

УДК 631.31: 621.791

DOI [https://doi.org/10.15589/znп2024.4\(497\).4](https://doi.org/10.15589/znп2024.4(497).4)**WEAR RESISTANCE AND SERVICE LIFE OF RESTORED AND ELECTROSLAG
HARDENED PLOUGHSHARES AND CULTIVATOR TINES****ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ТА РЕСУРС ВІДНОВЛЕНИХ І ЗМІЦНЕНИХ
ЕЛЕКТРОШЛАКОВИМ НАПЛАВЛЕННЯМ ЛЕМІШІВ
І КУЛЬТИВАТОРНИХ СТІЛЧАСТИХ ЛАП**

Andriy V. Zakharov
zakharovandrey1997@gmail.com
ORCID: 0000-0001-9894-7355

Ivan M. Rybalko
irybalko.ua@gmail.com
ORCID: 0000-0002-3663-019X

Oleksandr V. Tihonov
texas2002@btu.kharkiv.ua
ORCID: 0000-0001-7209-8375

А. В. Захаров,
аспірант

І. М. Рибалко,
д-р техн. наук, доцент

О. В. Тіхонов,
канд. техн. наук, доцент

State Biotechnological University, Kharkiv

Державний біотехнологічний університет, м. Харків

Abstract. The aim of the study is to increase the wear resistance and service life of ploughshares and cultivator tines by developing an electroslag surfacing technology that provides the formation of wear-resistant coatings using flux-cored wires with modifying impurities.

The research is based on the development and implementation of an electroslag surfacing method that produces a uniform coating with high hardness (up to 62 HRC). Tests were carried out on ploughshares and cultivator tines treated with electroslag surfacing on different types of soil: sandy loam, light loam, heavy loam and black soil. The wear resistance, temperature stability and service life of the parts in the field were evaluated.

The *results* of the research showed that the proposed technology can increase the service life of working elements by 40% compared to standard factory models. The ploughshares were able to cultivate up to 73 hectares without replacement, and the cultivator tines – up to 35 hectares. In addition, the use of electroslag surfacing reduced the temperature of working parts by 15–20%, which significantly improved their performance.

An innovative method of electroslag surfacing was developed using flux-cored wires with modifying additives that ensure the formation of wear-resistant coatings with improved mechanical characteristics. For the first time, the possibility of stable heat dissipation and preservation of mechanical properties during long-term operation in an aggressive environment has been established.

The proposed technology helps to reduce the cost of maintenance of tillage equipment by reducing the frequency of parts replacement. This allows agricultural enterprises to reduce operating costs by up to 30% and ensure the competitiveness of domestic machinery production. The implementation of this method is promising for widespread use in the production and repair of agricultural machinery.

Key words: ploughshare; cultivator tine; electroslag surfacing; wear resistance; service life; hardness.

Анотація. Метою дослідження є підвищення зносостійкості та ресурсу плужних лемішів і культиваторних стрілочастих лап шляхом розробки технології електрошлакового наплавлення, що забезпечує утворення зносостійких покриттів із використанням порошкових дротів із модифікуючими домішками.

Дослідження базується на розробці та впровадженні методу електрошлакового наплавлення, що забезпечує утворення рівномірного покриття з високою твердістю (до 62 одиниць HRC). Випробування проводилися на плужних лемішах і культиваторних лапах, оброблених електрошлаковим наплавленням, на різних типах ґрунтів: супіщаних, легкосуглинкових, важких суглинках і чорноземах. Оцінювалися показники зносостійкості, температурної стабільності та ресурсу деталей у польових умовах.

Результати досліджень показали, що запропонована технологія дозволяє підвищити ресурс робочих елементів на 40% порівняно зі стандартними заводськими зразками. Леміші змогли обробити до 73 гектарів без замі-

ни, а культиваторні лапи – до 35 гектарів. Крім того, використання електрошлакової наплавки забезпечило зниження температури робочих деталей на 15–20%, що значно покращило їх експлуатаційні характеристики. Розроблено інноваційний метод електрошлакової наплавки із застосуванням порошкових дротів із модифікуючими домішками, які забезпечують утворення зносостійких покриттів із підвищеними механічними характеристиками. Вперше встановлено можливість стабільного тепловідводу та збереження механічних властивостей у процесі тривалої експлуатації в агресивному середовищі.

Запропонована технологія сприяє зменшенню витрат на обслуговування ґрунтообробної техніки за рахунок зниження частоти заміни деталей. Це дозволяє аграрним підприємствам знизити експлуатаційні витрати до 30% та забезпечити конкурентоспроможність вітчизняного виробництва техніки. Впровадження методу є перспективним для широкого застосування у виробництві й ремонті сільськогосподарських машин.

