють цей процес. Остаточна ціль - розробити заходи, здатні зменшити втрати матеріалу й підвищити довговічність деталей та техніки загалом.

Механічне зношування (рис. 1.1) виникає через безпосередню дію механічних навантажень. Наприклад, у двигуні поршень рухається всередині

гільзи, створюючи контактні навантаження. У разі недостатнього змащення на поверхнях виникає інтенсивне тертя, яке спричиняє поступове руйнування гільзи та поршня. [1]



Рис. 1.1 - Механічне зношування [1]

Молекулярно-механічне зношування (рис. 1.2) — результат сумісної дії механічних навантажень і міжатомних сил. Таке явище спостерігається, зокрема, у зубчастих передачах і редукторах, де контактуючі поверхні перебувають у постійному русі. Через це на молекулярному рівні відбувається руйнування металу, що скорочує строк служби механізму. [2]



Рис. 1.2 - Молекулярно-механічне зношування [2]

Корозійно-механічне зношування (рис. 1.3) поєднує механічну дію з хімічною взаємодією матеріалу та навколишнього середовища. Типовим прикладом є руйнування труб у гідравлічних системах, які контактують із

агресивними рідинами. Високий тиск і коливання сприяють прискоренню корозійних процесів, що може призвести до пошкодження трубопроводу. [3]



Рис. 1.3 - Корозійно-механічне зношування [3]

Абразивне зношування (рис. 1.4) відбувається тоді, коли поверхня зазнає впливу твердих частинок, які діють подібно до ріжучих інструментів. Це характерно, наприклад, для шин, що стикаються з дорогою, піском і камінням, унаслідок чого відбувається стирання гумового шару. [4]



Рис. 1.4 - Абразивне зношування [4]

Гідроабразивне зношування (рис. 1.5) спостерігається, коли частинки, захоплені потоком рідини, діють на стінки елементів системи. У насосах

гідравлічних систем потоки під високим тиском можуть спричиняти турбулентність, яка, у свою чергу, руйнує внутрішні поверхні корпусу. [5]

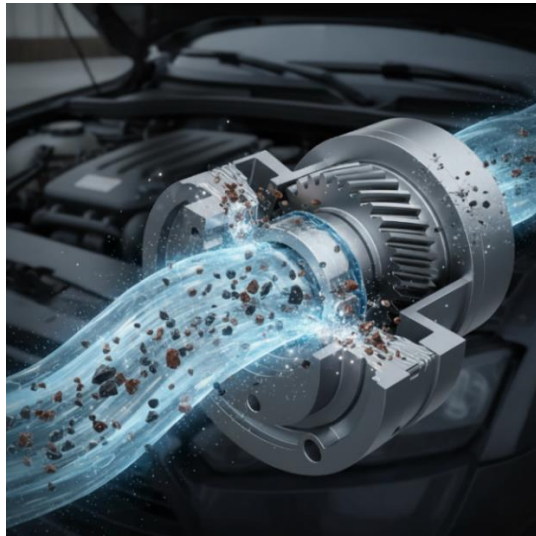


Рис. 1.5 - Гідроабразивне зношування [5]

Газоабразивне зношування (рис. 1.6) має схожий характер, але відбувається у середовищі газів. Наприклад, у двигунах внутрішнього згоряння входні та вихідні канали піддаються дії потоку повітря з частинками пилу, що призводить до пошкодження поверхонь і зменшення ефективності роботи двигуна. [6]

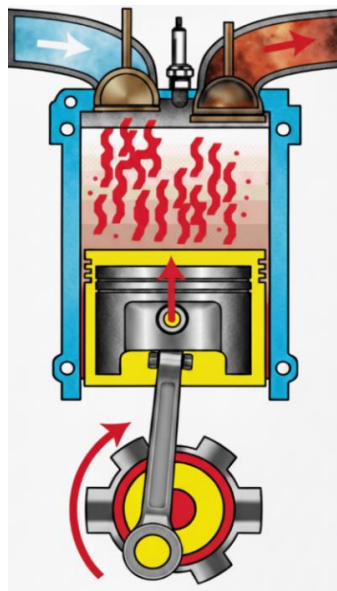


Рис. 1.6 - Газоабразивне зношування [6]

Втомне зношування (рис. 1.7) з'являється внаслідок багаторазового циклічного навантаження, коли поверхневі мікроділянки матеріалу поступово руйнуються, утворюючи тріщини. Таке явище спостерігається в елементах

підвіски або кермової системи, де ущільнювальні елементи зазнають постійного стискання та тертя. [7]



Рис. 1.7 - Втомне зношування [7]

Ерозійне зношування (рис. 1.8) відбувається під дією потоку газу чи рідини. Це, наприклад, характерно для елементів вихлопної системи, де гарячі гази та тверді домішки поступово пошкоджують внутрішні поверхні колекторів і глушників, погіршуючи їхню ефективність. [5]

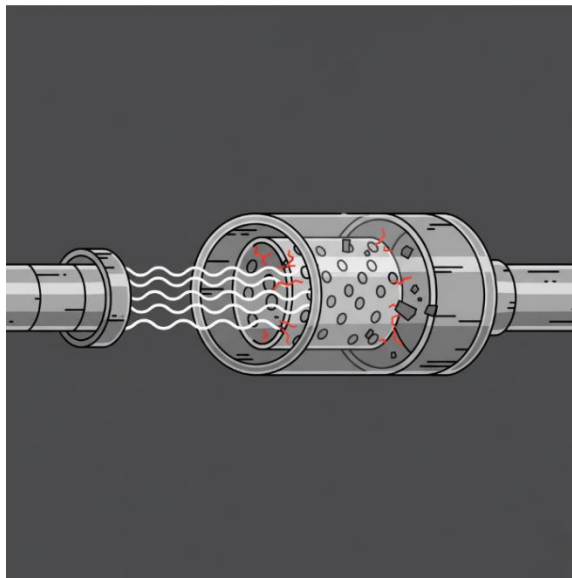


Рис. 1.8 - Ерозійне зношування [5]

Кавітаційне зношування (рис. 1.9) спостерігається в умовах кавітації при відносному русі твердого тіла в рідині поверхня зношується. Виникає під час утворення і руйнування парових бульбашок у рідині, коли тиск падає нижче рівня насичення. У системах із високими температурами й тиском

(насоси, гідропередачі, двигуни) ці мікровибухи спричиняють руйнування поверхонь і зменшення ефективності роботи обладнання. [5]



Рис. 1.9 - Кавітаційне зношування [5]

Окисне зношування (рис. 1.10) розвивається при взаємодії металів з киснем повітря, коли на поверхні утворюється захисна плівка з оксидів. З часом ці плівки руйнуються, сприяючи подальшому окисленню, як це відбувається під час ржавіння сталевих деталей. [1]

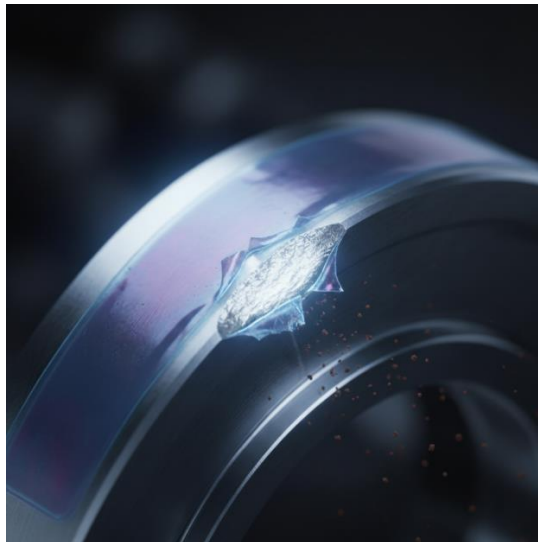


Рис. 1.10 - Окисне зношування [1]

Зношування внаслідок фреттинг-корозії (рис. 1.11) проявляється при мікроколивальних переміщеннях контактуючих деталей. Це часто трапляється у місцях з'єднання валів і підшипників, де незначні коливання спричиняють тертя та корозію, що поступово руйнує поверхні дотику. [7]



Рис. 1.11 - Зношування внаслідок фреттинг-корозії [7]

### 1.3 Технології відновлення деталей.

Деталі сільськогосподарської техніки працюють у складних умовах, що суттєво впливає на характер та інтенсивність їх зношення. Постійний контакт із пилом, ґрунтом, вологими та агресивними середовищами, а також високі механічні навантаження, удари і вібрації спричиняють різні види пошкоджень — від поверхневого стирання до глибоких тріщин і корозійних руйнувань. Внаслідок таких факторів деталі втрачають свої геометричні параметри, міцність і довговічність, що негативно впливає на роботу всієї техніки.

Для продовження ресурсу роботи деталей та підвищення надійності сільськогосподарських машин застосовують різноманітні технології відновлення, які дозволяють не тільки повернути вихідні розміри і форми, а й покращити експлуатаційні характеристики. Сучасні методи ремонту деталей орієнтовані на мінімізацію витрат, збереження ресурсів та екологічну безпеку, що надзвичайно важливо у аграрному секторі з його специфікою.

Серед технологій відновлення, які найчастіше застосовуються і довели свою ефективність, виділяють кілька основних, що набули поширення внаслідок поєднання доступності та надійності.

**Наплавка та зварювання** (рис. 1.12) : наплавка використовується для відновлення деталей, які піддалися зносу, за допомогою нанесення металевого

шару на поверхню деталі; зварювання, в свою чергу, дозволяє відновити цілісність ушкоджених частин. [8]

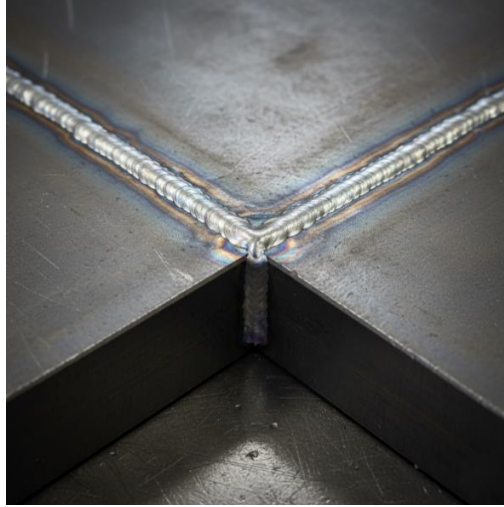


Рис. 1.12 - Наплавка та зварювання [8]

Переваги: можливість відновлення деталей складної форми, зниження витрат на нові запчастини.

