

УДК 621.793.182

DOI <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-1-37>

Федірко П. П.

кандидат технічних наук, доцент,
асистент кафедри технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: pavlo.fedirko@pdatu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-3724-8937

Дуганець В. І.

кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: duhanetsvi@pdatu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-2946-2850

Оленюк О. А.

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: alexander olenyuk@pdatu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-1463-076X

Бончик В. С.

кандидат технічних наук, доцент,
асистент кафедри технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: vitaliy-bonchik@ukr.net
ORCID: 0000-0001-9155-2465

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Анотація

На основі аналізу умов експлуатації та переважajúчого характеру зносу широкої номенклатури деталей сільськогосподарської техніки запропоновано класифікацію зміцнюваних і відновлюваних електроіскровим методом об'єктів та описано методологічні та технологічні особливості обробки для збільшення їх зносостійкості та ресурсу.

У статті розглянуто спосіб підвищення ресурсу (довговічності) робочих органів сільськогосподарських машин. Традиційно, робочі органи зношені до граничного розміру підлягають відновленню, а деталі з граничним зносом обробляються під найближчий ремонтний розмір. Недоліком такої технології є те, що при цьому допускається занадто великий діапазон між ремонтними розмірами, а це призводить до значного зниження ресурсу робочих органів. Авторами на основі аналізу умов експлуатації та переважajúчого характеру зносу широкої номенклатури деталей сільськогосподарської техніки запропоновано класифікувати об'єкти, зміцнювані електроіскровим методом, та описати технологічні й методологічні особливості електроіскрової обробки для підвищення їхньої зносостійкості та ресурсу.

Також проаналізовано сильні й слабкі сторони методу електроіскрового легування, перспективи розвитку та небезпеки, що супроводжують цю технологію. Виявлено шляхи збільшення товщини формованого покриття на зношених сталевих поверхнях деталей автомобілів. Експериментальними дослідженнями встановлено, що застосування електродів на основі карбіду вольфраму та карбіду титану з добавками компонентів, що утворюють з матеріалом поверхні необмежені тверді розчини та виконують роль флюсів, дозволяє формувати леговані покриття з максимальною товщиною.

Ключові слова: електроіскрова обробка, електроіскрове легування, покриття, деталі, тертя, знос, зміцнення, зносостійкість, напруга, мікроструктура, сільськогосподарські машини, зношування, поверхневий шар, мікротріщини.

Вступ. Робота машин та механізмів сільськогосподарської техніки нерозривно пов'язана з силовими, абразивними, тепловими, хімічними та іншими видами впливу на робочі поверхні. Ці впливи, у процесі експлуатації машин, призводять до зміни розмірів деталей і втрати їх експлуатаційних властивостей. Збільшення ресурсу деталей та економічно доцільне відновлення їх працездатності є одним із найбільш актуальних завдань машинобудівного та ремонтного виробництва.

Одним із напрямків розвитку сільськогосподарського машинобудування є впровадження технологічних процесів, що підвищують ресурс робочих органів, при збереженні економічності їх виготовлення. До таких процесів можна віднести електрофізичні та електрохімічні методи обробки поверхні виробів, що дозволяють створювати поверхнево-активний шар з високими механічними властивостями [1; 4].

Забезпечення високих технологічних та економічних показників процесів поверхневого зміцнення значною мірою залежить від правильного вибору самої операції електрообробки, її режимів та способів впливу даної обробки на матеріали, що зміцнюються.

До деталей, що працюють в умовах високих контактних тисків і швидкостей відносного ковзання при одночасному накладенні різних вібрацій і ударів, пред'являються підвищені вимоги за такими критеріями, як зносостійкість, втомна довговічність, залишковий ресурс, контактна жорсткість, а також корозійна стійкість. Дані критерії іноді взаємно виключають, що утруднює вибір операції для поверхневого зміцнення.