Ключові слова: леміш; культиваторна стрілчаста лапа; електрошлакове наплавлення; зносостійкість; ресурс; твердість.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

В аграрному секторі зростає потреба в підвищенні ефективності ґрунтообробної техніки, яка зазнає великих навантажень через вплив абразивного середовища. Плужні леміші та культиваторні лапи працюють у безпосередньому контакті з ґрунтом, що викликає швидке зношування, знижуючи ефективність та економічність експлуатації. Часті заміни цих деталей створюють проблеми не лише у вигляді високих витрат, а й через прості техніки, особливо під час активного періоду сільськогосподарських робіт.

Сучасні матеріали та методи зміцнення, такі як термозміцнення, або легування, лише частково розв'язують проблему. Більшість методів не забезпечують достатнього ресурсу при тривалій експлуатації в агресивному середовищі. У зв'язку з цим, розробка ефективної технології зміцнення є необхідною умовою для підвищення ресурсу як лемішів, так і культиваторних стрілчастих лап, що значно покращить продуктивність техніки та знизить її обслуговування.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Розробка методів підвищення зносостійкості робочих елементів ґрунтообробної техніки є важливим напрямом досліджень у галузі аграрного машинобудування. Значний внесок у вирішення цієї проблеми зроблено у працях, присвячених вивченню абразивного зношування металів та методів його зменшення.

Зокрема, у роботах [1–2] досліджено вплив характеристик ґрунтів на зношування робочих органів сільськогосподарської техніки. Увага приділена визначенню основних факторів, що впливають на інтенсивність абразивного зношування. Автори підкреслюють важливість розробки ефективних методів захисту деталей.

У дослідженнях [3, 5, 8] проведено комплексний аналіз впливу температурних навантажень на поверхні робочих органів ґрунтообробних знарядь. Результати вказують на необхідність застосування зміцнювальних покриттів, здатних витримувати високі температури та забезпечувати довговічність деталей.

В роботах [4, 7, 9] акцентовано увагу на використанні компенсуювальних вставок із термозміцненого матеріалу для підвищення ресурсу плужних лемішів. Хоча цей підхід забезпечує локальне підвищення зносостійкості, проблема рівномірного захисту робочих поверхонь залишається актуальною.

Розробка технологій наплавлення отримала розвиток у роботах, де досліджено шахове та електрошлакове наплавлення. Як зазначено в роботі [6, 10], шахове наплавлення забезпечує зменшення ризику утворення тріщин, проте не завжди гарантує необхідний рівень захисту в агресивних умовах. Електрошлакове наплавлення із застосуванням порошкових дротів із модифікуючими домішками, запропоноване в роботі [11–14], демонструє значно кращі результати завдяки рівномірному розподілу зміцнювальних частинок [15].

Отже, аналіз літературних джерел свідчить, що існуючі підходи до підвищення зносостійкості робочих органів сільськогосподарської техніки мають обмеження, пов'язані з рівномірністю покриттів, температурною стабільністю та ефективністю в агресивних умовах. Це обґрунтовує доцільність подальших досліджень у напрямку застосування інноваційних технологій зміцнення.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є розробка інноваційної технології підвищення зносостійкості та ресурсу плужних лемішів і культиваторних стрілчастих лап, які працюють в умовах інтенсивного абразивного зношування. Запропонована технологія базується на застосуванні електрошлакового наплавлення з використанням порошкових дротів, збагачених модифікуючими домішками, що забезпечують високу твердість, рівномірність покриття та стійкість до температурних впливів. Дослідження спрямоване на збільшення міжремонтного ресурсу деталей до 1,4 рази порівняно зі стандартними зразками, зниження витрат на обслуговування техніки та підвищення її надійності в аграрному секторі.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Аналіз існуючих методів

1. Використання термозміцнених компенсуювальних елементів: Цей метод передбачає

приварювання спеціальних вставок із термозміцненого матеріалу, який замінює зношені ділянки леміша, або лапи. Хоча такий підхід забезпечує певний приріст у стійкості до зношування, проте він має ряд недоліків. Використання таких елементів не завжди гарантує рівномірність зносостійкості по всій робочій поверхні, особливо якщо вставка працює в агресивних умовах.

2. Шахове наплавлення: Метод шахового наплавлення передбачає нанесення зміцнювальних валиків у шаховому порядку на робочу та тильну поверхню деталей, що знижує ризик утворення тріщин, але не завжди забезпечує необхідний рівень зносостійкості. Такий підхід часто потребує додаткових зусиль у контролі процесу нанесення, оскільки відсутність рівномірного покриття може спричинити нерівномірне зношування при інтенсивній експлуатації.

