

Гончаренко О. О.,  
Ярошенко Б. М.  
Полтавський державний  
аграрний університет

**АНАЛІЗ МЕТОДІВ НАНЕСЕННЯ  
КЕРАМІЧНИХ ПОКРИТТІВ РІЗНИМИ  
СПОСОБАМИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ  
ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ТА  
ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ**

DOI: <https://doi.org/10.31359/2311-441X-2025-27-132>

УДК621.791.927

*Гончаренко О. О., Ярошенко Б.М. Аналіз методів нанесення керамічних покриттів різними способами для підвищення експлуатаційної стійкості та зносостійкості деталей*

**Анотація.** В статті обговорюються експериментальні дослідження нанесення керамічних покриттів різними методами і способами на компонент робочих органів сільськогосподарської техніки, двигунів автомобільної та автотракторної техніки. Крім того, було ретельно розглянуто кілька матеріалів керамічних покриттів та процесів їх нанесення, досліджено використання методів оптимізації керамічного покриття, а також дисперсійного аналізу.

**Ключові слова:** керамічні покриття, методи покриття, продуктивність двигуна, дисперсійний аналіз, оптимізація, газополуменеве напилення, відновлення, сільськогосподарська техніка, автомобільний транспорт, зносостійкість.

*Goncharenko O. O., Yaroshenko B. M. Analysis of methods for applying ceramic coatings in various ways to increase the operational stability and wear resistance of parts*

*The article discusses experimental studies of applying ceramic coatings by various methods and means to components of working bodies of agricultural machinery, engines of automobile and tractor machinery. In addition, several ceramic coating materials and their application processes were carefully considered, the use of ceramic coating optimization methods, as well as dispersion analysis were investigated.*

**Keywords:** ceramic coatings, coating methods, engine performance, dispersion analysis, optimization, flame spraying, restoration, agricultural machinery, automotive, wear resistance.

## **Вступ**

Відновлення деталей сільськогосподарської техніки та автомобілів методом нанесення керамічних покриттів має значні перспективи в умовах сучасної промисловості. Воно здатне забезпечити збільшення терміну служби деталей, високу стійкість до корозії, має економічні та екологічні переваги, а також адаптацію до нових технологій.

Газопорошкове напилення композиційних покриттів є сучасною технологією, яка активно використовуються в процесах відновлення деталей та механізмів. Вона має ряд переваг та специфічний вплив на різні типи деталей які обґрунтовують доцільність його застосування в різних галузях промисловості. Це перш за все:

- підвищена зносостійкість, кераміко-металеві покриття забезпечують високий рівень зносостійкості завдяки твердій керамічній матриці, що є корисним у тих випадках, де деталі піддаються абразивним або ударним навантаженням.

- стійкість до корозії, керамічні матеріали мають високу хімічну стійкість, що робить такі покриття ефективними в агресивних середовищах, де звичайні металеві покриття можуть швидко зношуватися.

- поліпшення термічних властивостей, кераміко-металеві покриття можуть витримувати високі температури, що дозволяє використовувати їх у високотемпературних застосуваннях, таких як газові турбіни або нафтогазове обладнання.

- знижене тертя, завдяки своїй структурі та властивостям, такі покриття можуть знижувати коефіцієнт тертя, що підвищує ефективність роботи механізмів і зменшує енергетичні витрати.

- гнучкість у проектуванні, процес газопорошкового наплавлення дозволяє створювати покриття з різними властивостями, що дає можливість адаптувати їх під специфічні вимоги для кожного конкретного випадку.

- екологічність, застосування газопорошкового методу часто є більш екологічним у порівнянні з традиційними методами наплавлення, оскільки може зменшувати викиди шкідливих сполук у атмосферу.

- висока адгезія, дані покриття, отримані за допомогою газопорошкового наплавлення, забезпечують відмінну адгезію до основи, що зменшує ризик відшарування або розтріскування покриттів під час експлуатації.

#### **Мета дослідження.**

У зв'язку з тим, що газопорошкове наплавлення за своєю суттю є симбіозом одного з видів наплавлення (газової) та одного з видів газотермічного напилення (газополуменевого) доцільно розглянути існуючі способи формування композитних покриттів цими двома технологічними методами нанесення покриттів.