Недоліки: необхідність висококваліфікованих зварювальників та спеціального обладнання.

Приклад: наплавка металу на зношену частину зуба роторного комбайна для відновлення його форми.

**Механічна обробка** (рис. 1.13) — механічне відновлення деталей включає в себе процеси обробки, такі як фрезерування, токарна обробка, шліфування та інші. Цей метод дозволяє відновити геометричні форми деталей після зносу. [9]



Рис. 1.13 - Механічна обробка [9]

Переваги: точність обробки, збереження конструкційних характеристик.

Недоліки: потребує наявності спеціального обладнання, обмежена можливість відновлення великих або сильно зношених деталей.

Приклад: фрезерування корпусу редуктора для відновлення його геометрії після зносу.

**Технології відновлення за допомогою 3D-друку** (рис. 1.14) — метод є новим і дозволяє відновлювати або створювати окремі деталі техніки шляхом їхнього 3D-друку. Відновлення таким способом може здійснюватися навіть для складних або рідкісних запчастин. [10]

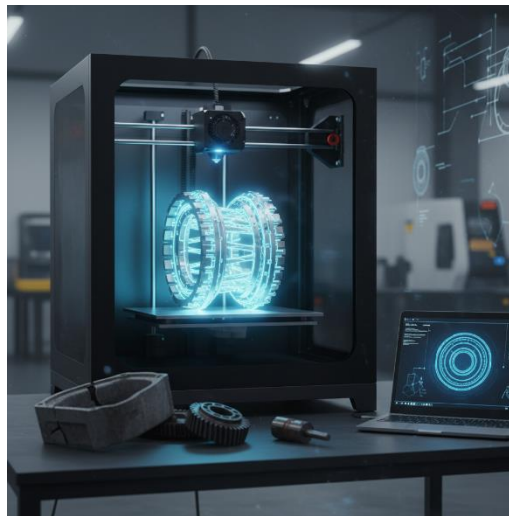


Рис. 1.14 - Технології відновлення за допомогою 3D-друку [10]

Переваги: швидкість виробництва, можливість створення деталей за специфікацією.

Недоліки: висока вартість обладнання, обмежена кількість матеріалів для друку.

Приклад: виготовлення за допомогою 3D-друку рідкісних деталей для сільськогосподарської техніки, таких як спеціальні кріплення для тракторів.

**Фрикційне зварювання** (рис. 1.15) — використовується для з'єднання матеріалів через тертя та високу температуру, що виникає при обертових рухах деталей. [11]

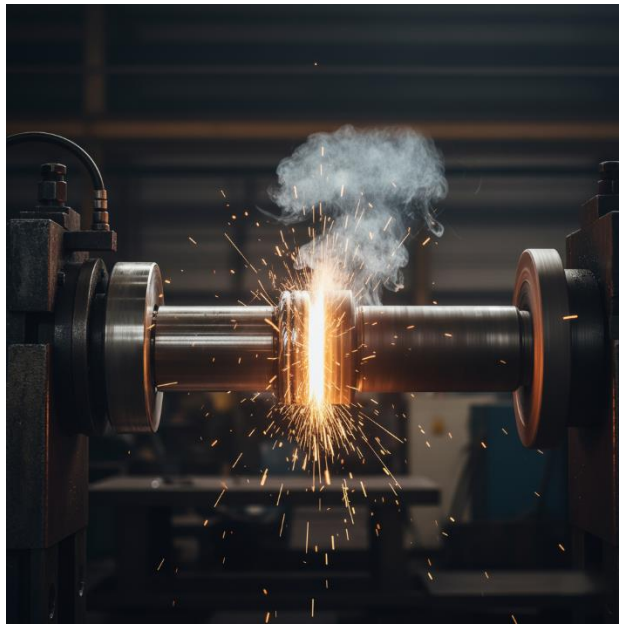


Рис. 1.15 - Фрикційне зварювання [11]

Переваги: високоякісне з'єднання деталей без використання додаткових матеріалів.

Недоліки: потребує спеціалізованого обладнання та навичок.

Приклад: з'єднання двох частин металевої рами сільськогосподарського інструменту через тертя для відновлення її цілісності.

**Гальванічне покриття** (рис. 1.16) — метод включає нанесення металевого шару (наприклад, хрому чи нікелю) на поверхню деталей за допомогою електролітичного процесу. [12]



Рис. 1.16 - Гальванічне покриття [12]

Переваги: покращення зносостійкості, корозійної стійкості, а також відновлення геометрії деталей.

Недоліки: складність процесу, потреба в обладнанні для електролізу.

Приклад: нанесення нікелевого покриття на деталі, що піддаються корозії, як, наприклад, деталі паливної системи тракторів.

**Метод відновлення з використанням порошкових покриттів** (рис. 1.17) — метод нанесення покриттів з металевих або неметалевих порошоків, які після наплавлення формують міцну поверхню на деталі. Це може бути корисно для відновлення зношених деталей або захисту їх від корозії. [13]



Рис. 1.17 - Метод відновлення з використанням порошкових покриттів [13]

Переваги: висока зносостійкість, стійкість до температурних коливань.

Недоліки: складність процесу, потребує спеціального обладнання.

Приклад: відновлення зношених поверхонь плужних лап або сошників сівалок за допомогою порошкового напилення для підвищення їх зносостійкості при роботі в абразивному ґрунтовому середовищі.

**Ультразвукове очищення та обробка** (рис. 1.18) — ультразвукові хвилі використовуються для очищення деталей від забруднень та для обробки поверхні, що дозволяє відновити точність і функціональність частин без значних механічних впливів. [14]



Рис. 1.18 - Ультразвукове очищення та обробка [14]

Переваги: ефективність очищення, мінімальна шкода поверхні.

Недоліки: може бути менш ефективним при великих пошкодженнях.

Приклад: ультразвукове очищення фільтрів в системах охолодження техніки від забруднень.

**Метод відновлення за допомогою вібраційної обробки** (рис. 1.19) — метод використовує вібраційний процес для вирівнювання та зменшення напружень на поверхні деталі, що дозволяє продовжити її термін служби, особливо для деталей, що піддаються тривалим циклам навантаження. [15]

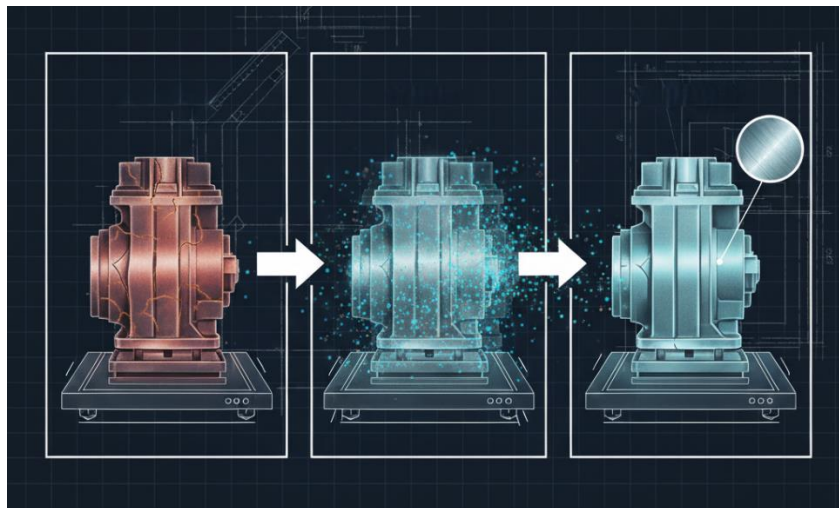


Рис. 1.19 - Метод відновлення за допомогою вібраційної обробки [15]

Переваги: покращення механічних властивостей деталей без потреби в значних енергетичних витратах.

Недоліки: ефективний тільки для певних типів зношування, необхідність наявності спеціального обладнання.

Приклад: вібраційна обробка корпусів редукторів зернозбиральних комбайнів після зварювального ремонту для зняття залишкових напружень і попередження деформацій під час експлуатації.

**Метод газової наплавки** (рис. 1.20) — газова наплавка полягає в використанні полум'я, яке плавить матеріал, який потім наноситься на поверхню зношених деталей. Цей метод широко використовується для ремонту великих деталей, таких як корпуси або основні механізми. [16]



Рис. 1.20 - Метод газової наплавки [16]

Переваги: доступність обладнання, здатність працювати з різними металами.

Недоліки: потребує високого рівня кваліфікації майстра, можливість деформації деталей через температурні навантаження.

Приклад: газова наплавка посадкових місць на корпусах редукторів тракторів після зношування від тривалого контакту з обертовими валами.

**Метод електроерозійного легування** (рис. 1.21) — метод поверхневої обробки, що базується на використанні імпульсних електричних розрядів для перенесення матеріалу з електрода-інструмента на поверхню деталі. Внаслідок цього утворюється зміцнений легований шар з покращеними властивостями, такими як твердість, зносостійкість або корозійна стійкість. [17]



Рис. 1.21 - Метод електроерозійного легування [17]

Переваги: дозволяє локально зміцнювати поверхню без значного нагріву деталі; забезпечує модифікацію важкодоступних ділянок складної форми; не потребує вакууму чи захисного газу.

Недоліки: обробці підлягають лише матеріали, що проводять електричний струм; обмежена глибина легованого шару (зазвичай до 100 мкм).

Приклад: електроерозійне легування сталевих зубчастих коліс електродом із титану для підвищення зносостійкості робочих поверхонь зубців.

#### **1.4 Висновки.**

1. Проведений аналіз умов роботи та видів зношування деталей сільськогосподарського обладнання.

2. Аналіз сучасних методів зміцнення та відновлення сільськогосподарського обладнання показав, що найбільш ефективним та екологічнобезпечним є електроерозійне легування.

3. Аналіз методу електроерозійного легування показав, що воно є найбільш сучасним, універсальним і безпечним методом, адже воно не деформує деталі, дозволяє працювати з важкодоступними поверхнями,

створює якісний зносостійкий шар, не потребує дорогих середовищ (газ, вакуум).