3. Електрошлакове наплавлення порошковими дротами з модифікуючими домішками: Даний метод вирізняється можливістю забезпечити міцне покриття з рівномірною твердістю по всій робочій поверхні деталі. Завдяки використанню спеціальної модифікуючої домішки, яка підвищує зв'язок покриття з основним матеріалом і надає додаткову стійкість до зношування, технологія демонструє високу ефективність. Вона підходить як для лемішів, так і для культиваторних лап, забезпечуючи універсальність у застосуванні.

Таблиця 1. Порівняння методів зміцнення лемішів та культиваторних лап

Метод	Стійкість до зношування	Вартість, грн	Ефективність в агресивних умовах
Термо-зміцнення	Середня	500	Низька
Шахове наплавлення	Висока	700	Середня
Електрошлакова наплавка	Висока	600	Висока

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Запропонована технологія електрошлакового наплавлення базується на використанні порошкових дротів, що містять модифікуючі домішки, зокрема борида та карбіди, що підвищують стійкість до абразивного зношування. Важливими компонентами є хром і ванадій, які надають покриттю додаткової твердості та стійкості до температурних змін, які можуть виникати під час роботи техніки. Процес електрошлакового наплавлення передбачає використання струму силою 130–150 А і діаметром порошкового дроту 4 мм, що дозволяє контролювати температурний режим і рівномірність нанесення покриття.

Особливістю даної технології є можливість її адаптації до нерівної форми культиваторних стрілочастин лап. Електрошлакове покриття забезпечує

рівномірний розподіл зміцнювальних компонентів, незалежно від складності поверхні, що дозволяє досягти тривалого ресурсу деталі навіть на складних рельєфних частинах.

Для підвищення надійності та довговічності з'єднання зносостійких пластин із робочими деталями (лемішами та культиваторними лапами) було здійснено підготовку деталей шляхом вирізання спеціальних вікон у зоні приварювання. Такий підхід дозволяє зменшити внутрішню напругу в місцях кріплення та забезпечити більш стійке з'єднання під час інтенсивного абразивного навантаження (рис. 1).

Етапи процесу включали наступне:

1. Вирізання вікон на основній деталі – на поверхні деталі в місцях, де повинні кріпитися зносостійкі пластини, вирізалися прямокутні вікна відповідного розміру. Це дозволяло частково втопити пластину в основному матеріалі деталі, що забезпечувало покращений контакт і зменшення висоти шва.

2. Закладення пластин у вирізані вікна – зносостійкі пластини, отримані методом електрошлакового наплавлення, розміщувалися в підготовлених вікнах так, щоб їх робоча поверхня залишалася на одному рівні з основною поверхнею деталі. Такий монтаж запобігає утворенню надмірних виступів, які можуть підвищувати навантаження на зварний шов і спричиняти передчасне зношування.

3. Приварювання та додаткове зміцнення зварного шва – після закріплення пластини в вікні проводилося зварювання по периметру, що забезпечувало рівномірне навантаження на шов під час експлуатації. Для додаткового зміцнення зварного з'єднання застосовувалася локальна термічна обробка, що знижувала ризик утворення тріщин і підвищувала стійкість до відшарування.



Рис. 1. Вирізані спеціальні вікна у зоні приварювання для приварювання зносостійких біметалевих пластин отриманих за допомогою електрошлакового наплавлення

Завдяки використанню вирізаних вікон для монтажу зносостійких пластин вдалося підвищити загальну зносостійкість і надійність конструкції, що значно збільшує ресурс робочих деталей в умовах інтенсивного контакту з абразивним середовищем.

Для підвищення зносостійкості робочих деталей плужних лемішів і культиваторних лап було здійснено приварювання пластин, отриманих методом електрошлакового наплавлення (рис. 2). Цей процес передбачав виготовлення спеціальних зносостійких пластин із використанням порошкових дротів, збагачених модифікуючими домішками (боридами, карбідами та іншими твердими частинками), які забезпечують високий рівень твердості (до 60 HRC) і рівномірний розподіл зміцнювального матеріалу по поверхні.

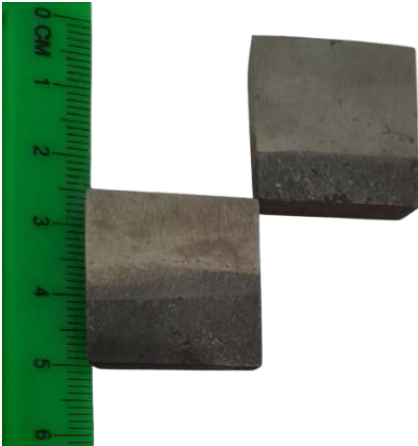


Рис. 2. Зносостійкі біметалеві пластини отримані за допомогою електрошлакового наплавлення

Етапи приварювання пластин включали:

1. **Підготовку поверхонь деталей** – перед приварюванням пластин було проведено очищення та вирівнювання поверхонь робочих деталей, щоб забезпечити надійний контакт і мінімізувати напругу на зварювальному шві.