#### **Матеріали і методи досліджень.**

При класифікації способів отримання кераміко-металевих покриттів їх можна умовно поділити на ті, що проводяться методом наплавлення (електродне наплавлення, газове наплавлення, аргонодугове наплавлення (TIG), наплавлення в середовищі захисних газів (MIG), плазмове наплавлення, наплавлення з застосування лазера, електрошлакове наплавлення, індукційне), та ті при яких матеріал у вигляді порошку чи дроту напилюється в полум'я горілки прискорюючись в соплі і з великою швидкістю наноситься на поверхню напилення: дугове (порошковими дротами, з подаванням порошку в зону горіння дуги), газополуменево(з використанням дроту, прутків, порошоків з гнучкого трубопроводу), плазмове (плазмове напилення з використанням холодної плазми Cold Spray, плазмове напилення Plasma Spray, плазмове електролітичне напилення Plasma Electrolytic Coating, плазмове напилення методом втулки Plasma Arc Spray, та інші), детонаційне (детонаційне напилення Detonation Spray Coating, детонаційне осадження Detonation Gun Coating, детонаційне термічне осадження Detonation Thermal Spraying)).

Дугове наплавлення. Найбільш простішим шляхом формування КП за допомогою дугового наплавлення є використання заздалегідь сформованих композиційних матеріалів (КМ) у вигляді електродів, дроту або стрічки. Широкий асортимент наплавних металокерамічних електродів випускає фірма Metko (США). У Швейцарії електроди такого типу застосовують для зносостійкого наплавлення деталей типу "шнек", що працюють в умовах абразивного зносу. Їх виготовляють методом порошкової металургії: спікають шихту, що складається із порошку сталі (55%) та порошку карбіду титану (45%). Електроди мають переріз 4×5 мм та довжину 150 мм [1]. Для наплавлення деталей металургійного обладнання широке застосування отримали електроди системи

$\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-Ni}$  [2]. Зазначені кермети мають такі співвідношення карбіду хрому і нікелю: ГК-10 - 90%  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  + 10%Ni; ГК-15 - 85%  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ +15%Ni. Структура їх має зерна карбіду хрому, що зцементовані твердим розчином з нікелевою зв'язкою. Композиційні електроди утворюються і при введенні керамічних дрібнодисперсних частинок в обмазку електродів [3].

Також існують наплавлювальні електроди марок ЭН-ИТС-01 (ТУ 48-19-362-82) та ЭН-ИТС-02 (ТУ 49-10-410-86). Вони складаються з сталевого стрижня діаметром 4 мм з легуючим покриттям, що містить тверді і тугоплавкі сполуки хрому. Твердість покриття при використанні даних електродів складає 57-62 HRC. Їх зносостійкість порівняно з наплавленням сормайт-1 або електродами Т-590, Т-620 у 1,3-2 рази вище [4].

Для виготовлення металокерамічних стрічок (методом прокатування з подальшим спіканням) можна використовувати композиційні порошки. Так заводи країни Грузії випускають цілу низку композиційних стрічок, що містять карбіди металів (ЭНЛ НАКХ-20, ЭНЛ НЖ КТ-40, ЭНЛ НЖКВ-20 та ін.). Товщина стрічок коливається від 0,9 до 4 мм, ширина 20-60 мм. Композиційні порошкові дроти виготовляють шляхом наповнення металевих оболонок із маловуглецевої сталі механічними сумішами або композиційними порошками. В якості структурних компонентів таких дротів можуть використовуватися також алюмінієві оболонки та зміцнюючі волокна [5].

Окремі компоненти композиційних матеріалів для нанесення КП можуть виконувати лише допоміжну роль зв'язки для решти функціональних компонентів покриття. Прикладом таких матеріалів є порошково-полімерні стрічки, а також матеріали типу "Конформа Клед" [7]. Загальною ознакою для цих матеріалів є те, що полімер у вигляді порошку (у першому випадку) або "сітки-тканини" (у другому випадку) є зв'язкою для металевих і керамічних частинок і при нанесенні покриття вигоряє.

