

## **АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ НАУКОВОГО ТА ПРАКТИЧНОГО МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА**

**УДК 631.31: 621.791**

**Захаров А. В.,**

*zakharovandrey1997@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9894-7355,  
аспірант кафедри сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні  
імені О. І. Сідашенка, Державний біотехнологічний університет, м. Харків*

**Рибалко І. М.,**

*irybalko.ua@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3663-019X, Researcher ID I-8014-2016,  
д. т. н., доцент, доцент кафедри сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні  
імені О. І. Сідашенка, Державний біотехнологічний університет, м. Харків*

**Тіхонов О. В.,**

*texas2002@btu.kharkiv.ua, ORCID ID: 0000-0001-7209-8375,  
к. т. н., доцент, доцент кафедри сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні  
імені О.І. Сідашенка, Державний біотехнологічний університет, м. Харків*

### **ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ҐРУНТООБРОБНОЇ ТЕХНІКИ: ЛЕМЕШІВ І КУЛЬТИВАТОРНИХ ЛАП**

**Анотація.** Технологія відновлення деталей є важливим резервом підвищення ефективності використання сільськогосподарської техніки та економії матеріальних ресурсів. У статті розглянуто переваги електрошлакового наплавлення як сучасного методу відновлення деталей ґрунтообробної техніки, зокрема лемешів і культиваторних лап. Електрошлакове наплавлення дозволяє створювати високоякісні шари металу на зношених поверхнях, що значно підвищує їх зносостійкість і довговічність. Особлива увага приділена використанню кристалізатора, який забезпечує рівномірний розподіл тепла, зменшення залишкових напружень та покращення адгезії між наплавленим шаром і основним матеріалом.

Завдяки цьому методу відновлені деталі здатні витримувати інтенсивні механічні навантаження, що характерно для роботи на важких і кам'янистих ґрунтах. У порівнянні з традиційними методами ремонту, електрошлакове наплавлення забезпечує суттєве зниження витрат на ремонт і технічне обслуговування техніки, що робить цей підхід економічно ефективним. У дослідженні також висвітлено екологічні переваги методу: скорочення обсягів металобрухту і зниження вуглецевого сліду завдяки зменшенню виробництва нових деталей.

Проведений аналіз підтверджує, що застосування електрошлакового наплавлення сприяє оптимізації витрат агропідприємств, збільшенню ресурсу техніки та забезпеченню її стійкої роботи в складних умовах експлуатації. Отримані результати мають практичне значення для агропромислових підприємств, які прагнуть підвищити ефективність виробництва та зменшити експлуатаційні витрати. Доведено, що відновлені з використанням кристалізатора леміші та лапи культиваторів можуть працювати до 2-3 разів довше, ніж нові деталі. Подальші дослідження в цьому напрямі спрямовані на вдосконалення технології та адаптацію процесу до різних типів ґрунтообробних знарядь.

**Ключові слова:** електрошлакове наплавлення, леміш, культиваторна лапа, кристалізатор, відновлення, зносостійкість.

**Zakharov A. V.,**

*zakharovandrey1997@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9894-7355,*

*Postgraduate Student at the Department of Service Engineering and Materials Technology in Mechanical Engineering named after O. I. Sidashenko, State Biotechnological University, Kharkiv*

**Rybalko I. M.,**

*irybalko.ua@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3663-019X, Researcher ID I-8014-2016,*

*Doctor of Engineering, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Service Engineering and Materials Technology in Mechanical Engineering named after O. I. Sidashenko, State Biotechnological University, Kharkiv*

**Tihonov O. V.,**

*texas2002@btu.kharkiv.ua, ORCID ID: 0000-0001-7209-8375,*

*PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Service Engineering and Materials Technology in Mechanical Engineering named after O. I. Sidashenko, State Biotechnological University, Kharkiv*

## **THE ADVANTAGES OF USING ELECTROSLAG SURFACING TECHNOLOGY TO RESTORE TILLAGE EQUIPMENT PARTS: PLOUGHSHARES AND CULTIVATOR TINES**

**Abstract.** *The technology of parts restoration is an important reserve for increasing the efficiency of agricultural machinery use and saving material resources. The article discusses the advantages of electroslag surfacing as a modern method of restoring tillage machinery parts, in particular ploughshares and cultivator tines. Electroslag surfacing allows creating high-quality metal layers on worn surfaces, which significantly increases their wear resistance and durability. Particular attention is paid to the use of a crystalliser, which ensures even heat distribution, reduces residual stresses and improves adhesion between the deposited layer and the base material.*