2. **Приварювання пластин** – пластини, отримані методом електрошлакового наплавлення, закріплювалися за допомогою ручного дугового зварювання на всю довжину несучої частини (рис. 3 а, б). Було застосовано зварювальні матеріали з високою здатністю до розподілу тепла, що дозволяло уникнути перегріву основного матеріалу і зберегти зносостійкість пластин.

3. **Зміцнення зони шва** – для підвищення міцності зварного з'єднання зона шва піддавалася додатковій обробці шляхом локального зміцнення, щоб уникнути можливого відшарування пластин під час експлуатації в умовах інтенсивного абразивного зношування.

Результати показали, що приварені пластини з наплавленим покриттям ефективно протидіють зношуванню, забезпечуючи збільшення ресурсу робочих деталей і знижуючи потребу в їх частій заміні.

Борида та карбіди які додавалися в рідку ванну забезпечують високий рівень твердості покриття, що значно підвищує зносостійкість лемішів і лап. Їх

використання також покращує зв'язок із основним матеріалом і додає стійкість до температурних змін під час експлуатації.



а



б

Рис. 3. Відновлений леміш (а) та культиваторна лапа (б) компанії «Велес-Агро Одеса» з привареними пластинами з наплавленим електрошлаковим покриттям (різально-лезвийна частина)

МЕТОДИКА ПОЛЬОВИХ ВИПРОБУВАНЬ

Для оцінки ефективності технології були підготовлені дослідні зразки як лемішів, так і культиваторних стрілочастих лап, які піддалися обробці електрошлаковим наплавленням. Зразки встановлювалися на плуги та культиватори й випробовувалися на різних типах ґрунтів (супіщані, легкосуглинкові, важкі суглинки та чорноземи звичайні) для всебічного тестування зносостійкості. Обробка ґрунту проходила з фіксацією показників зносу після кожних 5 гектарів, що дозволяло визначити стабільність зносостійкості на кожному етапі (рис. 4 а, б). Порівняння зносостійкості стандартних та відновлених лемішів на різних типах ґрунтів наведено у таблиці 2.

Дослідження включало також аналіз критичних зон культиваторних лап, таких як лезо та робочі кромки, які зазвичай зношуються швидше. Граничний знос для культиваторних лап визначався при досягненні зносу основної частини до 60 мм.

Температурні ефекти є важливим фактором, що впливає на продуктивність та довговічність робочих органів ґрунтообробної техніки. Температурні випробування робочих органів плужних лемішів та культиваторних лап були проведені для оцінки їхньої стійкості до теплових навантажень, які виникають під час польових умов експлуатації. З метою визначення впливу високих температур на зносостійкість та загальний ресурс деталей, досліджувались як стандартні, так і відновлені методом електрошлакового наплавлення зразки.

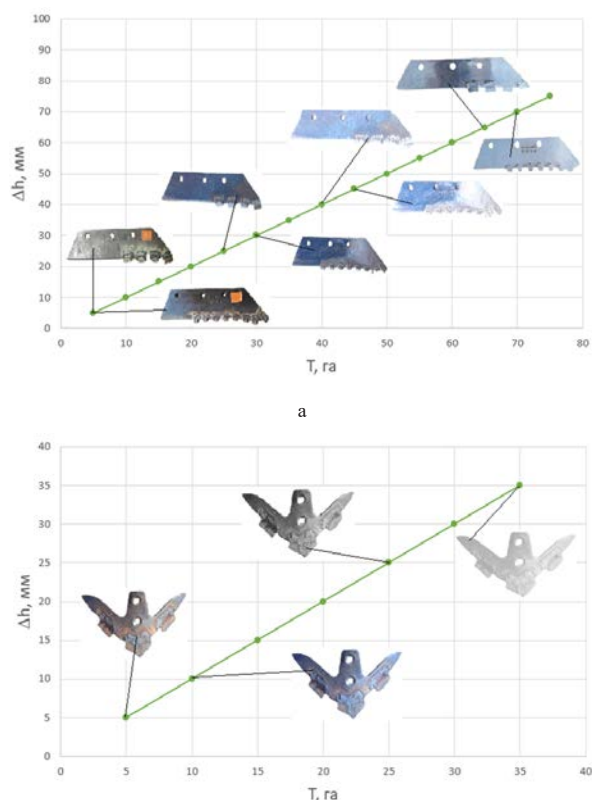


Рис. 4. Зміна зносу відновлених і зміцнених лемішів (а) та культиваторних лап (б) компанії «Велес-Агро Одеса»

Таблиця 2. Порівняння зносостійкості стандартних та відновлених лемішів на різних типах ґрунтів

Тип ґрунту	Стандартний леміш (га)	Відновлений леміш (га)
Супіщані	45	70
Легкосуглинкові	50	73
Важкі суглинки	40	65
Чорноземи звичайні	48	72

Температурні вимірювання проводились при обробці ґрунту на площах від 5 до 73 гектарів. Вимірювання температури здійснювались у різних точках, таких як:

Передня частина леміша, де відбувається основний контакт з ґрунтом.