Працездатність та ресурс деталей залежать від багатьох факторів, до яких належать якісні характеристики цих об'єктів та умови їх експлуатації. Умовно ці фактори можна розділити на фактори зовнішнього впливу та внутрішні. До останніх факторів віднесемо якісні характеристики деталей, які визначаються, головним чином властивостями міцності матеріалу, з якого вони виготовлені, так і властивостями міцності поверхневого шару, а також параметрами рельєфу робочої поверхні.

Мета роботи – створення класифікації об'єктів зміцнення та відновлення електроіскровим методом та виявлення для кожної групи об'єктів методологічних та технологічних особливостей електроіскрової обробки з урахуванням руйнівної дії на робочі поверхні основних зовнішніх факторів та переважних видів зносу. Робота спрямована на створення закономірностей, що дозволяють спростити розробку зміцнювальної та відновлювальної технології в межах технологічних можливостей електроіскрового методу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Зношування та втрата працездатності деталей різного призначення часто пов'язані зі змінами в поверхневому шарі, що відбуваються в процесі їх експлуатації. У табл. 1 наведено результати аналізу переважаючих видів зносу різних об'єктів з урахуванням руйнівної дії на робочі поверхні основних зовнішніх факторів.

Причини виходу з ладу ріжучих елементів. Статистичні дані показують, що через знос і корозію із ладу вибувають до 80 % деталей, а через поломки (включаючи руйнування від утомленості) – 20–30 % деталей і робочих органів сільськогосподарських машин (табл. 1). Поломки деталей можуть виникати не тільки внаслідок великих ударних навантажень при роботі машин, але і від втрати міцності при зносі та корозії. Знос деталей в основному обумовлений абразивно-корозійно-механічним зношуванням.

Вирішення задачі підвищення зносостійкості і довговічності ріжучих елементів робочих органів сільськогосподарських машин шляхом їх зміцнення повинно базуватися на розроблених кількісних методах оцінки умов роботи.

У таблиці 1 наведений ряд типових деталей, що підлягають зміцненню та відновленню електроіскровим способом. Вони працюють в умовах, які в широких межах різняться по силовому та тепловому впливу на робочі поверхні, наявності контакту з твердими елементами, агресивними середовищами та інше. Ці умови визначають характерні види зношування поверхонь: абразивний, адгезійний, втомний, корозійний, ерозійний, водневий та ін.

Основою успішного універсального застосування ЕІЛ (табл. 1) є можливість варіювання електричними режимами, електродними матеріалами, тривалістю обробки [3]. У результаті забезпечується керування експлуатаційними властивостями покриттів, їх товщиною в межах від декількох мікрометрів до 1 мм і більше, а також можливість створення нового рельєфу поверхні підвищеної міцності і зносостійкості.

У роботі на базі теоретичного аналізу та практичного досвіду з урахуванням даних таблиці 1 пропонуються основні принципи обробки різних об'єктів, які прийняті у якості методологічної основи для електроіскрової зміцнюючої обробки. Наведена класифікація об'єктів застосування ЕІЛ створена з урахуванням широких технологічних можливостей цього методу та специфічних умов експлуатації робочих поверхонь різних деталей.

Згідно з дослідженнями, весь масив об'єктів, зносостійкість та загальний ресурс яких можна ефективно збільшити шляхом електроіскрової обробки, умовно поділено на три групи [6]. Тобто на об'єкти, робочі поверхні яких перебувають у контакті з металами, з неметалевими матеріалами та з рідинами або газами. Зазначені групи об'єднують об'єкти, що відрізняються умовами експлуатації. Проаналізуємо для кожної групи об'єктів основні принципи збільшення зносостійкості та ресурсу, які можуть бути основою для розробки електроіскрових технологій.

До поверхонь, що контактують з металами, належать: малонавантажені поверхні ковзання пар тертя різних механізмів і агрегатів; середньонавантажені поверхні нерухомих з'єднань; посадкові поверхні під підшипники кочення, вали, осі й корпусні деталі.