*Thanks to this method, the remanufactured parts are able to withstand intense mechanical loads, which is typical for work on heavy and stony soils. Compared to traditional repair methods, electroslag surfacing provides a significant reduction in the cost of repair and maintenance of machinery, making this approach cost-effective. The study also highlights the environmental benefits of the method: reducing the amount of scrap metal and lowering the carbon footprint by reducing the production of new parts.*

*The analysis confirms that the use of electroslag surfacing helps to optimise the costs of agricultural enterprises, increase the service life of machinery and ensure its sustainable operation in difficult operating conditions. The results obtained are of practical importance for agro-industrial enterprises seeking to improve production efficiency and reduce operating costs. It has been proven that the ploughshares and tines of cultivators restored using the crystalliser can last up to 2-3 times longer than new parts. Further research in this area is aimed at improving the technology and adapting the process to different types of tillage tools.*

**Key words:** electroslag surfacing, ploughshare, cultivator tine, crystalliser, restoration, wear resistance.

**JEL Classification:** Q16, O14, O31, Q55, L73

**DOI:** <https://doi.org/10.32782/2522-1221-2024-40-01>

**Постановка проблеми.** Ефективність використання ґрунтообробної техніки значною мірою залежить від стану її робочих органів. Лемеші плугів і лапи культиваторів зазнають значних абразивних навантажень, що призводить до їх швидкого зносу та необхідності частої заміни. Ці елементи не лише забезпечують ефективність роботи техніки, але й впливають на якість обробки ґрунту, що є критичним фактором для отримання високих урожаїв. Традиційні методи ремонту,

такі як механічне відновлення або заміна деталей, не завжди забезпечують необхідну якість та довговічність через використання матеріалів із низькими експлуатаційними характеристиками. Це зумовлює необхідність пошуку нових рішень для відновлення деталей, які б поєднували економічну ефективність, високу якість і екологічну безпеку.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботах, присвячених відновленню деталей

грунтообробної техніки, було запропоновано кілька методів, серед яких [1–6]:

1. Індукційне наплавлення: цей метод дозволяє створювати зносостійкі покриття на поверхні деталей за допомогою високочастотного нагрівання. Недоліками є нерівномірність структури шару та висока чутливість до тріщин при швидкому охолодженні.

2. Газополум'яне наплавлення: широко застосовується для ремонту деталей завдяки простоті виконання. Проте цей метод характеризується низькою адгезією наплавленого шару до основного металу, що обмежує його довговічність у важких умовах експлуатації.

3. Термічне напилення: забезпечує високу швидкість нанесення покриття, однак має обмежену стійкість до механічних навантажень і абразивного зносу.

4. Електрошлакове наплавлення (ЕШН): метод, що дозволяє отримувати наплавлені шари з високою однорідністю та відсутністю внутрішніх дефектів завдяки рівномірному розподілу тепла і контролю процесу кристалізації. У дослідженнях підтверджено його переваги для деталей, які працюють в умовах високих механічних навантажень.

Критика альтернативних методів відновлення полягає у їх обмеженнях, зокрема, методи відновлення деталей ґрунтообробної техніки досліджувалися у роботах [7–9]. Серед існуючих методів відновлення найбільш перспективним визнано електрошлакове наплавлення. Наприклад, роботи Рибалка І.М., та колег [10] демонструють переваги використання електродних порошкових дротів, які дозволяють значно підвищити якість наплавленого шару. Нетяга А.В., та Кусков Ю.М., [11] підкреслюють роль високохромистого чавуну в підвищенні зносостійкості відновлених деталей, що є актуальним для ґрунтообробних знарядь.

Дослідження, проведені Кусковим Ю.М., і Рябцевим І.О. [12], підтвердили, що електрошлакове наплавлення має потенціал для адаптації до широкого спектра матеріалів та забезпечує створення дрібнозернистої структури, яка підвищує міцність і довговічність деталей. Захаров А.В., та Рибалко І.М. [13], довели ефективність використання кристалізатора для підвищення зносостійкості відновлених деталей. Проте недостатньо висвітлено питання практичного застосування цього методу в умовах інтенсивного сільського господарства, що й визначає актуальність цього дослідження.