## РОЗДІЛ 2

### 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

#### 2.1 Електроерозійне легування.

У процесі відновлення зношених деталей сільськогосподарської техніки важливо не лише компенсувати втрати матеріалу, а й підвищити зносостійкість, твердість та довговічність поверхні. Однією з інноваційних технологій, що дозволяє досягти високих експлуатаційних характеристик при мінімальних енергозатратах і збереженні точності, є електроерозійне легування (ЕЕЛ). [18]

**Електроерозійне легування** — це метод поверхневого зміцнення та відновлення деталей, який базується на перенесенні матеріалу з електрода на деталь за допомогою іскрових електричних розрядів. При цьому відбувається локальне плавлення поверхні деталі та легуючого матеріалу, а потім швидке охолодження, що утворює щільний, зносостійкий та хіміко-стійкий шар. [19]

**Основний принцип роботи:** між деталлю (катодом) та електродом-інструментом (анодом) подаються короткі імпульси високої напруги; внаслідок іскрового розряду утворюється локальна зона високої температури (до 10 000 °С); поверхня частково плавиться, матеріал з електрода переноситься та вбудовується в поверхневий шар деталі; завдяки мікрозагартуванню відбувається структурне зміцнення поверхні з формуванням тонкого, але надтвердого шару (до 100–300 мкм).

#### **Послідовність операцій при електроерозійному легуванні:**

Дефектація та підготовка поверхні: огляд деталі, вимірювання зношених ділянок; механічне очищення від іржі, мастил, окалини; знежирення поверхні (наприклад, ацетоном або етиловим спиртом); за потреби — попереднє шліфування для вирівнювання площини.

Вибір легуючого електрода: визначення бажаних властивостей покриття (зносостійкість, корозійна стійкість, твердість); вибір електрода (найчастіше це: ВК-8, ЦМ-2А, сплави на основі титану, хрому, молібдену). [20]

Налаштування обладнання: підключення джерела імпульсного струму; встановлення електрода на власник; вибір режиму напруги, частоти імпульсів (залежно від матеріалу електрода та деталі).

Процес легування: електрод переміщується по поверхні деталі вручну або автоматизовано; у місці розряду відбувається мікроплавлення і твердофазне вбудовування легуючого елемента; поверхня обробляється рівномірно по всій зоні зношення або на контактних ділянках; час обробки визначається товщиною покриття та розміром зони.

Охолодження та обробка після легування: природне охолодження (або в потоці повітря); за потреби — легке шліфування чи доведення для точності; контроль якості (твердість, адгезія, мікроструктура).

До основних технологічних параметрів ЕЕЛ належать: амплітуда та тривалість імпульсів, частота їх подачі, величина робочого зазору між електродом і деталлю, а також швидкість переміщення електрода по поверхні. Контроль за цими параметрами дозволяє регулювати товщину легуваного шару, його мікротвердість, мікроструктуру і рівень залишкових напружень. [21, 22]

Застосування ЕЕЛ особливо доцільне у випадках, коли необхідно локально відновити робочі поверхні без суттєвого нагрівання всієї деталі. На практиці метод знайшов використання у відновленні деталей двигунів внутрішнього згоряння, підшипникових вузлів, пресового обладнання, інструменту та елементів сільськогосподарської техніки. [23]

## **2.2 Методика і результати проведення дослідів.**

**Підготовка зразків:** Для експериментальних досліджень використовували циліндричні зразки з конструкційної сталі 38Х2МЮА діаметром  $\varnothing$  40 мм і висотою 30 мм. Як легуючий електрод застосовували стрижні з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т та з порошкових композицій на основі вольфраму і титану.

**Обладнання та режими:** Обробку проводили на установці електроерозійного легування моделі «ЕІЛ-9» (рис. 2.1), яка дозволяє

працювати в режимі імпульсного розряду з можливістю регулювання енергії імпульсів у межах 0,1–1,0 Дж та частоти 100–500 Гц. Зразки закріплювали на робочому столі установки, після чого на поверхню наносили легуючий шар методом багатопрохідної обробки при різній тривалості часу.

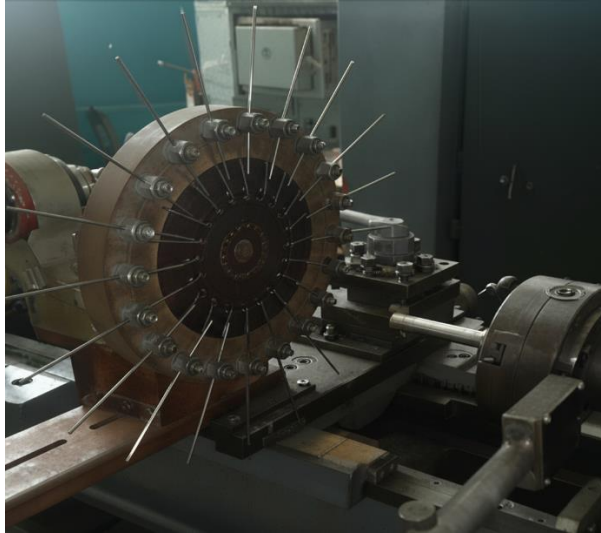


Рис. 2.1 - Установка моделі «ЕІЛ-9»

В ході досліду досліджували вплив тривалості процесу на товщину та властивості легованого шару. Для цього було оброблено три зразки (рис. 2.2) при різній кількості проходів електрода:

- зразок №1 — 5 хв обробки;
- зразок №2 — 10 хв;
- зразок №3 — 15 хв.

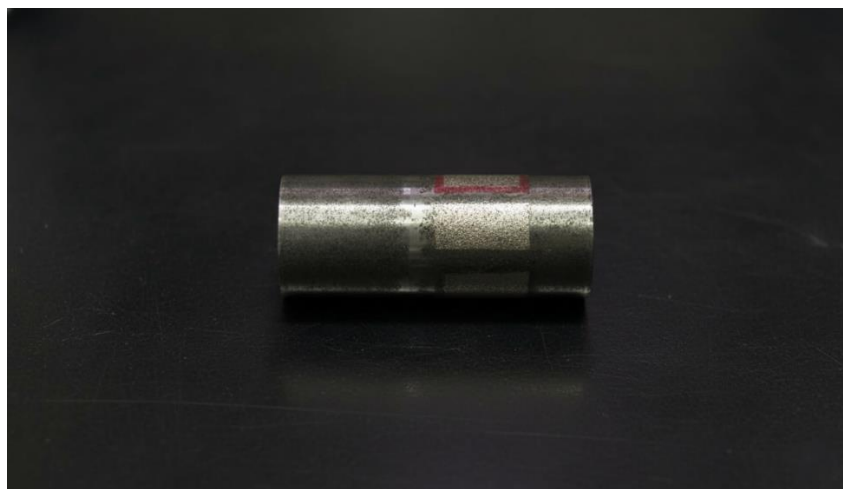


Рис. 2.2 - Зразки для експерименту

**Методика вимірювання:** Після проведення електроерозійного легування зразки піддавали металографічному аналізу. Із кожного зразка

вирізали сегменти, з яких виготовляли шліфи (рис. 2.3) для визначення мікроструктури та проведення вимірювань мікротвердості. Мікротвердість вимірювали по глибині зміцненого шару за допомогою приладу ПМТ-3.



Рис. 2.3 - Шліфи

**Результати досліджень:** Було досліджено три зразки і у результаті встановлено, що на поверхні всіх зразків утворився рівномірний зміцнений шар товщиною від 150 до 500 мкм залежно від режиму обробки. Значення мікротвердості на поверхні становили 8500–11000 МПа, що у 2,5–3 рази перевищує показники основного металу. Зі збільшенням часу обробки глибина легованого шару зростала, при цьому зразки, леговані протягом 15 хв, характеризувалися найбільшою товщиною зміцненої зони (до 0,5 мм) та плавним переходом мікротвердості від поверхні до основного металу. Результати вимірювання мікротвердості зміцненого шару представлені в табл. 2.1

Таблиця 2.1 – Показники розподілу та зміни мікротвердості залежно від глибини зміцненого шару.

h, мкм	H <sub>μ</sub> , МПа (зразок №1)	H <sub>μ</sub> , МПа (зразок №2)	H <sub>μ</sub> , МПа (зразок №3)
0	8600	9800	11000
100	7200	8500	9700
200	5100	6800	8200
300	3900	5200	6500
400	-	4000	5200
500	-	-	3900

Аналіз результатів показав, що з ростом тривалості електроерозійного легування відбувається не лише збільшення товщини легованого шару, але й більш рівномірний розподіл мікротвердості по глибині. Це підтверджує доцільність використання триваліших режимів для отримання оптимальних експлуатаційних властивостей деталей.

### **2.3 Висновки.**

1. Метод ЕЕЛ дозволяє отримати поверхневі шари мікротвердістю до 11000 МПа.
2. Товщина легованого шару зростає з часом обробки і сягає 500 мкм.
3. При збільшенні тривалості процесу спостерігається більш рівномірний розподіл твердості по глибині (отримуємо більш плавний градієнт твердості).
4. ЕЕЛ є доцільним для локального відновлення функціональних поверхонь деталей агротехніки.

## РОЗДІЛ 3

### 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНИМ ЛЕГУВАННЯМ

#### 3.1 Загальні положення.

Під час проведення робіт із електроерозійного легування деталей сільськогосподарської техніки необхідно суворо дотримуватись вимог чинних нормативних актів з охорони праці, зокрема:

- Закону України «Про охорону праці»;
- ДСТУ EN 50110-1:2014 «Експлуатація електроустановок»;
- Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів (НПАОП 40.1-1.21-98);
- Правил пожежної безпеки в Україні (НАПБ А.01.001-2014).

Електроерозійне легування (ЕЕЛ) передбачає використання імпульсних електричних розрядів високої напруги, які створюють локальні температури до 10 000 °С. Під час цього процесу відбувається випаровування частинок металу з електрода та поверхні деталі, тому робоча зона повинна бути обладнана ефективною вентиляцією для видалення газів і пилу.

Роботи виконуються лише кваліфікованим персоналом, який пройшов інструктаж із техніки безпеки, перевірку знань із охорони праці та має допуск до роботи з електроустановками до 1000 В.