Інститутом електрозварювання ім.С.О.Патона НАН України розроблено наплавний матеріал марки Нп-350Х1068Т2-ПП-0 на основі високохромистого чавуну, легованого карбідо- та карбоборидоутворюючими елементами. Він випускається у вигляді порошкового дроту. Наплавлення здійснюється закритою дугою. Тверді включення мають компактну форму розміром 6...60 мкм. Матриця сплаву, мікротвердістю 6500-8500 МПа містить велику кількість дрібнодисперсних (0,2...1,0 мкм) частинок карбоборидів хрому, ніобію та карбонітридів титану. Висока дисперсність та компактна форма частинок зносостійкої фази забезпечують підвищення зносостійкості у 1,8 – 2,5 рази.

Іншим напрямком використання дугового наплавлення для формування композиційних матеріалів покриттів (КМП) є впровадження порошкового керамічного наповнювача у металеву матрицю під час процесу наплавлення. Це може бути зроблено шляхом введення керамічних частинок у розплавлений метал покриття з використанням механічного тиску, газового потоку, сили тяжіння та інших методів.

У Болгарії було запропоновано метод наплавлення, який поєднує термомеханічну обробку шва та армування поверхні порошковими матеріалами. Цей процес полягає в тому, що на вальці металу, наплавленому механізованим способом (вібруючим або невібруючим), на певній відстані від дуги подається твердосплавна порошкова добавка. Далі наплавлений метал з частинками прокатується накатним роликком, що призводить до пластичної деформації й проникнення твердих часток на певну глибину. Після прокатування наплавлений шар металу підлягає загартуванню за допомогою охолоджувальної рідини. Цей метод дозволяє отримувати композиційні шари без розчинення твердих часток у металі, але не забезпечує рівномірності фізико-механічних

властивостей покриттів по товщині, оскільки основна маса твердих часток зосереджена на поверхні.

Для утворення композиційних покриттів можна подавати тугоплавку порошкову добавку до хвостової частини зварювальної ванни. Подача порошкової добавки у рідкий метал може здійснюватися під дією власної ваги, із застосуванням різних подаючих пристроїв або за допомогою транспортного газового потоку. Згідно з проведеними дослідженнями, найбільш перспективним є останній варіант. У композиційному наплавленому шарі метали основи й дроту утворюють сплав матриці, що містить керамічні частинки.

В ІЕЗ ім. Патона розроблена наплавлення по брикету, що є сумішшю необхідних порошоків з будь-яким клеєм, висушену і прокатану до потрібної товщини. Таким чином наплавляють КП, що складаються з твердих тугоплавких частинок, впроваджених у металеву пластичну матрицю. Спосіб має низку переваг - можна наплавляти криволінійні поверхні, так як брикетований порошок не обсипається з деталі, більш точно витримується товщина шару, що покращує формування валика, що наплавляється. Однак введення додаткових технологічних операцій з приготування брикетів та необхідність плакування тугоплавких частинок для їх захисту від розчинення в рідкому матричному металі при високих температурах електричної дуги, ускладнює застосування цього способу.

Англійськими науковцями розроблено спосіб дугового наплавлення під шаром флюсу, який наноситься на передуючий шар механічної суміші гранульованого металу та карбідних частинок, і має назву "фьюжбонд". Матрицю покриття при цьому створює зварювальний електродний дріт спільно з металом основи та гранульованим додатковим металом. Наповнювачем в даному випадку є карбіди металів (найчастіше карбід хрому). При наплавленні зварювальна головка коливається і за один прохід наноситься валик шириною приблизно 38 мм та товщиною 3,2 мм.

Для отримання КП *плазмовим наплавленням* можуть використовуватися композиційні дроти з необхідним поєднанням та об'ємним вмістом армуючих волокон. Волокнисті композиційні матеріали рекомендуються для застосування на заводах з виробництва та відновлення алюмінієвих поршнів дизельних двигунів та на машинобудівних підприємствах [5,6]. Зміцнення робочої поверхні канави поршня під верхнє компресійне кільце досягається внаслідок проплавлення плазмовою дугою відповідної зони деталі що ремонтується та введення в неї необхідного кількості (до 10...15%) легуючих елементів. При такій обробці основне значення для покращення властивостей зміцнюючої зони має утворення дисперсних інтерметалідних фаз, наприклад, алюмінію нікелю, та рівномірний розподіл їх у структурі. Зношування зміцненої зони зменшується в 3-4 рази, а опір циклічному ударному навантаженню виростає в 2-3 рази в порівнянні з застосовуваними порошковими алюмінієвими сплавами. Тривалі стендові та експлуатаційні випробування показали, що використання зміцнених поршнів дозволяє підвищити термін служби сполучення "верхнє компресійне кільце - канавка поршня" в 1,5 - 1,7 рази.