**Постановка завдання.** Ефективність використання ґрунтообробної техніки значною мірою залежить від стану її робочих органів. Лемеші плугів і лапи культиваторів зазнають значних абразивних навантажень, що призводить до їх швидкого зносу та необхідності частої заміни. Традиційні методи ремонту не завжди забезпечують необхідну якість та довговічність, що зумовлює необхідність пошуку нових рішень для відновлення деталей.

**Виклад основного матеріалу.** Електрошлакове наплавлення – це сучасний метод, що забезпечує створення високоякісного шару металу на зношених деталях. Процес наплавлення здійснюється шляхом використання спеціального електрода і шлакового шару, який формує дрібнозернисту структуру металу та зменшує залишкові напруження [14–15].

Однією з ключових складових методу є використання кристалізатора, який сприяє рівномірному розподілу тепла та поліпшенню адгезії наплавленого шару до основного матеріалу [16].

Технологія відновлення деталей – є важливим резервом підвищення ефективності використання сільськогосподарської техніки та економії матеріальних, паливно-енергетичних і трудових ресурсів. В першу чергу відновлення робочих органів ґрунтообробних знарядь, таких як лемеші плугів і лапи культиваторів, які піддаються значним механічним і абразивним впливам, що призводить до їхнього швидкого зносу.

Технологія відновлення сільськогосподарської техніки відіграє ключову роль у забезпеченні стійкості аграрного виробництва. Лемеші плугів і лапи культиваторів зазнають значних механічних і абразивних навантажень, що призводить до їхнього швидкого зносу. Електрошлакове наплавлення являє собою сучасний метод відновлення таких деталей, який має безліч переваг порівняно з традиційними способами ремонту та відновлення деталей.

Електрошлакове наплавлення – це процес, за якого відновлення зношених поверхонь здійснюється за допомогою спеціального електрода і шлакового шару. У процесі наплавлення використовується тепло, що виділяється під час протікання струму через розплавлений шлак, що дає змогу створювати високоякісні шари металу на зношених деталях (табл. 1). Цей метод підходить для відновлення робочих частин ґрунтообробної техніки, схильних до інтенсивного зносу [17].

Таблиця 1

**Порівняння методів відновлення деталей ґрунтообробної техніки**

Показник	Електрошлакове наплавлення (ЕШН)	Традиційні методи ремонту
Термін служби відновлених деталей	Збільшений (до 2-3 разів довше)	Зазвичай короткий
Вартість відновлення	Низька	Висока
Якість наплавленого шару	Висока	Середня
Екологічний вплив	Низький	Високий

Одним із ключових елементів процесу є використання кристалізатора, який сприяє формуванню рівномірного та якісного наплавленого шару. Кристалізатор забезпечує рівномірний розподіл тепла, що мінімізує внутрішні напруження в металі та покращує адгезію наплавленого шару до основного матеріалу. Це дає змогу підвищити довговічність відновлених деталей і поліпшити їхні експлуатаційні характеристики [18].

Переваги електрошлакового наплавлення:

1. *Збільшення терміну служби деталей.* Однією з головних переваг електрошлакового наплавлення є значне збільшення терміну служби відновлених деталей. Лемеші та лапи, що пройшли наплавлення, демонструють підвищену зносостійкість, що особливо важливо під час роботи на кам'янистих і важких ґрунтах. Відновлені деталі здатні витримувати багаторазові цикли навантаження, мінімізуючи необхідність частої заміни.

2. *Економічна ефективність.* Відновлення деталей з використанням електрошлакового наплавлення істотно знижує витрати на експлуатацію сільгосптехніки. Нові деталі часто коштують дорого, тоді як наплавлення дає змогу відновити зношені елементи за значно нижчою ціною. Це особливо актуально для господарств, які прагнуть оптимізувати свої витрати та зменшити фінансове навантаження (табл. 2). Крім того, завдяки використанню кристалізатора в процесі наплавлення вдається домогтися рівномірного розподілу тепла і поліпшити якість наплавленого шару, що також сприяє зниженню витрат на ремонт у довгостроковій перспективі [19].

Таблиця 2

**Витрати на відновлення та заміну деталей**

Показник	Наплавлення ЕШН	Нова деталь
Вартість матеріалів	Низька	Висока
Вартість робіт	Середня	Відсутня
Загальні витрати	Низькі	Високі
Тривалість експлуатації	Довга	Середня або коротка

3. *Висока якість відновлення.* Технологія електрошлакового наплавлення забезпечує високу адгезію наплавленого шару до основного металу, що запобігає його відшаруванню і підвищує стійкість до механічних пошкоджень. У результаті відновлені лемеші та культиваторні лапи працюють на рівні, що не поступається новим деталям, а часом навіть перевершують їх за своїми характеристиками. Використання кристалізатора також сприяє формуванню більш щільного і зносостійкого наплавленого шару, що робить відновлені деталі більш довговічними.