Основними небезпечними і шкідливими виробничими факторами при ЕЕЛ є:

- електричний струм високої напруги;
- випромінювання електричної дуги;
- підвищена температура в зоні розряду;
- металевий пил та аерозолі;
- шум і вібрація установки;
- можливість займання мастильних або знежирювальних речовин.

Організація робочого місця має передбачати:

- заземлення обладнання;

- справну електроізоляцію;
- наявність витяжної вентиляції;
- ізольовані підлоги (гумові килимки, сухі настили);
- попереджувальні таблички та засоби пожежогасіння.

### **3.2 Засоби індивідуального захисту.**

Під час виконання електроерозійного легування працівник зобов'язаний використовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) відповідно до вимог ДСТУ EN 340-2001 і ДСТУ EN 166:2001.

До основних ЗІЗ належать: діелектричні рукавиці та взуття, що захищають від ураження електричним струмом; захисні окуляри або щиток із фільтраційним склом (для захисту очей від іскор та ультрафіолетового випромінювання); спецодяг із негорючих матеріалів (бавовна з антисептичним просоченням або комбінезон із антистатичним покриттям); респіратор типу РПГ-67 або аналогічний, що захищає від металевих аерозолів та пилу; беруші або навушники для зниження впливу шуму (рівень шуму може перевищувати 80 дБ).

ЗІЗ повинні утримуватись у справному стані, регулярно перевірятись і замінюватись у разі пошкодження.

### **3.3 Пожежна безпека.**

Роботи з електроерозійного легування проводяться в приміщеннях, обладнаних вентиляцією та пожежною сигналізацією.

Джерелом займання можуть бути електричні розряди, іскри або перегрівання електрода, тому робоча зона повинна бути очищена від горючих матеріалів, мастил, ганчір'я та розчинників.

У безпосередній близькості від установки повинні бути розміщені: вогнегасник вуглекислотний (ВВК-2 або ВВК-5), ящик із піском та лопатою, засоби для відключення електроживлення в аварійних випадках (аварійний рубильник).

Під час знежирення деталей забороняється використовувати відкритий вогонь і проводити легування, поки розчинники не випаруються повністю.

У разі займання металевої стружки чи порошку забороняється гасити водою — застосовують пісок або сухі порошкові засоби.

### **3.4 Хімічна безпека.**

Перед електроерозійним легуванням деталі зазвичай проходять очищення і знежирення з використанням хімічних реагентів (ацетон, спирт, технічні розчинники). Ці речовини є легкозаймистими та токсичними, тому необхідно:

- працювати тільки у вентиляваному приміщенні або під витяжкою;
- уникати контакту реагентів із шкірою (використовувати гумові рукавиці);
- зберігати хімікати у щільно закритих ємностях, подалі від джерел тепла;
- не допускати випаровування у великих кількостях (використовувати мінімальну необхідну кількість речовини);
- у випадку потрапляння на шкіру — терміново промити водою і заявити про потребу допомоги до медичного пункту.

Відпрацьовані розчини і промивні води повинні збиратись у спеціальні ємності для подальшої утилізації відповідно до вимог екологічної безпеки.

### **3.5 Висновки.**

Дотримання правил охорони праці при виконанні робіт з електроерозійного легування забезпечує безпечні умови праці персоналу, запобігає виникненню нещасних випадків, пожеж та професійних захворювань. Комплекс заходів, що включає застосування індивідуальних засобів захисту, контроль електробезпеки, організацію вентиляції та правильне поводження з хімічними речовинами, є необхідною умовою ефективного та безпечного відновлення деталей сільськогосподарської техніки.

## РОЗДІЛ 4

### 4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВІДНОВЛЕННЯ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛУ АВТОМОБІЛЯ ЗІЛ-130 МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОГО ЛЕГУВАННЯ

#### 4.1 Мета та завдання економічного обґрунтування.

Метою економічного обґрунтування є визначення доцільності відновлення колінчастого валу автомобіля ЗІЛ-130 методом електроерозійного легування (ЕЕЛ) порівняно із виготовленням або придбанням нової деталі. Такий аналіз дає змогу встановити економічний ефект від застосування сучасних технологій відновлення та визначити термін їх окупності.

Основними завданнями є:

- визначення собівартості відновлення колінчастого валу методом ЕЕЛ;
- порівняння отриманих витрат із вартістю нової деталі;
- розрахунок економії матеріальних і трудових ресурсів;
- оцінка підвищення ресурсу деталі після ремонту;
- визначення економічної ефективності застосування методу.

#### 4.2 Нормування робіт з відновлення колінчастого валу.

Колінчастий вал автомобіля ЗІЛ-130 є однією з найвідповідальніших деталей двигуна. В процесі експлуатації він піддається значним динамічним навантаженням, що призводить до зношення шийок і втрати точності посадочних поверхонь. Виготовлення нового вала є дорогим, тому відновлення методом електроерозійного легування (ЕЕЛ) дозволяє значно знизити собівартість ремонту.

Площа поверхні, що відновлюється, становить у середньому 1500 см<sup>2</sup> (шийки і посадочні місця колінчастого валу).

Необхідні матеріали та обладнання для проведення процесу відновлення наведено у табл. 4.1

Таблиця 4.1 – Обладнання та матеріали для відновлення колінчастого валу ЗІЛ-130 методом ЕЕЛ.

Найменування	Кількість	Вартість, грн
Установка для електроерозійного легування «ЕЛ-9»	1	18500
Електроенергія	40кВт*год	40кВт*год × 4,32 грн = 172,8
Електрод з титану або молібдену	1 комплект	1200
Знежирювальні та допоміжні матеріали	-	100
Оплата праці	за 1 годину	150
Разом		20122,8

#### 4.3 Розрахунок собівартості відновлення.

Собівартість виготовлення нового колінчастого валу ЗІЛ-130 на заводі складає:

$$C_{\text{баз}} = 5200 \text{ грн.}$$

Середній термін служби нового вала при нормальній експлуатації:

$$T_{\text{баз}} = 3 \text{ роки.}$$

Після електроерозійного легування термін служби відновленого вала збільшується у 2,5 рази, тобто:

$$T_{\text{нов}} = T_{\text{баз}} \times 2,5 = 3 \times 2,5 = 7,5 \text{ років. (4.1)}$$

Тобто термін служби вала після відновлення методом ЕЕЛ збільшується на 1,5 роки у порівнянні зі звичайною заміною на нову деталь.

Собівартість ремонту колінчастого валу методом ЕЕЛ визначається за формулою:

$$C_{\text{в}} = C_{\text{м}} + C_{\text{е}} + C_{\text{зп}}, \text{ де}$$

$C_{\text{м}}$  — вартість матеріалів,

$C_e$  — витрати на електроенергію,

$C_{зп}$  — заробітна плата виконавця.

Розраховуємо:

$$C_m = 1200 + 100 = 1300 \text{ грн}; (4.2)$$

$$C_e = 40 \text{ кВт} \cdot \text{год} \times 4,32 \text{ грн} = 172,8 \text{ грн}; (4.3)$$

$$C_{зп} = 150 \text{ грн} / \text{год} \times 8 \text{ год} = 1200 \text{ грн}. (4.4)$$

Отже,

$$C_v = 1300 + 172,8 + 1200 = 2672,8 \text{ грн}. (4.5)$$

#### 4.4 Порівняльний аналіз економічної ефективності.

Таблиця 4.2 - Порівняння відновленої методом ЕЕЛ деталі відносно заміни на нову.

Показник	Нова деталь	Відновлена методом ЕЕЛ деталь
Собівартість, грн	5200	2672,8
Термін служби, років	3	7,5
Витрати на 1 рік експлуатації, грн/рік	1733	356
Економія коштів	-	51,4%
Коефіцієнт економічної ефективності (E)	-	4,85

Коефіцієнт економічної ефективності визначаємо за формулою:

$$E = \frac{T_{нов}}{T_{баз}} \times \frac{C_{баз}}{C_v} = \frac{7,5}{3} \times \frac{5200}{2672,8} = 2,5 \times 1,94 = 4,85. (4.6)$$

Отримане значення  $E > 1$  свідчить про високу економічну доцільність застосування електроерозійного легування для відновлення колінчастих валів.

#### 4.5 Висновки.

Собівартість відновлення одного колінчастого валу ЗІЛ-130 методом ЕЕЛ становить 2672,8 грн, що вдвічі менше вартості нової деталі.

Термін служби після ремонту збільшується у 2,5 рази, тобто загалом один колінчастий вал прослужить до 7,5 років.

Економічний ефект від застосування методу становить 2572,2 грн на деталь, не враховуючи зменшення простоїв техніки.

Метод електроерозійного легування забезпечує не лише економію фінансових ресурсів, а й скорочення витрат металу, енергії та часу на ремонт.

Отже, впровадження ЕЕЛ у ремонтну практику сільськогосподарських підприємств є технічно та економічно обґрунтованим і дозволяє значно підвищити ефективність використання техніки.

## ВИСНОВКИ

У ході дослідження було розглянуто комплекс питань, пов'язаних зі зношуванням деталей сільськогосподарської техніки, методами їх відновлення та впровадженням технології електроерозійного легування.

Отримані результати дозволили сформулювати такі висновки:

1. Процеси зношування у сільськогосподарській техніці мають багатофакторний характер. В умовах аграрного виробництва ці процеси особливо інтенсивні через високу запиленість, вологість, ударні навантаження та вплив агресивних середовищ.

2. Традиційні методи відновлення (зварювання, наплавка, механічна обробка, гальваніка) забезпечують відновлення геометрії деталей, однак часто супроводжуються значним тепловим впливом, ризиком деформацій або недостатньою якістю зміцнення для важконавантажених поверхонь.

3. Електроерозійне легування є технологічно та економічно доцільним сучасним методом, що дозволяє локально відновлювати робочі поверхні без перегрівання деталі, формуючи зносостійкий, рівномірний та щільний легований шар.

4. Експериментальні дослідження підтвердили високу ефективність ЕЕЛ. Утворений зміцнений шар має мікротвердість 8500–11000 МПа, що у 2,5–3 рази перевищує твердість основного металу. Зі збільшенням часу обробки товщина шару та рівномірність розподілу твердості зростають.

5. Розроблена методика ЕЕЛ демонструє стабільні результати, що дозволяє рекомендувати її для відновлення валів, шийок, посадочних місць, зубчастих коліс та інших високонавантажених компонентів сільськогосподарської техніки.