Задня частина культиваторної лапи, де виникає максимальне тертя.

Температура робочих частин стандартних лемішів коливалась у діапазоні від 60°C до 70°C під час роботи на різних типах ґрунтів. Збільшення температури було особливо помітним при обробці важких суглинків, де максимальні значення сягали 75°C.

Відновлені леміші, оброблені методом електрошлакового наплавлення, показали значно нижчі температурні значення – від 40°C до 50°C. Це є важливим фактором, що сприяє зниженню швидкості зношування та підвищенню ресурсу деталі.

Стандартні леміші: При тривалих навантаженнях, пов'язаних із великим тертям, температура робочої поверхні досягала критичних значень, що призводило до втрати твердості та підвищеного зношування. Це спостерігалось під час обробки ділянок понад 35 гектарів, де початковий рівень твердості значно знижувався.

Відновлені леміші: Завдяки використанню модифікуючих домішок (боридів і карбідів), вдалося забезпечити стабільний тепловідвід і збереження температури на більш низькому рівні. Наприклад, навіть при обробці площі в 73 гектари температура не перевищувала 52°C, що дозволяло зберегти механічні характеристики, зокрема твердість (до 62 HRC).

Відновлені леміші демонструють більш стабільну динаміку температури, що значно покращує їхню працездатність та довговічність.

Під час підвищення температури вище 65–70°C, стандартні зразки починають втрачати свої механічні властивості, зокрема твердість, що призводить до збільшення швидкості зношування. Це підтверджено аналізом поверхонь після обробки, де спостерігалось виникнення мікротріщин та утворення зон локального зносу.

У зразках, оброблених методом електрошлакового наплавлення, температура залишалася в межах допустимих значень, що дозволяло уникнути структурних змін матеріалу та, як наслідок, забезпечити високу зносостійкість.

Температурні випробування показали, що використання електрошлакового наплавлення для зміцнення плужних лемішів та культиваторних лап суттєво знижує рівень нагріву під час роботи, що дозволяє зберегти механічні властивості деталей і значно подовжити їх ресурс.

Важливою перевагою є стабільність температури, яка забезпечується завдяки застосуванню спеціальних домішок у складі порошкових дрітків, що покращують тепловідвід і захищають деталі від перегріву.

Таким чином, температурні випробування підтвердили ефективність методу електрошлакового наплавлення, що робить його важливим елементом для підвищення продуктивності та довговічності ґрунтообробної техніки в аграрному секторі.

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Після впровадження технології електрошлакового наплавлення для зміцнення зносостійких пластин робочий ресурс плужних лемішів і культиваторних лап суттєво збільшився. Завдяки високій твердості покриття та якісному приварюванню пластин, леміші змогли пропрацювати до 73 гектарів у польових умовах без необхідності заміни чи суттєвого зношування, що в повному обсязі відповідає всім агротехнічним вимогам.

Культиваторні стрілочасті лапи, що також були оброблені за цією технологією, витримали до 35 гектарів активного використання, демонструючи значне зниження рівня зношування порівняно зі стандартними лапами. Такі показники довговічності підтверджують ефективність застосованого методу для обох типів деталей, знижуючи експлуатаційні витрати та підвищуючи надійність техніки в умовах інтенсивного абразивного впливу.

Отримані результати показали суттєве підвищення зносостійкості оброблених деталей у порівнянні зі стандартними заводськими зразками. Плужні леміші, оброблені електрошлаковим наплавленням, показали напрацювання до граничного стану близько 73 гектарів, що на 40% перевищує результати звичайних лемішів. Культиваторні стрілочасті лапи показали аналогічне покращення, з можливістю обробки до 35 гектарів площі до досягнення граничного зносу. Це дозволяє значно збільшити продуктивність техніки і зменшити частоту заміन.

Аналіз зон зношування вказав на наявність кількох етапів змін зносостійкості, що спостерігалися на робочих поверхнях деталей, особливо на лемішах і лапах з наплавленим покриттям. Стабільне зношування в перших 5–7 га пояснюється процесом притирки покриття до ґрунту, після чого зносостійкість стабілізується.

Області застосування та перспективи.