4. *Зниження навантаження на навколишнє середовище.* Використання електрошлакового наплавлення для відновлення деталей сприяє зниженню екологічного навантаження. Скорочується кількість металобрухту і зменшується потреба у виробництві нових деталей, що, своєю чергою, знижує вуглецевий слід сільськогосподарського виробництва. Таким чином, електрошлакове наплавлення не тільки економічно вигідне, а й екологічно безпечне. Скорочення відходів і триваліший термін служби деталей дають змогу знизити обсяги металургійного виробництва та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

5. *Універсальність застосування.* Електрошлакове наплавлення дає змогу відновлювати різні типи деталей, що робить цей метод універсальним. Лемеші плугів, лапи культиваторів, робочі поверхні інших ґрунтообробних інструментів – усі ці елементи можуть бути успішно відновлені з використанням цієї технології (рис. 1). Для відновлення деталей ґрунтообробної техніки методом електрошлакового наплавлення використовуються такі матеріали: високохромистий чавун (27% Cr), сталь 45 як основа, а також порошкові електроди на основі легованих сплавів, які забезпечують утворення зносостійкого шару з дрібнозернистою структурою. Це дає змогу агропідприємствам мати єдиний підхід до ремонту та відновлення різних видів техніки. Використання кристалізатора під час наплавлення робить цей метод придатним для широкого



спектра матеріалів, забезпечуючи оптимальні характеристики для кожного типу деталей, що відновлюються.

Електрошлакове наплавлення (ЕШН) істотно впливає на структуру металу, змінюючи її таким чином, що це підвищує зносостійкість і міцність відновлених деталей. Ось детальніше про вплив наплавлення на металеву структуру [19]:

1. Формування дрібнозернистої структури

– Під час електрошлакового наплавлення відбувається процес переплавлення основного металу і додавання наплавленого матеріалу. Це призводить до утворення нової кристалічної структури, яка, завдяки контролюваній температурі та процесу кристалізації, має дрібнозернисту структуру.

– Дрібнозерниста структура є більш стійкою до механічних навантажень та зносу. Чим дрібніше зерно, тим вища його міцність і стійкість до тріщиноутворення.

2. Зменшення залишкових напружень

– Технологія електрошлакового наплавлення передбачає використання тепла, що виділяється під час протікання струму через розплавлений шлак, для плавлення матеріалу. Кристалізатор, який використовують під час наплавлення, сприяє рівномірному розподілу тепла, що значно знижує рівень залишкових напружень у металевій структурі.

– Зменшення залишкових напружень робить напавлений шар менш схильним до утворення мікротріщин, що покращує довговічність деталей.

3. Підвищення адгезії між напавленим шаром і основним металом

– Напавлений шар під час електрошлакового процесу щільно з'єднується з основним металом завдяки високій температурі і створенню умов для інтенсивного перемішування наплавленого матеріалу з основою. Це підвищує адгезію (зчеплення) між шарами і робить відновлену деталь більш цілісною та стійкою до навантажень.

– Адгезія також сприяє підвищенню стійкості до відшарування, особливо під час дії ударних навантажень та вібрацій.