6. З позиції охорони праці електроерозійне легування потребує дотримання вимог електробезпеки, вентиляції та застосування ЗІЗ, оскільки процес пов'язаний із високою напругою, локальними температурами та виділенням металевих аерозолів. При виконанні всіх норм процес є безпечним та контрольованим.

7. Економічний аналіз довів високу ефективність застосування ЕЕЛ. Вартість відновлення колінчастого валу ЗІЛ-130 знижується майже вдвічі порівняно з купівлею нового, а ресурс після легування зростає у 2,5 рази. Коефіцієнт економічної ефективності  $E = 4,85$  свідчить про доцільність широкого впровадження технології.

Упровадження електроерозійного легування у ремонтне виробництво дозволяє: зменшити витрати на ремонт техніки, значно подовжити термін служби деталей, скоротити простої машин, підвищити загальну надійність сільськогосподарської техніки.

Електроерозійне легування є високоефективним, технологічно прогресивним та економічно вигідним методом відновлення деталей сільськогосподарської техніки. Завдяки своїй універсальності, низькій енергоємності та високим експлуатаційним показникам відновлених поверхонь цей метод заслуговує на широке впровадження в системах технічного сервісу аграрних підприємств.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Friction and Wear in Metals. Riyadh A. Al-Samarai , Yarub Al-Douri. Book, 2024.
2. Обертюх Р. Р., Слабкий А. В. Триботехніка машинобудівної галузі: Навчальний посібник. — Вінниця: ВНТУ, 2025. — 123 с.
3. Tribology and Surface Engineering for Industrial Applications, Catalin I. Pruncu, Amit Aherwar, Stanislav Gorb. 2022.
4. Модифікація поверхні деталей машин і механізмів в умовах тертя та зношування. Л. А. Тимофєєва, Л. В. Волошина, С. С. Тимофєєв, Д. І. Волошин, М. А. Колесник. Харків : НТУ "ХПІ", 2022.
5. Influence of Abrasive Wear on Reliability and Maintainability of Components in Quarry Technological Equipment: A Case Study. Vlad Alexandru Floreal, Mihaela Toderaş, and Daniel Tihanov-Tănăsache. 2025.
6. Tribological Performances, Wear Resistance and Fatigue Behavior. Miguel Ángel Sellés Cantó, Samuel Sánchez-Caballero, Huy-Bich Nguyen and Dr. Ikramullah Ikramullah. 2025.
7. Fretting Wear, Fretting Fatigue and Damping of Structures. Toshio Hattori. 2024.
8. Surfacing and Additive Technologies in Welded Fabrication. Igor Ryabtsev , Serhii Fomichov , Valerii Kuznetsov , Yevgenia Chvertko , Anna Banin. 2023.
9. Застосування електроконтактного наплавлення для відновлення деталей механізмів і машин. О. В. НТУ "ХПІ", 2024. – С. 304.
10. Рассохін Д. О., Носовська О. В., Кокодей Д. В. Відновлення зношеного обладнання комплексним методом 3-D сканування та друку. — Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки, № 47. — 2023. — С. 170–180.
11. Advanced Technologies of Welding, Surfacing, and Thermal Spraying of Modern Materials. Artur Czupryński, Marcin Adamiak, Antonín Kříž, Tünde Anna Kovács. 2024.

12. Innovative Technologies and Materials for the Production of Mechanical, Thermal and Corrosion Wear-Resistant Surface Layers and Coatings. Artur Czupryński, Claudio Mele. 2023.
13. Обґрунтування та вдосконалення технологій відновлення деталей. С. О. Лузан, О. І. Сідашенко, А. С. Лузан. Харків : Діса плюс, 2020. – 127 с.
14. Remanufacturing and Advanced Machining Processes for New Materials and Components. E.S. Gevorkyan, M. Rucki, V.P. Nerubatskyi, W. Żurowski, Z. Siemiątkowski, D. Morozow, A.G. Kharatyan. 2022.
15. STUDYING RENOVATION METHODS OF WORN DETAILS OF AGRICULTURAL MACHINERY. O. V. Ivankova, O. V. Garashchuk, V. I. Kutsenko, V. V. Shcherbyna, D. V. Chyzhevs'kyy, Ya. V. Babych, M. O. Tykhonov. 2020.
16. Repair and restoration of engineering components by laser directed energy deposition. Aprilia Aprilia, Naien Wu, Wei Zhou. 2022.
17. Research of Increase of the Wear Resistance of Machine Parts and Tools by Surface Alloying. D.D. Marchenko, K.S. Matvyeyeva. 2023.
18. Haponova O., Tarelnyk V., Mo'scicki T., Tarelnyk N., Hybrid Surface Treatment Technologies Based on the Electrospark Alloying Method: A Review, Coatings, 2025, 15, 721.
19. Haponova O., Tarelnyk V., Tarelnyk N., Laponog G. Investigation of Aluminum Electrospark Alloyed Coatings on Steels. Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science, 2025. Vol. 56, 4204–4229, Springer Boston (United States).
20. Haponova O., Tarelnyk V., Tarelnyk N., Kurp P. The Formation of C-S Coatings by Electrospark Alloying with the Use Special Process Media. Solid State Phenomena. 2024. Vol. 355. P. 85–93. DOI 10.4028/p-5KfyZQ
21. Haponova O., Tarelnyk V., Marchenko S., Tarelnyk N., Konoplianchenko I. The Development of Nanostructuring Method Metal Surfaces by Electrospark Alloying. Advanced Structured Materials. 2024. Vol. 214. P. 181–199. DOI 10.1007/978-981-97-2667-7\_7

22. Haponova O.P., Tarelnyk V.B., Zhylenko T.I., Tarelnyk N.V., Zubko V.M., Vlasovets V.M., Konoplianchenko Ie.V., Bondarev S.G., Radionov O.V., Mayfat M.M., Okhrimenko, V.O., Tkachenko A.V. Improvement of Quality Parameters of Surface Layers of Steel Parts after Aluminizing by Electrospark Alloying. Pt. 1. Features of the Structural State of Steel Surfaces after Aluminizing. *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*. 2023. Vol. 45. No 12. P. 1449–1472. DOI 10.15407/mfint.45.12.1449
23. Tarelnyk V.B., Gaponova O.P., Loboda V.B., Konoplyanchenko E.V., Martsinkovskii V.S., Semirnenko Y.I., Tarelnyk N.V., Mikulina M.A., Sarzhanov B.A. Improving Ecological Safety when Forming Wear-Resistant Coatings on the Surfaces of Rotation Body Parts of 12Kh18N10T Steel Using a Combined Technology Based on Electrospark Alloying, Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 57(2), pp. 173–184, (2021).

# ДОДАТКИ



Сумський національний аграрний університет



Національний технічний університет «ХП»



Політехніка Свентокржиська в Кельцах (Польща)



ТОВ «ТРІЗ»



Сумський державний університет



Державний біотехнологічний університет



Українська технологічна академія



## **ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ІНДУСТРІЇ 5.0**

Збірник тез за матеріалами 30<sup>ої</sup> міжнародної науково-  
практичної конференції  
(21-23 жовтня 2024 р.)

### **Частина 1**

Секції: «Інноваційні технології на транспорті»,  
«Інноваційні технології в сільському господарстві»,  
«Інноваційні технології в харчовій промисловості»,  
«Інноваційні технології в промисловості»

Суми – 2024

нути на цей характер, дозволяє більш точно планувати технологічні операції, економніше та ефективніше використовувати наявні ресурси, зокрема посівний матеріал, гербіциди, мінеральні добрива та паливо.

Нерівномірний розподіл рослинних решток за зернозбиральним комбайном зазвичай призводить до трьох основних проблем:

- нерівномірна, часто зтягнута мінералізація органічної маси, а отже, й доступність поживних речовин, зокрема азоту;
- проблеми з послідуочим обробітком ґрунту та посівом;
- проблеми з наступним контролем бур'янів, зокрема падалиці;
- проблема мінералізації та азоту.

Ефективність використання добрив, зокрема азоту, значно підвищується за рахунок рівномірного розподілу подрібненої маси. Органічна маса, що рівномірно розподілена по полю, забезпечує краще повернення поживних речовин у ґрунт, зменшує потребу в мінеральних добривах та дозволяє рослинам ефективніше використовувати доступні елементи живлення, що зрештою знижує загальні витрати на виробництво сільськогосподарської продукції.

Важливою економічною перевагою є зменшення витрат на обробіток ґрунту. Рівномірний розподіл подрібненої маси знижує потребу в додаткових обробках ґрунту, таких як культивування та дискування. Це зменшує витрати на паливо та технічне обслуговування обладнання. Рівномірний розподіл подрібненої маси також покращує умови для сівби. Поле стає рівнішим, що полегшує проведення сівби та забезпечує рівномірне проростання культур.

Контроль бур'янів є ще однією значною агрономічною перевагою. Подрібнена маса створює фізичний бар'єр, що перешкоджає проростанню бур'янів, зменшуючи таким чином потребу в хімічних гербіцидах. Це не тільки знижує витрати на засоби захисту рослин, але й сприяє екологічній стійкості.

Рівномірний розподіл подрібненої маси рослинних решток є ключовим елементом ефективного використання ресурсів та підвищення врожайності в сучасному сільському господарстві. Він забезпечує низку екологічних, агрономічних та економічних переваг, таких як покращення мінералізації рослинних решток, рівномірне та ефективне використання мінеральних добрив, зниження витрат на обробіток і підготовку ґрунту до сівби, контроль бур'янів і ефективнішу боротьбу з ними.

Одним з головних викликів у забезпеченні рівномірного розподілу подрібненої маси є технологічні обмеження. Сучасні комбайни повинні бути оснащені не лише спеціалізованими половорозкидачами та розподільниками соломи, але й системами автоматизації, які враховують напрямок вітру, положення комбайна на схилі та ширину захоплення жнивирки, щоб досягти цієї мети. Звичайно, що впровадження інноваційних рішень вимагає значних інвестицій. Проте, ці витрати окупаються за рахунок підвищення ефективності використання ресурсів та виконання послідуочих технологічних операцій.