Для утворення кераміко-металевих покриттів широко використовується плазмове наплавлення по шару порошку [7,8].

При проведенні випробувань на абразивне зношування ("сухий пісок") плазмові покриття на основі заліза, кобальту або нікелю з добавками карбідів титану або вольфраму показали зносостійкість у 13 разів вище, ніж покриття без добавок.

Способом *індукційного наплавлення* проводиться армування поверхневого шару металеві деталі з порошкоподібної шахти, що складається з сполучної речовини і тугоплавких частинок другої фази: карбіди, композиційні порошки, литі кулі з твердих сплавів та ін.

При нагріванні струмами високої частоти відбувається розплавлення зв'язуючого компонента шахти і поверхневого шару деталі, а керамічний наповнюючий матеріал, що має більш високу температуру плавлення, не розплавляється і осідає на розплавлений шар. Таким чином, КП є сталеву матрицею з вплавленими в неї зернами тугоплавкого компонента. Найбільшого поширення індукційне наплавлення КП отримала при відновленні леміхів плугів та інших деталей ґрунтообробних органів сільськогосподарської техніки.

Випробуваннями на газообразивне зношування встановлено, що найбільшу стійкість мають КП (отримані індукційним наплавленням), що містять за обсягом не менше 40% наповнювача - реліту, сплавів типу ВК, ТК і т.д.

Індукційне нагрівання використовується для нанесення КП при відливці змінних елементів зношених деталей, наприклад, заготовок долота та леза лемеха плуга. Основу сплаву становить порошок типу сормайт (ПГ-С27 або ПГ-УС25), крім того, в твердосплавну композицію вводять 10% карбіду титану, що забезпечує підвищення зносостійкості на 30-35%.

Добре себе зарекомендувало, з погляду отримання КП, електрошлакове наплавлення. Електродні дроти, що подаються із заданою швидкістю в шлакову ванну, розплавляючись, створюють сплав-зв'язку, що утворює матрицю (основу) металу, що наплавляється. У процесі наплавлення дозовано подають зернистий наповнюючий матеріал (наприклад, реліт), який у шлаковій ванні поверхнево очищається, утворюючи зносостійкі КП (рис.1). В деяких випадках для активування процесу отримання КП застосовують магнітне поле. Електрошлакове наплавлення доцільно застосовувати для відновлення деталей ходової частини гусеничних тракторів (опорних катків та ін.).

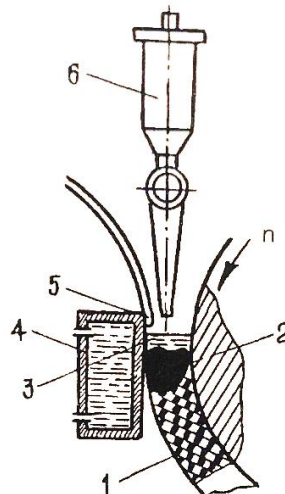


Рис. 1. Схема електрошлакового наплавлення композиційних покриттів: 1 – наплавлений метал, 2 – наплавлювальна ванна; 3- рідкий шлак; 4- кристалізатор; 5 - електродний дріт; 6- бункер з армуючим порошком

Газове наплавлення є одним із найпростіших та найефективніших методів отримання покриттів у ремонтному виробництві. Джерелом теплової енергії при цьому є - полум'я, що утворюється в результаті горіння суміші окислювач - горючий газ. В якості горючих газів в даному випадку застосовують: ацетилен ( $C_2H_2$ ), метан ( $CH_4$ ), пропан ( $C_3H_8$ ), бутан ( $C_4H_{10}$ ), водень ( $H_2$ ) та ін.

Найбільш висока температура полум'я досягається при використанні ацетилено-кисневих сумішей. Однак теплотворна здатність вища у пропану та бутану. Тому для наплення найчастіше застосовують ацетилен технічний (ДСТУ 5457-75) або пропан-

бутанову суміш (ДСТУ 20448-90). Роль присадного матеріалу при газовому наплавленні виконують дроти, прутки та порошкоподібні матеріали.