Використання електрошлакового наплавлення для зміцнення плужних лемішів і культиваторних лап забезпечує універсальність технології в аграрній сфері. Дана технологія дозволяє застосовувати один і той самий процес для різних типів ґрунтообробного обладнання, забезпечуючи обидві деталі підвищеною стійкістю до абразивного зношування. Підвищення зносостійкості культиваторних лап є критично важливим для довготривалого використання, особливо на важких ґрунтах, що дозволяє значно зменшити обсяг необхідного обслуговування та продовжити міжремонтний інтервал.

Універсальність технології дозволяє скоротити витрати на запчастини, зменшуючи залежність від

імпортних компонентів та сприяючи розвитку вітчизняного виробництва сільськогосподарського обладнання.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Збільшення зносостійкості: Електрошлакове наплавлення з порошковими дротами та модифікуючими домішками значно підвищує ресурс плужних лемішів і культиваторних лап, збільшуючи стійкість деталей до абразивного зношування і забезпечуючи їхню тривалішу експлуатацію. Це дає можливість збільшити загальну продуктивність сільськогосподарської техніки.

2. Зниження експлуатаційних витрат: Завдяки підвищенню ресурсу оброблених деталей, зменшується частота замін і пов'язані з цим витрати на обслуговування, що позитивно впливає на загальну економічність сільськогосподарського виробництва.

3. Імпортозаміщення: Використання технології електрошлакового наплавлення дозволяє зменшити залежність від імпортних запчастин і комплектуючих, сприяючи зміцненню національної бази виробництва сільськогосподарської техніки.

4. Подальші дослідження: Для більшої адаптації технології до інших типів обладнання доцільно дослідити вплив різних складів порошкових дротів та модифікуючих домішок особливо тугоплавких таких як карбід кремнію і т.д. Це дозволить оптимізувати процес для широкого спектра сільськогосподарських деталей, які зазнають інтенсивного зношування.

Завдяки підвищенню ресурсу оброблених деталей, частота їх заміни знизилася на 40%, що дозволяє аграрним підприємствам заощадити до 30% витрат на обслуговування техніки. Це сприяє підвищенню загальної економічної ефективності сільськогосподарського виробництва.

Рекомендується впровадити цю технологію у виробничий процес підприємств, що займаються виготовленням і ремонтом сільськогосподарської техніки, оскільки це дозволить підвищити конкурентоздатність і надійність продукції на ринку.

REFERENCES

- [1] Zakharov, A.V. (2024). Vplyv pokaznykiv kharakterystyk ґрунту na prychny vykhodu z ladu robochykh orhaniv rruntoobrobnykh silskohospodarskykh ahrehativ. [Influence of soil characteristic indicators on the causes of failure of tillage working bodies]. Suchasni vyklyky yak poshtovkh dlia tekhnichnykh innovatsii (3-4 October 2024, Riga, Latvian Republic). Riga: Baltija Publishing, pp. 26-31. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-475-7-6> [in Ukrainian].
- [2] Tikhonov, O.V., Rybalko, I.M., Tikhonov, D.O., Polunin, M.V., Diorodichuk, V.V. (2024). Doslidzhennia protsesu znoshuvannia shliakhom otsinky rozpodilu temperatury na poverkhni robochykh orhaniv rruntoobrobnykh znarad. [Study of the wear process by assessing the temperature distribution on the surface of soil tillage tools]. Tekhnichniy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv, № 24, pp. 69-79. DOI: <https://doi.org/10.37700/ts.2024.24.69-79> [in Ukrainian].
- [3] Rybalko, I.M., Tikhonov, O.V., Polunin, M.V. (2023). Doslidzhennia znoshuvannia bahatozubykh lemeshiv pluhiv. [Research on the wear of multi-tooth plowshares]. Problemy ta perspektivy rozvytku silskohospodarskoho mashynobuduvannia: materialy VI vseukrainskoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii (Poltava, 21-22 December 2023). Poltava: PDAA, pp. 161-165 [in Ukrainian].
- [4] Polunin, M.V., Rybalko, I.M. (2024). Tekhnolohiia vstanovlennia kompensuiuchykh vstavok na znosheni lemeshi pluhiv. [Technology for installing compensating inserts on worn plowshares]. XX Mizhnarodnyi molodizhnyi forum "Molod i Industriia 4.0 u XXI stolitti". Kharkiv: DBTU, p. 141 [in Ukrainian].