4. Однорідність наплавленого шару

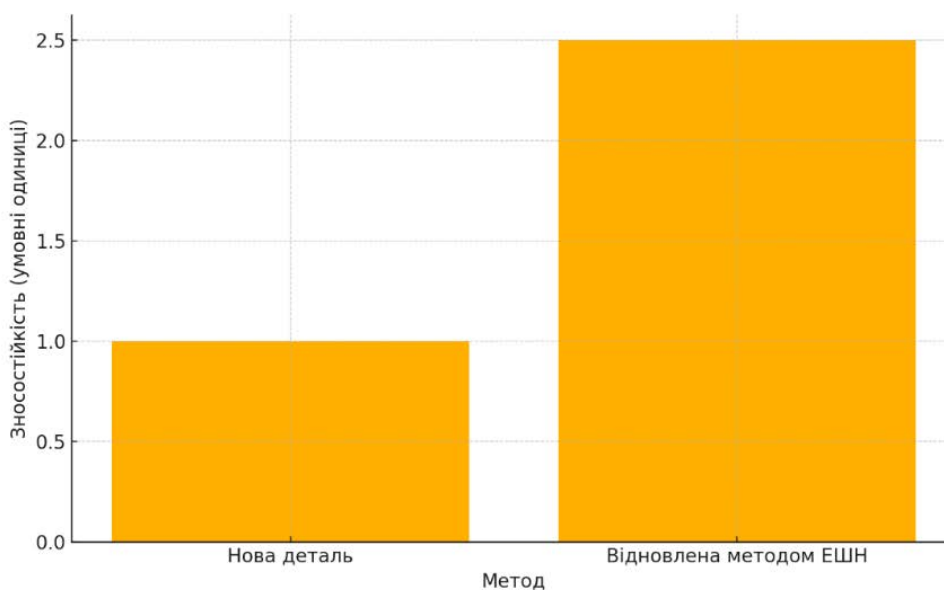
– Контрольований процес наплавлення дозволяє уникнути утворення дефектів, таких як пори або тріщини, в новоутвореному шарі. Це досягається завдяки рівномірному нагріванню і застосуванню кристалізатора, який контролює температуру та процес кристалізації металу.

– Однорідність структури забезпечує високу стійкість наплавленого шару до зношування і збільшує ресурс експлуатації деталі.

5. Підвищення зносостійкості

– Зносостійкість наплавленого металу є критичним показником для робочих деталей ґрунтообробної техніки, які працюють в умовах інтенсивного контакту з ґрунтом та іншими абразивними матеріалами. Після наплавлення структура металу стає більш щільною, що зменшує утворення мікропорожнин і підвищує стійкість до абразивного зносу.

– Напавлений шар завдяки своїй високій щільності і дрібнозернистій структурі є більш



**Рис. 1. Порівняння зносостійкості деталей, відновлених методом ЕШН, і нових деталей**

стійким до механічного впливу, що дозволяє деталі працювати довше без втрати робочих характеристик.

Електрошлакове наплавлення сприяє покращенню металевої структури відновлених деталей, що включає формування дрібнозернистої і більш щільної структури, зменшення залишкових напружень, підвищення адгезії та однорідності. Це дозволяє збільшити термін служби деталей, знизити ризик утворення тріщин і підвищити їх зносостійкість, що особливо важливо для деталей сільськогосподарської техніки, які працюють в екстремальних умовах.

Кристалізатор сприяє рівномірному розподілу тепла по всій поверхні відновлюваної деталі. Це мінімізує ризики утворення внутрішніх напружень у металі, які можуть призвести до деформації або тріщин. Завдяки рівномірному розподілу тепла зменшуються залишкові напруження, що робить наплавлений шар більш стійким до механічних впливів.

Кристалізатор допомагає контролювати товщину та рівномірність наплавленого шару металу. Це забезпечує якісне зрощення між основним матеріалом деталі та наплавленим шаром, що запобігає його відшаруванню під час експлуатації. Як результат, відновлені деталі мають високу зносостійкість та тривалий термін служби.

Під час електрошлакового наплавлення кристалізатор забезпечує контроль за процесом кристалізації розплавленого металу. Це дає можливість формувати дрібнозернисту структуру, що підвищує міцність та стійкість до зношування. Завдяки цьому деталі, відновлені з використанням кристалізатора, можуть перевершувати нові деталі за своїми характеристиками.

Переваги використання кристалізатора. Покращення адгезії: Кристалізатор сприяє кращій адгезії (зчепленню) наплавленого металу з основою деталі, що запобігає його відшаруванню під впливом навантажень.

Зменшення залишкових напружень: Завдяки рівномірному розподілу тепла кристалізатор мінімізує залишкові напруження в металевій структурі, що підвищує довговічність деталей.

Підвищення міцності та зносостійкості: Кристалізація з контрольованою температурою сприяє формуванню щільного, однорідного наплавленого шару, який має високу стійкість до зношування.

**Практичне значення.** На практиці використання кристалізатора під час електрошлакового наплавлення дозволяє відновлювати деталі з високою якістю та тривалістю експлуатації. Відновлені лемеші плугів та лапи культиваторів можуть працювати довше, зменшуючи частоту заміни та витрати на обслуговування. Це особливо важливо для аграрних підприємств, де обладнання працює в умовах інтенсивних навантажень, часто на кам'янистих і важких ґрунтах.