*Кобзар Д.О., магістрант, Тарельник Н.В., к.е.н., доцент, СНАУ*

#### **ВИДИ ЗНОШУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН**

Зношування деталей сільськогосподарських машин — одна з ключових причин зниження їх ефективності та продуктивності. Машини в аграрному секторі працюють в умовах підвищеного навантаження, що призводить до поступового руйнування їх компонентів. Це, своєю чергою, викликає збої в роботі, збільшує витрати на ремонт та технічне обслуговування, а також може стати причиною аварійних ситуацій. Вивчення процесів зношування є важливим завданням для підвищення надійності та довговічності техніки, зменшення витрат на експлуатацію та забезпечення стабільності сільськогосподарського виробництва [1].

Процес зношування деталей сільськогосподарських машин може бути поділений на кілька основних видів, залежно від причини виникнення та характеру впливу.

Абразивне зношування виникає через механічний контакт деталей з абразивними части-

нками (грунт, пил, пісок). Це призводить до стирання поверхні деталей, особливо у таких вузлах, як підшипники, вали, зубчасті колеса [2].

Адгезійне зношування виникає внаслідок злипання контактуючих поверхонь, коли молекули одного матеріалу переходять на поверхню іншого. Це часто трапляється в умовах недостатньої змащувальної плівки, що може спричинити задири та мікросхоплювання [3].

Утомне зношування характеризується поступовим утворенням мікротріщин під дією повторюваних навантажень. Це призводить до втоми матеріалу та його руйнування, що часто трапляється у рухомих елементах, таких як вали чи важелі [4].

Корозійне зношування виникає внаслідок хімічної реакції деталей з агресивними середовищами (добрива, хімікати). Це особливо актуально для обприскувачів, розкидачів добрив, де контакт з хімічними речовинами відбувається постійно [5].

Ерозійне зношування є наслідком ударної дії твердих частинок ґрунту або кавітаційних процесів. Це зношування характерне для лопатей насосів, лемешів плугів та інших деталей, що контактують з потоком рідини чи ґрунтом [6].

Термомеханічне зношування: окислення при високих температурах, перегрів поверхонь тертя.

Хімічне зношування виникає через реакцію матеріалу з хімічними речовинами, які не обов'язково є агресивними. Наприклад, масла або мастила можуть містити присадки, які при певних умовах здатні вступати в реакцію з металом. Це може призвести до утворення оксидних або сульфідних плівок, які змінюють характеристики поверхні [7].

Кавітаційне зношування зумовлене дією кавітаційних бульбашок, які утворюються у рідині при зміні тиску. Вибухи цих бульбашок біля поверхні деталі спричиняють мікроудари, що руйнують поверхню. Кавітаційне зношування часто зустрічається у насосах, турбінах та лопатях суднових гвинтів [8].

Дослідження процесів зношування сільськогосподарської техніки є надзвичайно важливим з кількох причин:

3. Підвищення продуктивності: мінімізація простоїв техніки через поломки та зниження зносостійкості дозволить зменшити втрати врожаю [9].
4. Зменшення витрат на ремонт: прогнозування та своєчасне попередження зношування знижують витрати на ремонт і обслуговування техніки [9].
5. Підвищення безпеки: зношування може призводити до несправностей, які несуть ризик для працівників. Контроль і моніторинг стану деталей підвищують рівень безпеки на виробництві.
6. Екологічні аспекти: зношування та несправності техніки можуть спричинити збільшення викидів в атмосферу через неефективну роботу двигунів, а також забруднення ґрунтів через витік технічних рідин.

Таким чином, вивчення питання зношування деталей сільськогосподарських машин є важливим кроком до підвищення надійності техніки, зменшення витрат на її експлуатацію та покращення економічної ефективності сільського господарства.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Іванов І. І. Технічна експлуатація сільськогосподарських машин. — Київ: Агронаука, 2020.
2. Мельник О. А. Абразивне зношування сільськогосподарських машин. — Журнал "Техніка і технології", №3, 2022.
3. Жуков В. І. Адгезійне зношування та його вплив на роботу машин. — Вісник аграрної науки, №7, 2020.
4. Корнійчук Ю. М. Корозійне зношування в аграрному секторі. — Вінниця: ВНАУ, 2021.
5. Федоренко Л. П. Утомне зношування: діагностика та профілактика. — Дніпро: ДНУ, 2018.
6. Савченко Н. В. Ерозійне зношування та шляхи його зменшення. — Полтава: ПДАУ, 2022.
7. Смирнов А. І. Хімічне зношування металів у мастильних середовищах. — Київ: Технічна

- книга, 2019.
8. Жуков С. А. Основи кавітаційного зношування та захисту деталей. — Одеса: Наукова думка, 2021.
  9. Бондаренко Г. І. Підвищення ефективності сільськогосподарських машин. — Київ: Наукова думка, 2020.

*Котлярєвський І.В. аспірант, Андрієнко О.В. студент, Рябка Д.О. студент, Харченко Ф.М., доцент, СНАУ*

### ТРАВМУВАННЯ ЗЕРНА ПРИ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНІЙ ОБРОБЦІ

Основними причинами, що викликають руйнування та травмування зерна, є механічні впливи робочих органів машин, а також знарядь для післязбиральної обробки насіння, їх сушіння та транспортування. При цьому травмування буде тим більшим, чим більше буде швидкість переміщення насіння. На травмування зерна під час збирання та післязбиральної обробки впливають такі фактори: досконалість конструкції збиральних машин, режими роботи машин та їх робочих органів, терміни та способи збирання, фізико-механічні властивості зерна в момент обмолоту та очищення на очисних машинах. У момент обмолоту суттєве вплив на якість насіння має вологість зерна, яка залежить від погодних умов у момент збирання та термінів збирання.

Найчастіше активні робочі органи очисних машин деформують зерна без пошкодження поверхневих шарів зерновок. Коли навантаження знято із зернівки, відбувається відновлення її розмірів за рахунок пружних властивостей і зовні здається неушкодженою, проте внутрішні тканини у своїй травмовані. Посівні якості насіння знижуються не тільки від наявності видимих травм, а й від пошкодження внутрішніх тканин при їх деформації, на які суттєвий вплив буде надавати вологість зерна.

Зерно, що надходить на обробку, може мати 22,3% зовнішніх пошкоджень, а після очищення, сортування та сушіння – до 55,2% пошкоджень. Враховуючи те, що більше 10% травмованого насіння потрапляє у відходи, загальна кількість травмованих зерен потоковою лінією може становити до 43%. Від цієї кількості понад 50% пошкоджень припадає на транспортні операції, при цьому на частку самопливних труб припадає понад 30% і близько 20% на частку технологічного обладнання.

Дослідженнями встановлено, що матеріал, оброблений на одній насінноочисній машині або на потокової очисної лінії, у своєму складі може мати від 1 до 92% травмованих зерен. Великий розкид та високий рівень травмування зерна при післязбиральній обробці обумовлений наявністю великої кількості як зовнішніх, так і внутрішніх факторів.

Тому для вдосконалення технологічного процесу обробки насіннєвого матеріалу шляхом зниження його травмування насамперед необхідно виявити ті машини та ті робочі органи машин, які завдають зерну найбільшого пошкодження.

У момент збирання та післязбиральної обробки зерна отримують різні види травм, що по-різному впливають на посівні якості насіння. Дослідження під мікроскопом зразків насіння пшениці показують, що найчастіше зустрічаються такі види пошкоджень: внутрішні тріщини ендосперму, тріщини та зриви оболонки, пошкодження зародка аж до його повної втрати, ушкодження ендосперму.

У середньому в зібраному зерновому матеріалі міститься: - 0,92% - зерна з вибитим зародком, - 1,64% – з пошкодженим зародком, - 8,44% - з пошкодженою оболонкою зародка, - 14,3% – з пошкодженою оболонкою зародка та ендосперму, - 1,1% – з пошкодженим ендоспермом, - 29,9% - з пошкодженою оболонкою ендосперму, - 10,1 % – подрібненого зерна, яке не може використовуватись для насіннєвих цілей, - 34,4% - непошкодженого.

Посівні якості насіння з різними видами мікротравм представлені у табл.3.1.

The average time to eliminate one failure was 2.18 hours. Analysis of failure-freeness by component showed that the largest number of failures (50.4%) falls on nodes and parts of the power system, the flow parameter of which was  $5.82 \cdot 10^{-3}$  failures per hour. The average time to eliminate one failure for this system was 1.08 hours.

The analysis showed that the most vulnerable and often failed system in a diesel engine is the fuel supply system. That is why she was chosen as the subject of research in the work.

*Кобзар Д.О., магістрант, Тарельник Н.В., к.е.н., доцент, СНАУ*

### **ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ**

Сільськогосподарська техніка зазнає значного зносу через інтенсивне використання, складні умови експлуатації та постійний контакт із пилом, вологою та агресивними середовищами. Це призводить до швидкого зношування деталей, таких як підшипники, вали, шестерні, що вимагає частого ремонту або відновлення. Однак повна заміна деталей може бути економічно не вигідною, тому підприємства часто обирають відновлення, яке дозволяє знизити витрати та збільшити строк служби обладнання [1]. Технології відновлення деталей залежать від типу пошкоджень, матеріалу деталі, її функцій та вимог до точності.

Наплавлення є одним із найпоширеніших методів відновлення, коли на зношену поверхню деталі наноситься шар металу за допомогою зварювання або наплавлювальних електродів. Цей метод застосовується для деталей, що піддаються інтенсивному зношуванню, таких як зубчасті колеса, валки і різальні інструменти. Наплавлення дозволяє не тільки відновити розміри, але й підвищити зносостійкість деталі [2].

Гальванічне покриття використовується для відновлення деталей шляхом нанесення на поверхню металевих покриттів (нікель, хром, мідь) методом електролізу. Це покриття підвищує корозійну стійкість і зносостійкість деталей, а також забезпечує їх захист від механічних впливів. Метод часто застосовується для відновлення поршневих кілець, валів та інших компонентів, що працюють в агресивному середовищі [3].

Полімерні матеріали (епоксидні смоли, поліуретани) використовуються для відновлення деталей, що працюють в умовах низьких механічних навантажень. Полімерні покриття наносяться на пошкоджені ділянки, забезпечуючи захист від корозії та відновлення геометрії деталі. Метод підходить для відновлення корпусних деталей, прокладок, ущільнень [4].