- [5] Rybalko, I.M., Tikhonov, O.V., Polunin, M.V. (2024). Lemish z pereryvchastym lezom. [Plowshare with an interrupted blade]. XI Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia "Kramarivski chytannia" z nahody 117-yi richnytsi vid dnia narodzhennia doktora tekhnichnykh nauk, profesora, vitse-prezydenta UAAN Kramarova Volodymyra Savovycha (1906-1987). Kyiv: Vydavnychiy tsentr NUBiP Ukrainy, pp. 317-320 [in Ukrainian].
- [6] Skoblo, T.S., Martynenko, R.V., Ridnyi, N.S., Pas'ko, A.K., Avtukhov, A.K. (2016). Vykorystannia shlakoutvoriuiuchykh sumishei u vyrobnytstvi ta vidnovlenni vyrobiv: Monohrafiia. [Use of slag-forming mixtures in production and restoration of products: Monograph]. Edited by d.t.n., Prof. T.S. Skoblo. Kharkiv: Smuhasta typohrafiia, 284 p. [in Ukrainian].
- [7] Patent Ukrainy № 48353, МПК (2009) V24V39/00. Sposib vidnovlennia ta zmitsnennia detalei. [Method of restoration and strengthening of parts]. №. 200910791. Submitted: 26.10.2009; Published: 10.03.2010, Bulletin № 5 [in Ukrainian].
- [8] Pluhatar'ov, A.V. (2013). Lehuvannia khromovykh pokryttiv nanoporoshkami. [Alloying chromium coatings with nanopowders]. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva P.P. Vasylenka. Resursozberihaiuchi tekhnolohii, materialy ta obladnannia v remontnykh robotakh, Issue 133, pp. 158-163 [in Ukrainian].
- [9] Skoblo, T.S., Klochko, O.Yu., Bielkin, E.L., Sidashenko, A.I. (2018). Novi pidkhody u vyvchenni neodnorodnosti heterohennykh struktur. [New approaches in the study of heterogeneity of heterogeneous structures]. Metallofizyka i noveishi tekhnolohii, 40(2), pp. 255-280 [in Ukrainian].
- [10] Skoblo, T.S., Sidashenko, A.I., Satanovskiy, A.K., Maltsev, T.V. (2018). Osoblyvosti znoshuvannia masloziemnykh porshnevnykh kilets z olov'ianymy pokryttiamy pry stendovykh vyprobuvanniakh na tertia ta znoshuvannia. [Peculiarities of wear of oil control piston rings with tin coatings during bench tests for friction and wear]. Materialoznavstvo, 53(4), pp. 501-507 [in Ukrainian].
- [11] Taran, A.V., Harkusha, I.E., Taran, V.S., Tymoshenko, O.I., Misiruk, I.O., et al. (2019). Antykoroziiini keramichni pokryttia na poverkhni Nb-Fe-B vidstovkhuuiuchykh mahnitiv. [Anticorrosive ceramic coatings on the surface of Nb-Fe-B repelling magnets]. Seriiia fizyky plazmy, 25(1), pp. 116-119 [in Ukrainian].
- [12] Taran, A.V., Harkusha, I.E., Taran, V.S., Muratov, R.M., et al. (2019). Syntez ta kharakterystyka nanokryystalichnykh pokryttiv ZrN PVD na nerezhaivii stali AISI 430. [Synthesis and characterization of nanocrystalline ZrN PVD coatings on AISI 430 stainless steel]. Seriiia fizyky plazmy, 25(1), pp. 243-247 [in Ukrainian].
- [13] Kuskov, Yu.M. (2003). Novyi pidkhid do elektroshlakovoho zvaruvannia. [New approach to electroslag welding]. Zvaruvannia, 4, pp. 42-45 [in Ukrainian].
- [14] Kuskov, Yu.M. (2003). Osoblyvosti elektroshlakovoho naplavlennia hranulovanykh prysadnykh materialom u strumopidvidnii formi. [Peculiarities of electroslag surfacing with granulated filler material in a current-carrying form]. Svaroch. Vyrobnytstvo, 9, pp. 42-47 [in Ukrainian].
- [15] Kuskov, Yu.M., Hordan, H.N., Bohaiuchuk, I.L., Kaida, T.V. (2015). Elektroshlakove naplavlennia dyskretnymy materialamy riznykh sposobiv vyhotovlennia. [Electroslag surfacing with discrete materials of various manufacturing methods]. Zvaruvannia im. E.O. Patona, 5-6, pp. 30-33 [in Ukrainian].
- [16] Kuskov, Yu.M. (2018). Vplyv skladu fiusu na protses elektroshlakovoho naplavlennia torciv z dyskretnoyu podacheyu prysadnoho materialu. [Influence of flux composition on the process of electroslag surfacing of ends with discrete feeding of filler material]. Zvaruvannia im. E.O. Patona, pp. 24-26 [in Ukrainian].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Захаров, А.В. (2024). Вплив показників характеристик ґрунту на причини виходу з ладу робочих органів ґрунтообробних сільськогосподарських агрегатів. Сучасні виклики як поштовх для технічних інновацій (3-4 жовтня 2024 р., м. Рига, Латвійська Республіка). Рига: Baltija Publishing, с. 26-31. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-475-7-6>.
- [2] Тіхонов, О.В., Рибалко, І.М., Тіхонов, Д.О., Полунін, М.В., Діордійчук, В.В. (2024). Дослідження процесу зношування шляхом оцінки розподілу температури на поверхні робочих органів ґрунтообробних знарядь. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Харків: Технічний сервіс сільського, лісового господарства та транспорту, № 24, с. 69-79. DOI: <https://doi.org/10.37700/ts.2024.24.69-79>.
- [3] Рибалко, І.М., Тіхонов, О.В., Полунін, М.В. (2023). Дослідження зношування багатозубих лемешів плугів. В кн: Проблеми та перспективи розвитку сільськогосподарського машинобудування: матеріали VI Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції (м. Полтава, 21-22 грудня 2023 р.). Полтава: ПДАА, с. 161-165.
- [4] Полунін, М.В., Рибалко, І.М. (2024). Технологія встановлення компенсуючих вставок на зношені лемеші плугів. В. В. Полунін, І. М. Рибалко: Збірник матеріалів форуму XX Міжнародного молодіжного форуму «МОЛОДЬ І ІНДУСТРІЯ 4.0 У XXI СТОЛІТТІ». Харків: ДБТУ, с. 141.
- [5] Рибалко, І.М., Тіхонов, О.В., Полунін, М.В. (2024). Леміш з переривчастим лезом. В: Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-технічної конференції «Крамарівські читання» з нагоди 117-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віце-президента UAAN Крамарова Володимира Савовича (1906-1987). Київ: Видавничий центр НУБіП України, с. 317-320.
- [6] Скобло, Т.С., Мартиненко, Р.В., Рідний, Н.С., Пасько, А.К., Автухов, А.К. (2016). Використання шлакоутворюючих сумішей у виробництві та відновленні виробів: Монографія. За ред. д.т.н., проф. Т.С. Скобло. Харків: Смуґаста типографія, 284 с.
- [7] Патент України № 48353, МПК (2009) V24V39/00. Спосіб відновлення та зміцнення деталей. №. 200910791. Заявл. 26.10.2009; Опубл. 10.03.2010, Бюл. № 5.