Отже, кристалізатор є ключовим компонентом, який дозволяє значно покращити результати електрошлакового наплавлення, забезпечуючи високу якість, міцність і довговічність відновлених деталей.

На практиці відновлення лемешів і культиваторних лап за допомогою електрошлакового наплавлення довело свою ефективність в умовах інтенсивного сільського господарства. Відновлені таким чином деталі, обробляють з високою ефективністю ґрунт, що підвищує врожайність і знижує витрати на обслуговування техніки. Фахівці зазначають, що наплавлені деталі здатні працювати до 2–3 разів довше, ніж нові, виготовлені з менш стійких матеріалів. Економічний ефект від використання електрошлакового наплавлення включає зниження витрат на закупівлю нових деталей, зменшення простоїв техніки і, як наслідок, підвищення загальної продуктивності господарства. У довгостроковій перспективі, це також сприяє зниженню витрат на ремонт і технічне обслуговування, оскільки деталі, відновлені із застосуванням кристалізатора, потребують меншої кількості повторних ремонтів.

**Висновки.** Електрошлакове наплавлення – це ефективний метод відновлення деталей ґрунтообробної техніки, який поєднує в собі економічну вигоду, високу якість та екологічну безпеку. Відновлені таким чином лемеші та культиваторні лапи здатні істотно підвищити ефективність сільськогосподарських робіт, скоротити експлуатаційні витрати і продовжити термін служби техніки. У сучасних умовах, коли оптимізація витрат і стійкість виробництва стають ключовими пріоритетами, технологія електрошлакового наплавлення посідає важливе місце в арсеналі методів відновлення агротехніки.

Використання кристалізатора в процесі наплавлення додатково підвищує якість відновлення і довговічність деталей, що робить цей метод особливо цінним для агропромислових підприємств, які прагнуть максимальної ефективності та стійкості.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Дудніков А. А., Дудніков І. А., Дудник В. В., Бурлака О. А. Способи відновлення деталей сільськогосподарських машин. *Scientific Progress & Innovations*. 2021. № 2. С. 280–285. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.37>.

2. Іванкова О. В., Бартош В. Ю. Дослідження впливу зміцнюючих технологій відновлення деталей на ресурс машин. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2019. Вип. 199. С. 54–61.

3. Іванкова О. В., Гаращук О. В., Куценко В. І., Щербина В. В., Чижевський Д. В., Бабич Я. В., Тихонов М. О. Дослідження методів відновлення зношених деталей сільськогосподарської техніки. *Вісник ПДАА*. 2020. № 2. С. 283–292. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2020.04.36>.

4. Іванкова О. В., Велит І. А., Бартош В. Ю., Общій Я. О. Дослідження застосування технології поверхневого деформування при відновленні зношених деталей сільськогосподарської техніки. *Modern scientific researches*. 2021. Вип. 15. Т. 1. С. 29–33. DOI: <https://doi.org/10.30889/2523-4692.2021-15-01-043>.

5. Патент № 54961 від 25.11.2010 року. Спосіб електроерозійного зміцнення поверхні деталі/Гапоненко О. А., Прасолов Є. Я., Лапенко Г. О. та ін.

6. Василенко М. О., Чернявський О. О. Відновлення лемешів плугів із застосуванням електроерозійного способу для їх загострення та зміцнення. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2001. Вип. 85. С. 262–264.

7. Рибалко І., Сайчук О., Захаров А., Боровик О. Процес електрошлакового наплавлення з використанням електродних порошкових дріт. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. 2023. Т. 2. № 1. С. 1–9.

8. Нетяга А. В., Кусков Ю. М., Проскудін В. М., Жданов В. А., Лентюгов І. П. Формування шару високохромистого чавуну при електрошлаковому наплавленні в струмопідвідному кристалізаторі квадратного перерізу. *Сучасна електromеталургія*. 2021. № 04. С. 16–19.

9. Кусков Ю. М., Рябцев І. О. Електрошлакове наплавлення. *Матеріали, технології, обладнання*. Київ: Інтерсервіс, 2022. 284 с. URL: <https://nvd-nanu.org.ua/elektroshlakove-naplavlennya-materialy-tehnologiyi-obladnannya>.

10. Захаров А. В., Рибалко І. М. Електрошлакове наплавлення поверхонь виробів композиційними зносостійкими домішками. *Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання»*. 2022. С. 56–59.

11. Рибалко І. М., Захаров А. В. Металургійні процеси плавлення і перенесення електродного та присадного матеріалів у шлаковій ванні при елек-

трошлаковому наплавленні. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету*. 2023.