Метод пластичного деформування (ротаційного наклепування) полягає у зміцненні поверхні деталі за допомогою пластичної деформації. В результаті підвищується твердість поверхні, що знижує її зношуваність. Цей метод підходить для відновлення робочих поверхонь валів, підшипників та шестерень [5].

Метод термічного напилення полягає в нанесенні тонкого шару матеріалу на поверхню деталі шляхом розпилення порошку або дроту під високою температурою. Термічне напилення застосовується для відновлення циліндричних поверхонь, таких як циліндри двигунів, вали та різьбові з'єднання. Метод забезпечує високу адгезію покриття до основного металу та покращує його зносостійкість [6].

Індукційне гартування використовується для відновлення та зміцнення робочих поверхонь деталей. Метод полягає в нагріванні поверхні деталі індукційними струмами, після чого відбувається її швидке охолодження. Це підвищує твердість і зносостійкість поверхні. Метод часто використовується для відновлення валів, підшипників і шестерень [7].

Кріогенна обробка — це метод, при якому деталі охолоджуються до дуже низьких температур (до  $-196^{\circ}\text{C}$ ) з метою зняття залишкових напружень і підвищення зносостійкості. Використовується для відновлення високоточних деталей, які піддаються високим механічним навантажень, наприклад, різальних інструментів або шестерень [8].

В останні роки для підвищення ефективності відновлювальних робіт активно використовуються нові технології, такі як лазерне наплавлення, при якому шар матеріалу наноситься на поверхню за допомогою лазерного променя. Це дозволяє досягти високої точності і міні-

мальних деформацій деталі. Лазерне наплавлення підходить для відновлення складних форм і деталей з високими вимогами до якості поверхні. Перевага цього методу полягає в можливості локального відновлення пошкоджених поверхонь та відновлення деталей із значними пошкодженнями, що неможливо виконати традиційними методами [9, 10].

В результаті впровадження сучасних технологій відновлення деталей сільськогосподарської техніки можна досягти зниження витрат на обслуговування та підвищення ефективності роботи агропромислових підприємств. Відновлення деталей не лише економічно вигідне, але й сприяє продовженню строку служби обладнання, забезпечуючи більш стійке сільське господарство. Потреба у подальших дослідженнях технологій відновлення зумовлена постійним розвитком матеріалів та технологій, які дозволяють досягати кращих результатів відновлення.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Боднарчук, О. "Основи відношень деталей". Аграрна наука, 2020.
2. Горб, М. "Наплавка як метод відновлення деталей". Техніка і технології, 2021.
3. Коваленко В. П. Гальванічні покриття: технології та застосування. — Одеса: Електрохімія, 2021.
4. Іванов, В. "Застосування полімерних матеріалів у ремонті техніки". Промислова хімія, 2019.
5. Бондаренко О. М. Пластичне деформування металів. — Полтава: Політехніка, 2018.
6. Савченко Н. В. Термічне напилення: сучасні методи. — Львів: ЛНТУ, 2022.
7. Жуков С. А. Індукційне гартування поверхонь. — Одеса: Теплотехніка, 2019.
8. Федоренко Л. П. Кріогенна обробка: технології та застосування. — Харків: Техносфера, 2021.
9. Сидоренко, Л. "Лазерне наплавлення в аграрній техніці". Машинобудування, 2022.
10. Ткаченко М. С. Лазерне наплавлення в відновленні деталей. — Дніпро: Лазерні технології, 2020.

УДК.631

*Голець С.Є., здобувач ВО «Бакалавр», Горовий М.В., Калнагуз О.М. ст. викладачі, СНАУ, м. Суми, Україна*

#### ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЇ ПОСІВ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

Сівба – це одна з найважливіших технологічних операцій. Від якості посівів, буде залежати дуже багато в майбутньому під час врожаю. При допущенні помилок під час сівби, буде дуже важко все виправити, а в окремих випадках не можливо. Так що до посіву озимих зернових культур, потрібно підходити відповідально.

В паршу чергу, потрібно прибрати попередню культуру: підготувати комбайн до збору, зменшити обсяг втрати насіння і падалишніх сходів попередніх культур. Так же потрібно має бути гарно налаштована січкарня в комбайна, щоб зменшити рештки попередньої культури і рівномірно все розподілити. Наприклад якщо брати жито, то це та культура яка може витримати повторний висів. Так що в цьому випадку буде дуже багато залежати від розподілення і подрібнення соломи, на якість посіву і так само на врожайність в наступному році. Після прибирання попередньої культури, має пройти підготовка ґрунту до посіву озимої рослини, але це в тому випадку якщо не робиться посівний комплекс. Потрібно підготувати ґрунту рівномірно на гектар, щоб мати рівномірні сходи рослини і мати гарну схожість на всій площі поля.

Для гібридного жита і ячменю мінімальна глибина посіву буде складати 2-3 см, коли в той же час наприклад для озимої пшениці ця ж глибина вже буде становити від 3-4 см. Дуже важливу роль також відіграє і вологість ґрунту. Бо якщо ґрунту буде мати достатню вологу, то посів рослини можна заглибити до 5 см, але не більше. От якщо взяти наприклад гібридне

<i>Панкова О.В., к.с.-г.н., доцент, ХНАДУ, Сировицький К.Г., старший викладач, СНАУ</i>	
РОЛЬ РОСЛИННИХ РЕШТОК В ЕКОЛОГІЧНОМУ СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ.....	186
<i>Журбенко В.А., здобувач вищої освіти, Сировицький К.Г., старший викладач, СНАУ, Україна</i>	
ОСОБЛИВОСТІ РОСЛИННИХ РЕШТОК ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ВРОЖАЮ .....	188
<i>Кобзар Д.О., магістрант, Тарельник Н.В., к.е.н., доцент, СНАУ</i>	
ВИДИ ЗНОШУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН.....	189
<i>Котляревський І.В. аспірант, Андрієнко О.В. студент, Рябка Д.О. студент, Харченко Ф.М., доцент, СНАУ</i>	
ТРАВМУВАННЯ ЗЕРНА ПРИ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНІЙ ОБРОБЦІ .....	191
<i>Budyak O.V., Gerasimenko V.M., Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine</i>	
METHODS OF COLLECTING AND PROCESSING STATIC DATA ON THE RELIABILITY OF SYSTEMS OF NEW AND REPAIRED DIESEL ENGINES .....	192
<i>Журбенко В.А., здобувач вищої освіти, Сировицький К.Г., старший викладач, СНАУ, Україна</i>	
УДОСКОНАЛЕННЯ КАРДАННИХ ПЕРЕДАЧ ЕНЕРГОНАСИЧЕНОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ .....	193
<i>Заплюсвічка А.В., студент, Андрієнко О.В., студент, Рябка Д.О., студент, Харченко Ф.М. доцент, СНАУ</i>	
ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАВМУВАННЯ ЗЕРНА ПІСЛЯ ШНЕКОВОГО ТРАНСПОРТЕРУ .....	196
<i>Budyak O.V., Gerasimenko V.O., Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine</i>	
QUANTITATIVE ASSESSMENT OF NEW AND REPAIRED ENGINES THE FUEL SUPPLY SYSTEM FAILURES .....	197
<i>Кобзар Д.О., магістрант, Тарельник Н.В., к.е.н., доцент, СНАУ</i>	
ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ.....	198
<i>Голець С.С., здобувач ВО «Бакалавр», Горовий М.В., Калнагуз О.М. ст. викладачі, СНАУ, м. Суми, Україна</i>	
ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЇ ПОСІВ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР .....	199
<i>Ліфінцев В.В., магістр, Сіренко Ю.В., PhD, доц., Горовий М.В., Калнагуз О.М. ст. викладачі, СНАУ, м. Суми, Україна</i>	
ОГЛЯД АГРЕГАТИВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ.....	201
<i>Хомищенко Д.В., здобувач ВО «Бакалавр», Горовий М.В., Калнагуз О.М. ст. викладачі, Сіренко Ю.В., PhD, доцент, СНАУ, м. Суми, Україна</i>	
ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЇ: ОСНОВНИЙ ОБРОБІТОК ҐРУНТУ .....	204
<i>Усик Д.С., магістр, Сіренко Ю.В., PhD, доц., Горовий М.В., Калнагуз О.М. ст. викладачі, СНАУ, м. Суми, Україна</i>	
СИСТЕМА ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА В ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ .....	206
<i>Думанчук М.Ю., к.т.н., доц., Завгородній Д.М., магістрант, Наконечний Р.Ю., магістрант, СНАУ</i>	
ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ЗАХИСТУ ПАР ТЕРТЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН ВІД ЗНОШУВАННЯ.....	208
<i>Костиленко О.О., магістр, Харченко Ф.М., к.т.н., доц., Горовий М.В., Калнагуз О.М. ст. викладачі, СНАУ, м. Суми, Україна</i>	
ОГЛЯД ПРИЛАДІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТЕБЕЛ .....	209
<i>Литвиненко Я. М., магістрант, Глушак З. І., доцент, СНАУ, Суми, Україна</i>	
ФОРМУВАННЯ УРОЖАЙНОСТІ РІПАКУ ОЗИМОГО В УМОВАХ ТОВ «МХП УРОЖАЙНА КРАЇНА».....	210
<i>Петренко І.В., магістр, Зубко В.М., д.т.н., проф., Горовий М.В., Калнагуз О.М. ст. викладачі, СНАУ, м. Суми, Україна</i>	
ЕЛЕМЕНТИ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА ПРИ ЗБИРАННІ ЗЕРНОВИХ .....	211

Наукове видання

# ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ІНДУСТРІЇ 5.0

Збірник тез за матеріалами  
30-ої міжнародної  
науково-практичної конференції  
(21-23 жовтня 2024 р.)

Суми, Сумський НАУ, РВВ, вул. Г. Кондратьєва, 160

---

Підписано до друку 18.10.2024 р. Формат А5.  
Гарнітура Times New Roman. Умовних друкованих аркушів \_\_.  
Тираж 100 примірників. замовлення №\_\_



СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за магістерським рівнем вищої освіти

на тему: «Удосконалення технології відновлення деталей сільськогосподарської  
техніки»

Виконав: Кобзар Д.О.  
Керівник: Тарельник Н.В.