Існує спосіб з попереднім нанесенням порошку на поверхню деталі з подальшим оплавленням газовим полум'ям - наплавлення по шару порошку або напилюватися з наступним або одночасним оплавленням. Останній варіант газового наплавлення отримав назву газопорошкового наплавлення.

Газове наплавлення з присадкою прутків або дроту виконують вручну, головним чином, ацетиленовими пальниками різних типів та конструкцій.

Деталі невеликих розмірів наплавляють без попереднього підігріву, великогабаритні деталі підігрівають до 500-700°C. При цьому спосіб застосовують трубчасті наплавлювальні матеріали, що являють собою сталеві і ніхромові трубки, заповнені порошком, наприклад, карбідом вольфраму. У процесі наплавлення газокисневим полум'ям трубка розплавляється, а зносостійкий наповнювач занурюється в розплавлений метал, утворюючи високозносостійкий композиційний сплав.

Способи *газотермічного напилення* (плазмове, детонаційне, дугове, газополум'яне) можуть використовуватися для утворення матричних КП, що містять метал, кераміку, полімер, скло і т.д., а також отримання багатшарових покриттів із зазначених матеріалів.

Виходячи з аналізу літературних даних що до якості одержуваних КП, більш якісніші покриття отримуються плазмовим та детонаційним напиленням.

Детонаційне напилення забезпечує найвищі фізико-механічні властивості покриттів у порівнянні з іншими методами напилення. Основна роль у щепленні порошкоподібної композиції з відновлюваною деталлю належить ефекту високошвидкісного зіткнення, що знижує вимоги до технологічної підготовки поверхні, що напилюється, і її підігріву, тобто. спосіб і технологічно вигідний.

Для напилення використовуються як механічні суміші компонентів, так і композиційні порошки. Для отримання покриттів системи метал-карбід найчастіше використовуються суміші Ni-WC, CO-WC, ніхром - Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> та ін. Розроблені покриття знайшли застосування для відновлення деталей насосів, металургійного обладнання, зміцнення поршневих кілець двигунів і т.і.

Найбільш широко плазмове напилення використовується для отримання КП, що містять оксиди металів. Введення пластичного металевого компонента в оксидні покриття дозволяє покращити багато показників їх якості: пластичність, адгезійну та когезійну міцність, пористість та ін. Залежно від виду зношування, кількість пластичної фази може змінюватися від 15 до 40% від об'єму. Вищий вміст металу необхідно для умови сухого тертя, де важлива когезійна міцність покриття.

Плазмове напилення оксидно-металевих покриттів (Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) дозволяє досить ефективно підвищити надійність сполучення автотракторної техніки, наприклад, валу водяного насоса, посадкових місць у розжимних кулаках переднього гальма та ін.

Схожа технологія використовується для відновлення дисків сошників зернових сівалок шляхом нанесення керамічних та керметних порошків детонаційно-газовим напиленням, а також конструкцію детонаційно-газової установки для цих цілей. Порівняно із звичайними дисками зносостійкість напилених збільшилася в 5 – 10 разів. Покриття наносилося по периферії диска сошника з боку, зворотному заточуванню. У цьому випадку витримувалася умова самозаточування леза: м'якіша основа сошника (матеріал - сталь 65Г) зношувалась швидше покриття.

Отримання зносостійких покриттів методом дугового напилення можливе за рахунок застосування порошкових дротів (наприклад, кобальтова або нікелева оболонка та порошковий сердечник - карбіди вольфраму або хрому) або композиційних волокнистих дротів з нікелю та алюмінію. Цікавий спосіб отримання КП, при якому

металева матриця покриття утворюється за рахунок дугового розпилення дроту, а порошкові частинки другої фази вводяться в зону горіння електричної дуги. Для активування процесу дугового напилення газ, що розпилює, підігрівається, при цьому в 3 - 4 рази збільшується швидкість польоту частинок. КП, отримані активованим дуговим напиленням, мають дрібнозернисту структуру, низьку пористість, що не перебільшує 4%, високу міцність зчеплення з основним металом (до 3,5 кг/мм<sup>2</sup>) і рівнем залишкових напружень, величина яких вдвічі нижча, ніж при звичайному дуговому напиленні.

### Висновки

Найпростіший і найдоступніший спосіб напилення – газополуменевий. Однак, напилення тугоплавких керамічних частинок за існуючими технологіями має певні проблеми через недостатню температуру газового полум'я та низьку швидкість польоту частинок.