12. Захаров А. В., Рибалко І. М., Сайчук О. В. Дослідження особливостей регулювання глибини проплавлення основного металу під час процесу ЕШН. *Importance of Soft Skills for Life and Scientific Success*. 2023.

13. Нетяга А. В., Кусков Ю. М. Формування шару високохромистого чавуну при електрошлаковому наплавленні. *Сучасна електromеталургія*. 2021.

14. Кусков Ю. М., Рябцев І. О. Електрошлакове наплавлення. *Матеріали, технології, обладнання*. Київ: Інтерсервіс. 2022.

15. Мікосянчик О. О., Шамрай В. Б., Лопата Л. А. Композиційні матеріали для зносостійких покриттів деталей сільськогосподарських машин. *Проблеми тертя та зношування*. 2023.

16. Ставинський А., Вахоніна Л., Мартиненко В. Використання поверхневого зміцнення для підвищення зносостійкості робочих органів сільськогосподарських машин. *Біосистеми і аграрні технології*. 2024.

17. Захаров А. В., Рибалко І. М. Фізико-хімічні властивості флюсів для електрошлакового наплавлення. *Наукові вісті Дніпровського університету*. 2022.

18. Рибалко І. М., Захаров А. В. Розподіл тепла у металевій ванні при електрошлаковій наплавці порошковим електродом. *VII International Scientific and Practical Conference*. 2022.

19. Савченко В. М., Борак К. В., Голошук В. О. Зносостійкі покриття для деталей машин, що працюють в абразивному середовищі. *Технічний сервіс агропромислового комплексу*. 2020.

20. Дзюбик А. Р., Войтович А. А. Оптимізація технології наплавлення зносостійких шарів на плоскі елементи конструкцій. *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні*. 2016.

**REFERENCES:**

1. Dudnikov, A. A., Dudnikov, I. A., Dudnik, V. V., & Burlaka, O. A. (2021) Methods for restoring agricultural machinery parts [Metody vidnovlennia silskohospodarskykh mashyn]. *Scientific Progress & Innovations*, (2), 280–285. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.37> [in Ukrainian].

2. Ivankova, O. V., & Bartosh, V. Y. (2019) Study of the impact of strengthening restoration technologies on machine part resources [Doslidzhennia vplyvu zmitsniuuychukh tekhnolohii vidnovlennia na resurs mashyn]. *Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petro Vasylenko*, (199), 54–61. [in Ukrainian].

3. Ivankova, O. V., Harashchuk, O. V., Kutsenko, V. I., Shcherbyna, V. V., Chyzhevskiy, D. V., Babich, Y. V., & Tikhonov, M. O. (2020) Research on methods

of restoring worn parts of agricultural machinery [Doslidzhennia metodiv vidnovlennia znoshenykh detalei silskohospodarskoi tekhniki]. Bulletin of PDAA, (2), 283–292. <https://doi.org/10.31210/visnyk2020.04.36> [in Ukrainian].

4. Ivankova, O. V., Velit, I. A., Bartosh, V. Y., & Obshyi, Y. O. (2021) Research on the application of surface deformation technology for restoring worn parts of agricultural machinery [Doslidzhennia zastosuvannia tekhnologii poverkhnevoho deformuvannia dlia vidnovlennia znoshenykh detalei silskohospodarskoi tekhniki]. Modern Scientific Researches, 15(1), 29–33. <https://doi.org/10.30889/2523-4692.2021-15-01-043> [in Ukrainian].

5. Patent No. 54961 (2010, November 25) Method of electroerosion surface hardening of parts [Sposib elektroeroziinoho zmitsnennia poverkhni detaliv]. [in Ukrainian].

6. Vasylenko, M. O., & Cherniavskiy, O. O. (2001) Restoration of plowshares using electroerosion sharpening and strengthening methods [Vidnovlennia lemshiv pluhiv iz zastosuvanniam elektroeroziinykh metodiv]. Mechanization and Electrification of Agriculture, (85), 262–264. [in Ukrainian].

7. Rybalko, I., Saichuk, O., Zakharov, A., & Borovyk, O. (2023) The process of electroslag surfacing using electrode flux-cored wires [Protse elektroshlakovoho naplavlennia z vykorystanniam elektrodo-poroshkovykh drotiv]. International Science Journal of Engineering & Agriculture, 2(1), 1–9. [in Ukrainian].