м. Суми 2025

## Актуальність, мета, завдання

**Актуальність теми** зумовлена високим попитом на сільськогосподарську техніку та її важливою практичною роллю в агросекторі.

**Мета** цієї дипломної роботи спрямована на дослідження сучасних методів організації ремонту деталей сільгосптехніки в агросекторі, аналізі наявних недоліків і розробці заходів з їх усунення.

Для досягнення поставленої у кваліфікаційній роботі мети потрібно вирішити наступні завдання:

- Здійснити аналіз літературних джерел;
  - Провести спостереження на практиці;
  - Вивчити та оцінити діючі, наявні практики обслуговування транспортних засобів в аграрному секторі.
- Сформовані результати та узагальнення стануть підґрунтям для удосконалення організації ремонту деталей сільгосптехніки та сприятимуть більш раціональному й продуктивному використанню машин і механізмів у відповідних галузях.

# Види зношування деталей сільськогосподарської техніки



корозійно-механічне



фреттинг-корозія



кавітаційне



газоабразивне



молекулярно-механічне



втомне



гідроабразивне



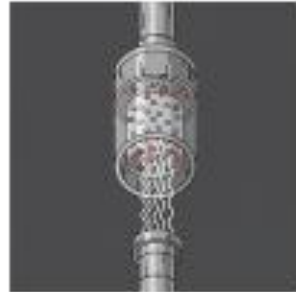
механічне



окисне



абразивне

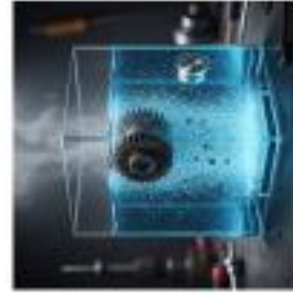


ерозійне

# Технології відновлення деталей сільськогосподарської техніки



електроерозійне  
легування



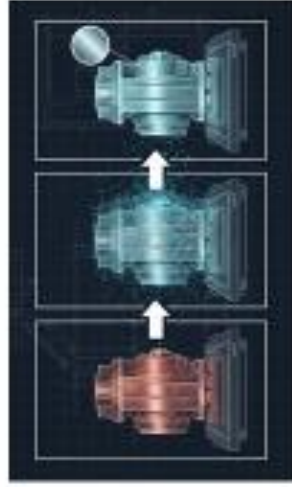
ультразвукове очищення  
та обробка



фрикційне  
зварювання



використання порошкових  
покріттів



вібраційна обробка



механічна обробка



газова наплавка



наплавка та зварювання

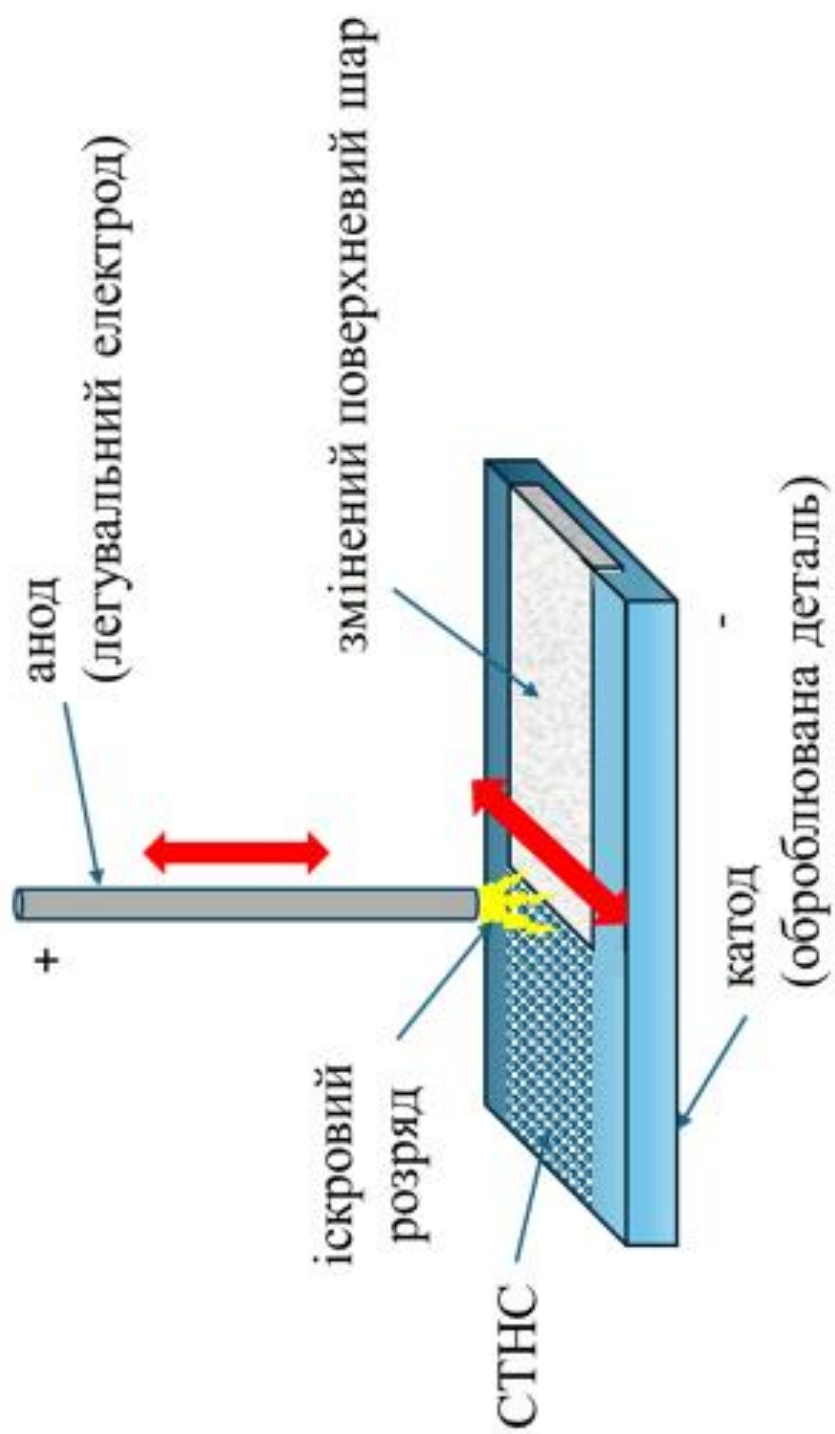


3D-друк



гальванічне покриття

## Схема електроерозійного легування



## Переваги та недоліки електроерозійного легування

### Основними перевагами ЕЕЛ серед інших методів є:

- екологічна безпека;
- міцне зчеплення нанесеного матеріалу з основою;
- негромістке обладнання;
- висока адгезія покриття з основою;
- можливість локальної обробки поверхні;
- відсутність деформацій та жолоблення;
- мало енергоємне встаткування;
- відсутність необхідності попередньої підготовки поверхні та ін.

Головним недоліком ЕЕЛ є підвищена шорсткість поверхні, яку можна знизити або повністю усунути за рахунок поєднання з іншими зміцнювальними технологіями, наприклад:

- поверхневе пластичне деформування (алмазне вигладжування, обкатування кулькою);
- безабразивною ультразвуковою фінішною обробкою (БУФО).

# Методика проведення досліджень



шлідричні зразки з  
конструкційної сталі 38X2MЮA



установка моделі  
«ЕІЛ-9»



шліфи для  
металографічних  
досліджень

Показники розподілу та зміни мікротвердості залежно від глибини зміцненого шару

h, мм	H <sub>μ</sub> , МПа (зразок №1)	H <sub>μ</sub> , МПа (зразок №2)	H <sub>μ</sub> , МПа (зразок №3)
0	8600	9800	11000
100	7200	8500	9700
200	5100	6800	8200
300	3900	5200	6500
400	-	4000	5200
500	-	-	3900

Час обробки

зразок №1 — 5 хв обробки.

зразок №2 — 10 хв.

зразок №3 — 15 хв.

# Висновки

- ▶ В умовах сільськогосподарського виробництва найбільш інтенсивному изношуванню підлягають деталі, що перебувають у стані актинного руху, займають значних статичних і динамічних навантажень та взаємодіють з агресивним зовнішнім середовищем. Своєчасне визначення ступеня зношення окремих компонентів, а також правильний вибір методів ремонту та відновлення, є ключовими факторами, що забезпечують надійність і ефективність функціонування сільськогосподарської техніки у сучасних виробничих умовах.
- ▶ Електроерозійне легування найбільш сучасний, універсальний і безпечний метод, адже воно не деформує деталі, дозволяє працювати з важкодоступними поверхнями, створює якісний зносостійкий шар та не потребує дорогих середовищ (газ, вакуум).
- ▶ Дотримання правил охорони праці при виконанні робіт з електроерозійного легування забезпечує безпечні умови праці персоналу, запобігає виникненню нештатних випадків, пожеж та професійних захворювань. Комплекс заходів, що включає застосування індивідуальних засобів захисту, контроль електробезпеки, організацію вентиляції та правильне поводження з хімічними речовинами, є необхідною умовою ефективного та безпечного відновлення деталей сільськогосподарської техніки.
- ▶ Метод ЕЕЛ дозволяє отримати поверхневі шари мікротвердістю до 11 000 Мпа, товщина легованого шару зростає з часом обробки і сягає 500 мкм, при збільшенні тривалості процесу спостерігається більш рівномірний розподіл твердості по глибині (отримуємо більш плавний градієнт твердості). ЕЕЛ є доцільним для локального відновлення функціональних поверхонь деталей агротехніки.
- ▶ Собівартість відновлення одного коліщастого валу ЗПЛ-130 методом ЕЕЛ становить приблизно 2673 грн, що вдвічі менше вартості нової деталі.
- ▶ Термін служби після ремонту збільшується у 2,5 рази, тобто загальною один коліщастий вал прослужить до 7,5 років.
- ▶ Економічний ефект від застосування методу становить близько 2500–3000 грн на кожен деталь, не враховуючи зменшення простоя техніки.
- ▶ Метод електроерозійного легування забезпечує не лише економію фінансових ресурсів, а й скорочення витрат металу, енергії та часу на ремонт.
- ▶ Отже, впровадження ЕЕЛ у ремонтну практику сільськогосподарських підприємств є технічно та економічно обґрунтованим і дозволяє значно підвищити ефективність використання техніки.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