До факторів, що ініціюють знос таких поверхонь, належать: локальне силове навантаження, адгезійна взаємодія матеріалів пари тертя, наявність на поверхні контакту твердих елементів, наявність на поверхні контакту

Таблиця 1. Умови експлуатації та характер зносу деталей і робочих органів сільськогосподарських машин

№ з/п	Тип деталі	Умови експлуатації	Вид зношування. Причини виходу з ладу
1	Деталі ріжучих апаратів, шнеки, сегменти жаток	При переміщенні в рослинній масі, що вміщує абразив	Абразивне зношування. <i>Результат:</i> затуплення кромки, полочки при ударах, втомне руйнування
2	Деталі подрібнюючих барабанів	При подрібненні рослинної маси	Абразивне, корозійно-механічне. <i>Результат:</i> затуплення кромки, полочки при ударах, втомне руйнування
3	Поверхні деталей, що працюють в умовах нерухомих з'єднань: а) зовнішні (вал, вісь); б) внутрішні (корпус).	Багатоцикловий вплив малих та середніх тисків при мікропереміщеннях у контакті з іншими деталями	Зміна розмірів робочої поверхні, механічний, втомний та фреттинг-знос. <i>Результат:</i> зниження щільності контакту зі сполученою деталлю по периметру з'єднання
4	Деталі, поверхні яких працюють в умовах тертя ковзання: а) без змащування (сухе); б) зі змащуванням	Тертя ковзання при малих та середніх локальних тисках у контакті з іншими деталями	Стирання та збільшення зазору зі сполученою деталлю внаслідок зносу: а) – механічного, адгезійного, абразивного, втомного; б) – водневого
5	Деталі, поверхні яких працюють в умовах контакту: а) із потоком газу;	Контакт при нормальній або підвищеній температурі: – з потоком газу за наявності крапель рідини та твердих включень	Зміна форми та розмірів окремих робочих елементів внаслідок зношування: – ерозійного; корозійного; абразивного
	б) із рідиною;	– з різними рідинами	– корозійного (в т.ч. водневого), ерозійного; кавітаційного
	в) із твердим середовищем	– з сипучими та несипучими матеріалами	– абразивного

хімічно активних речовин, знакозмінне силове навантаження, силове навантаження, циклічні мікропереміщення, наявність на поверхні контакту твердих елементів.

Основні принципи підвищення зносостійкості цієї групи деталей: створення пар тертя з робочими поверхнями із хімічних елементів і сполук з мінімальною взаємною схильністю до зварювання; збільшення твердості поверхні; створення пар тертя з робочими поверхнями з хімічних елементів і сполук, пасивних по відношенню до речовин, що знаходяться в контакті створення у поверхневому шарі залишкових напружень стиснення; нанесення на робочу поверхню шару змазки або м'якого покриття; створення в поверхневому шарі залишкових напружень стиснення; оптимізація рельєфу робочої поверхні.

До поверхонь, що контактують з неметалевими матеріалами, належать: робочі поверхні деталей, що контактують з абразивним середовищем; робочі поверхні деталей та робочих органів сільськогосподарських машин, що контактують з неметалевими матеріалами (тертя, різання, тиск) [5; 6].

До факторів, що ініціюють знос таких поверхонь, належать: силове навантаження; відносне переміщення абразивної маси та робочої поверхні деталі або робочого органу; наявність на поверхні контакту твердих елементів; теплове навантаження; наявність на поверхні контакту хімічно активних речовин.

Основні принципи підвищення зносостійкості поверхонь, що контактують з неметалевими матеріалами: підвищення твердості поверхні; створення на робочих поверхнях шару з теплоізоляційними властивостями; створення на робочих поверхнях корозійно-стійкого шару.

Поверхні, що контактують з рідинами та газами: робочі поверхні деталей, що контактують з рідинами, в т.ч. агресивними; робочі поверхні деталей, що контактують з потоками газів, в т.ч. при високій температурі [2].