8. Netiaga, A. V., Kuskov, Yu. M., Proskudin, V. M., Zhdanov, V. A., & Lentiugov, I. P. (2021) Formation of a high-chromium cast iron layer during electroslag surfacing in a square-section current-conducting mold [Formuvannia sharu vysokokhromystoho chavunu pry elektroshlakovomu naplavlenni]. Modern Electrometallurgy, (04), 16–19. [in Ukrainian].

9. Kuskov, Yu. M., & Riabtsev, I. O. (2022) Electroslag surfacing: Materials, technologies, equipment [Elektroshlakove naplavlennia: Materialy, tekhnologii, obladnannia]. Kyiv: Interservis. Retrieved from <https://nvd-nanu.org.ua/elektroshlakove-naplavlennia-materialy-tehnologiyi-obladnannia> [in Ukrainian].

10. Zakharov, A. V., & Rybalko, I. M. (2022) Electroslag surfacing of product surfaces with composite wear-resistant additives [Elektroshlakove naplavlennia poverkhniv vyrobiv z kompozytsiinykh znosostiikykh domisok]. In Proceedings of the IX International Scientific and Technical Conference "Kramarov Readings" (pp. 56–59). Kyiv: Publishing Center of NUBiP of Ukraine. [in Ukrainian].

11. Rybalko, I. M., & Zakharov, A. V. (2023) Metallurgical processes of melting and transfer of electrode and filler materials in the slag bath during electroslag surfacing [Metalurhiini protsesy plavlennia

i perenesennia materialiv u shlakovii vannii]. Bulletin of Lviv Trade and Economic University. [in Ukrainian].

12. Zakharov, A. V., Rybalko, I. M., & Saichuk, O. V. (2023) Research on the features of regulating the depth of base metal penetration during the electroslag surfacing process [Doslidzhennia osoblyvosti rehuliuвання hlybiny proplavlennia osnovnoho metalu]. In Importance of Soft Skills for Life and Scientific Success. [in Ukrainian].

13. Netiaga, A. V., & Kuskov, Yu. M. (2021) Formation of a high-chromium cast iron layer during electroslag surfacing [Formuvannia sharu vysokokhromystoho chavunu pry elektroshlakovomu naplavlenni]. Modern Electrometallurgy. [in Ukrainian].

14. Kuskov, Yu. M., & Riabtsev, I. O. (2022) Electroslag surfacing: Materials, technologies, equipment [Elektroshlakove naplavlennia: Materialy, tekhnologii, obladnannia]. Kyiv: Interservis. [in Ukrainian].

15. Mikosianchyk, O. O., Shamrai, V. B., & Lopata, L. A. (2023) Composite materials for wear-resistant coatings of agricultural machinery parts [Kompozytsiini materialy dlia znosostiikykh pokryttiv]. Problems of Friction and Wear. [in Ukrainian].

16. Stavynskiy, A., Vakhonina, L., & Martynenko, V. (2024) Use of surface hardening to increase the wear resistance of agricultural machinery working parts [Vykorystannia poverkhnevoho zmitsnennia dlia pidvyshchennia znosostiikosti]. Biosystems and Agricultural Technologies. [in Ukrainian].

17. Zakharov, A. V., & Rybalko, I. M. (2022) Physicochemical properties of fluxes for electroslag surfacing [Fizyko-khimichni vlastyvy flusiv dlia elektroshlakovoho naplavlennia]. Scientific News of Dali University. [in Ukrainian].

18. Rybalko, I. M., & Zakharov, A. V. (2022) Heat distribution in the metal bath during electroslag surfacing with a flux-cored electrode [Rozpodil tepla u metalovii vannii pry elektroshlakovii naplavtsi]. In VII International Scientific and Practical Conference. [in Ukrainian].

19. Savchenko, V. M., Borak, K. V., & Holoshchuk, V. O. (2020) Wear-resistant coatings for machine parts operating in abrasive environments [Znosostiiki pokryttia dlia detaliv mashyn, shcho pratsuiut v abrazyvnomu seredovyshchi]. Technical Service of the Agro-Industrial Complex. [in Ukrainian].

20. Dziubyk, A. R., & Voitovych, A. A. (2016) Optimization of technology for surfacing wear-resistant layers on flat structural elements [Optymizatsiia tekhnologii naplavlennia znosostiikykh shariv]. Automation of Production Processes in Mechanical Engineering. [in Ukrainian].

*Стаття надійшла до редакції  
26 листопада 2024 року*