- [8] Плугатарьов А.В. (2013). Легування хромових покриттів нанопорошками. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. П. П. Василенко. Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання в ремонтних роботах. Харків: ХНТУСГ, Вип. 133, с. 158-163.
- [9] Скобло, Т.С., Клочко, О.Ю., Белкін, Є.Л., Сідашенко, А.І. (2018). Нові підходи у вивченні неоднорідності гетерогенних структур. Металлофізика и новейшие технологии, 40(2), с. 255-280.
- [10] Скобло, Т.С., Сідашенко, А.І., Сатановський, А.К., Мальцев, Т.В. (2018). Особливості зношування маслороз'ємних поршневих кілець з олов'яними покриттями при стендових випробуваннях на тертя та зношування. Матеріалознавство, 53(4), с. 501-507.
- [11] Таран, А.В., Гаркуша, І.Є., Таран, В.С., Тимошенко, О.І., Місірук, І.О. та ін. (2019). Антикорозійні керамічні покриття на поверхні Nb-Fe-B відштовхуючих магнітів. Серія фізики плазми, 25(1), с. 116-119.
- [12] Таран, А.В., Гаркуша, І.Є., Таран, В.С., Муратов, Р.М. та ін. (2019). Синтез та характеристика нанокристалічних покриттів ZrN PVD на нержавіючій сталі AISI 430. Серія фізики плазми, 25(1), с. 243-247.
- [13] Кусков, Ю.М. (2003). Новий підхід до електрошлакового зварювання. Зварювання, 4, с. 42-45.
- [14] Кусков, Ю.М. (2003). Особливості електрошлакового наплавлення гранульованим присадним матеріалом у струмопідвідній формі. Свароч. Виробництво, 9, с. 42-47.
- [15] Кусков, Ю.М., Гордан, Г.Н., Богайчук, І.Л., Кайда, Т.В. (2015). Електрошлакове наплавлення дискретними матеріалами різних способів виготовлення. Зварювання ім. Є.О. Патона, 5-6, с. 30-33.
- [16] Кусков, Ю.М. (2018). Вплив складу флюсу на процес електрошлакового наплавлення торців з дискретною подачею присадного матеріалу. Зварювання ім. Є.О. Патона, с. 24-26.

© Захаров А. В., Рибалко І. М., Тіхонов О. В.
Дата надходження статті до редакції: 18.11.2024
Дата затвердження статті до друку: 04.12.2024