До факторів, що ініціюють знос таких поверхонь, належать: кавітаційна дія; вплив хімічно активних речовин; ерозійна дія вологи; теплове навантаження; абразивна дія твердих елементів.

Основні принципи підвищення зносостійкості поверхонь, що контактують з рідинами та газами: підвищення твердості поверхні; створення на робочих поверхнях корозійно-стійкого шару; збільшення твердості поверхні; створення на робочих поверхнях корозійно-стійкого шару; створення на робочій поверхні захисного шару з теплоізоляційними властивостями; збільшення твердості поверхні.

Стосовно об'єктів зі сталей і сплавів на основі заліза ми використовували леговані та інструментальні сталі (65Г, ШХ15, Р6М5 та ін.), тверді сплави типу ТК, ТТК, ВК, графіти, феросплави, чисті метали Al, Ni, Cr, Mo, Cu та ін., які успішно використовуються при зміцнювальній обробці поверхонь і відновленні розмірів зношених деталей. Їх вибір оснований на можливості отримання досить якісних покриттів з хорошими експлуатаційними характеристиками, доступності цих матеріалів. На практиці правильним підбором електродних матеріалів і їх композицій вдається не тільки поліпшити експлуатаційні властивості поверхні, але і забезпечити більш сприятливі умови її роботи в контакті з іншою деталлю.

Встановлено, що широка область застосування ЕІЛ забезпечується електричними режимами з енергією імпульсів від 0,05 до 8 Дж. [4]. Зазначений діапазон режимів дозволяє за звичайною технологією наносити

покриття товщиною до 1–1,5 мм (на найбільш виступаючих частинах). Видно, що вирішення різних завдань за допомогою електроіскрових покриттів вимагає застосування свого діапазону режимів.

Значення питомого часу електроіскрової обробки відповідають зазначеним електричним режимам [3]. Для м'яких режимів воно повинно бути не менше $3\text{хв}/\text{см}^2$, для жорстких – $0,1\text{–}0,2\text{хв}/\text{см}^2$.

Важливим елементом технології зміцнювальної або відновлювальної електроіскрової обробки є подальший вплив на оброблену поверхню. У ряді технологій така обробка не потрібна. У той же час, коли висуваються підвищені вимоги до обробленої поверхні щодо точності розміру, якості поверхні, напруженого стану, виконуються різні види додаткової обробки: шліфування, доведення алмазним інструментом, поверхнево-пластичне деформування (алмазне вигладжування, обкатка або розкатка, хонінгування, притирання по сполученій деталі, вторинна обробка ЕІЛ на більш м'якому електричному режимі або комбінація цих видів обробки).

Висновки. На закінчення зазначимо, що реалізація основних принципів підвищення зносостійкості та ресурсу є ефективною за умови пропорційності товщини зміцнювальних і захисних покриттів до величини критичного зносу об'єктів електроіскрової обробки. Збільшення ресурсу також досягається повторним нанесенням таких покриттів. Встановлено, що широка область застосування ЕІЛ забезпечується електричними режимами з енергією імпульсів від 0,05 до 8 Дж. Зазначений діапазон режимів дозволяє за звичайною технологією наносити покриття товщиною до 1–1,5 мм (на найбільш виступаючих частинах). Видно, що вирішення різних завдань за допомогою електроіскрових покриттів вимагає застосування свого діапазону режимів.

Значення питомого часу електроіскрової обробки відповідають зазначеним електричним режимам. Для м'яких режимів воно повинно бути не менше $3\text{хв}/\text{см}^2$, для жорстких – $0,1\text{–}0,2\text{хв}/\text{см}^2$.

Актуальним напрямом розвитку досліджень є поглиблене вивчення закономірностей формування структури та властивостей електроіскрових покриттів залежно від енергії імпульсу, складу електродного матеріалу та умов навантаження в експлуатації. Особливу увагу доцільно приділити створенню нових композиційних електродів і багатошарових покриттів із підвищеною стійкістю до абразивного, корозійного та втомного зношування. Важливим завданням залишається розроблення розрахункових моделей прогнозування довговічності зміцнених деталей і науково обґрунтованої оптимізації режимів електроіскрової обробки.

Список використаних джерел

1. Гапонова О. П., Охріменко В. О., Дегула А. І. Застосування методів електроіскрового легування для покращення якості поверхневих шарів металевих деталей: фактори та перспективи. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2025. № 108. С. 44–53. <https://doi.org/10.30977/bul.2219-5548.2025.108.0.44>
2. Гапонова О., Тарельник Н. Оцінка жаростійкості алюмінієвих покриттів на сталях, отриманих методом електроіскрового легування. *Технічні науки та технології*. 2024. № 2(36). С. 92–101. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-2\(36\)-92-101](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-2(36)-92-101)
3. Козак Ф. В., Прунько І. Б., Феденько В. Я., Гладун М. Р. Оптимізація процесу нанесення електроіскрових покриттів при зміцненні автомобільних деталей типу «вал». *Нафтогазова енергетика*. 2024. № 2(40). С. 66–72. [https://doi.org/10.31471/1993-9868-2023-2\(40\)-66-72](https://doi.org/10.31471/1993-9868-2023-2(40)-66-72)
4. Стороженко М. С., Уманський О. П., Шелудько В. Є., Губін Ю. В., Курінна Т. В. Розробка технологій і матеріалів для електроіскрового нанесення покриттів з метою підвищення терміну експлуатації і надійності деталей технологічного і енергетичного обладнання та інструментів. *Автоматичне зварювання*. 2020. № 10. С. 21–25. <https://doi.org/10.37434/as2020.10.04>
5. Шамрай В., Мікосянчик О., Лопата Л., Голембієвський Г., Горб Є. Композиційні матеріали для зносостійких покриттів деталей сільськогосподарських машин. *Проблеми тертя та зношування*. 2023. № 1(98). С. 4–13. [https://doi.org/10.18372/0370-2197.1\(98\).17356](https://doi.org/10.18372/0370-2197.1(98).17356)
6. Borak K. V., Kulykivskiy V. L., Borovskiy V. M., Rudenko V. H., Dobranskiy S. S. Increasing the wear resistance of the working bodies of tillage machines by electrical discharge machining. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2025. № 48. С. 149–160. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-3.19>

Fedirko P. P.

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Assistant at the Department of Technical Service and General Technical Subjects,
Higher educational institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskiy, Ukraine
E-mail: pavlo.fedirko@pdatu.edu.ua
ORCID: 0000-0002-3724-8937*

Duhanets V. I.

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Technical Service and General Technical Subjects,
Higher educational institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskiy, Ukraine
E-mail: duhanetsvi@pdatu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-2946-2850*

Olenyuk O. A.

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Technical Service and General Technical Subjects,
Higher educational institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: alexander olenyuk@pdatu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-1463-076X*

Bonchik V. S.

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Assistant at the Department of Technical Service and General Technical Subjects,
Higher educational institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: vitaliy-bonchik@ukr.net
ORCID: 0000-0001-9155-2465*

TECHNOLOGICAL FEATURES OF ELECTROSPARK HARDENING OF AGRICULTURAL MACHINERY PARTS

Abstract

Based on an analysis of operating conditions and the predominant wear patterns of a wide range of agricultural machinery parts, a classification of components strengthened and restored by the electrospark method is proposed, and the methodological and technological features of treatment aimed at increasing their wear resistance and service life are described.

The article considers a method for increasing the service life (durability) of the working elements of agricultural machines. Traditionally, working elements worn to the limit size are subject to restoration, while parts with critical wear are machined to the nearest repair size. A disadvantage of this technology is that an excessively large interval between repair sizes is allowed, which leads to a significant reduction in the service life of the working elements. Based on an analysis of operating conditions and the predominant wear patterns of a wide range of agricultural machinery parts, the authors propose a classification of objects strengthened by the electrospark method and describe the technological and methodological features of electrospark treatment to increase their wear resistance and service life.

The strengths and weaknesses of the electrospark alloying method, as well as its development prospects and associated risks, are also analyzed. Ways to increase the thickness of the formed coating on worn steel surfaces of automotive parts are identified. Experimental studies have established that the use of electrodes based on tungsten carbide and titanium carbide with the addition of components that form unlimited solid solutions with the surface material and act as fluxes makes it possible to form alloyed coatings with maximum thickness.

Key words: electrospark treatment, electrospark alloying, coating, parts, friction, wear, hardening, wear resistance, stress, microstructure, agricultural machinery, wear process, surface layer, microcracks.

References

1. Gaponova, O., Okhrimenko, V., & Degula, A. (2025). Zastosuvannya metodiv elektroiskrovoho lehuвання dlia pokrashchennia yakosti poverkhnevyykh shariv metalevykh detalei: factory ta perspektyvy [Application of electro-spark alloying methods for improving the quality of surface layers of metal parts: factors and prospects]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu – Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University*, 108, 44–53. <https://doi.org/10.30977/bul.2219-5548.2025.108.0.44> [in Ukrainian].
2. Haponova, O., & Tarelnik, N. (2024). Otsinka zharostiikosti aliuminiyevykh pokryttiv na staliakh, otrymanykh metodom elektroiskrovoho lehuвання [Evaluation of the heat resistance of aluminum coatings on steels produced by electrospark alloying]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical Sciences and Technologies*, 2(36), 92–101. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-2\(36\)-92-101](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-2(36)-92-101) [in Ukrainian].
3. Kozak, F. V., Prunko, I. B., Fedenko, V. Y., & Gladun, M. R. (2024). Optymizatsiia protsesu nanesennia elektroiskrovyykh pokryttiv pry zmitsnenni avtomobilnykh detalei typu "val" [Optimization of the process of application of electrospark coatings when strengthening automotive parts of the "shaft" type]. *Naftohazova enerhetyka – Oil and Gas Power Engineering*, 2(40), 66–72. [https://doi.org/10.31471/1993-9868-2023-2\(40\)-66-72](https://doi.org/10.31471/1993-9868-2023-2(40)-66-72) [in Ukrainian].
4. Storozhenko, M. S., Umansky, O. P., Sheludko, V. E., Gubin, Y. V., & Kurinna, T. V. (2020). Rozrobka tekhnologii i materialiv dlia elektroiskrovoho nanesennia pokryttiv z metoiu pidvyshchennia terminu ekspluatatsii i nadiinosti detalei tekhnolohichnoho i enerhetychnoho obladdnannia ta instrumentiv [Development of technologies and materials for electric spark coating with the aim of increasing service life and reliability of parts of technological and power equipment and tools]. *Avtomatychna zvariuvannia – Automatic Welding*, 10, 21–25. <https://doi.org/10.37434/as2020.10.04> [in Ukrainian].
5. Shamrai, V., Mikosianchyk, O., Lopata, L., Golembiyevskyy, G., & Horb, Y. (2023). Kompozytsiini materialy dlia znosostiikykh pokryttiv detalei silskohospodarskykh mashyn [Composite materials for wear-resistant coatings of agricultural machinery parts]. *Problemy tertia ta znoshuvannia – Problems of Friction and Wear*, 1(98), 4–13. [https://doi.org/10.18372/0370-2197.1\(98\).17356](https://doi.org/10.18372/0370-2197.1(98).17356) [in Ukrainian].
6. Borak, K. V., Kulykivskyy, V. L., Borovskyy, V. M., Rudenko, V. H., & Dobranskyi, S. S. (2025). Increasing the wear resistance of the working bodies of tillage machines by electrical discharge machining. *Podilskyi visnyk: silske gospodarstvo, tekhnika, ekonomika – Podilian Bulletin: agriculture, engineering, economics*, 48, 149–160. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-3.19> [in English].