Для отримання КП матричного типу доцільно використовувати механічну суміш порошків з вмістом компонентів %: 15[(Al) - (Ni)] + 35 NiCrBSi + 50 карбіди. Застосовуються карбіди титану, хрому, цирконію, вольфраму. В якості обладнання використовуються пістолети Metko 2P або 6P з повітряним активатором. Деякі властивості покриттів: твердість HRN 80-83, міцність зчеплення на зсув 61,2 МПа, рекомендовані сфери застосування - захист від зносу, тепловий захист.

Кожен компонент механічної суміші виконує свою функцію: [Al-Ni] – забезпечує самозчеплення, NiCrBSi – матриця КП, карбіди – зносостійкі наповнювачі.

Найбільш сприятливі умови для нагріву, розплавлення і розпилення матеріалів, що напилюються, забезпечується при дротяному і прутковому газополуменевому напиленні, так як в цьому випадку можна розпорошити весь матеріал, розплавлений в полум'ї. При розпиленні порошків завжди існує ймовірність, що в полум'я вводиться більше матеріалу, ніж може розплавити. Однак, внаслідок складності виготовлення дротяних та пруткових матеріалів з керамічних порошків, застосування їх для газополуменевого напилення вкрай обмежене.

Оптимальним видом матеріалу для напилення механічних сумішей компонентів КП можна вважати гнучкий шнур. На жаль, поки відсутні серійні апарати для газополуменевого напилення з використанням гнучких шнурів.

Досліджений спосіб поетапного формування КП: газополуменеве нанесення підшару (металевого сплаву), нанесення шару органічного матеріалу (наприклад, суміші гліцерину і води), нанесення на цей клейкий шар частинок карбідів, випаровування органічної фази і вплавлення частинок карбідів атмосферою чи вакуумом.

### Список використаної літератури

1. Vulshinskaya, I., et al., Methods for improving the wear resistance of machine parts operating under conditions of abrasive wear. The scientific heritage, 2021(66-1): p. 39-41.
2. Peng, J., Z. Zhao, and D. Liu, Impact of agricultural mechanization on agricultural production, income, and mechanism: evidence from Hubei province, China. *Frontiers in Environmental Science*, 2022. 10: p. 838686.
3. Nihayat Hussein Ameen., Advances in corrosion and abrasive wear resistance of agricultural machinery. Agricultural machinery and equipment Department, College of Agriculture, University of Kirkuk, IRAQ. <https://doi.org.10.58928/ku25.16128>
4. Increasing the Wear Resistance of Restored Car Parts by Using Electrospark Coatings D.D. Marchenko\*, K.S. Matvyeyeva\* Mykolayiv National Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2023-107-1-65-72>
5. Skoblo, T. S., Sidashenko, A. I., Romanyuk, S. P., Goncharenko, A. A., Omel'chenko, L. V., & Bantkovskii, V. A. (2020). Specific Features of Structure Formation in the Course of

Modification of the Coatings on Products Made of Dispersion-Hardened Steels. *Materials Science*, 55(6).

6. Скобло, Т. С., Сідашенко, О. І., Власовец, В. М., Гончаренко, О. О., Марков, О. В. (2014). Вплив модифікування вуглець- та мідьвмісними добавками вторинної сировини при відновленні деталей електродуговим наплавленням. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*, (146), 227-231.

7. Скобло, Т. С., Мартиненко, О. Д., Бантковський, В. А., Гончаренко, О. О., Сайчук, О. В., Тіхонов, О. В., & Лисенко, С. В. (2019). Використання лазерних технологій для зміцнення та відновлення виробів зі сталей і сплавів. *Науковий журнал «Технічний сервіс агропромислового лісового та транспортного комплексів»*, (15), 142-162.

8. Saltzman G. A. Carbides add muscle to PTA antiwear coatings // *Metal progress*. 1986. v.129.S. 25-30.

### References

1. Vulshinskaya, I., et al., Methods for improving the wear resistance of machine parts operating under conditions of abrasive wear. *The scientific heritage*, 2021(66-1): p. 39-41.

2. Peng, J., Z. Zhao, and D. Liu, Impact of agricultural mechanization on agricultural production, income, and mechanism: evidence from Hubei province, China. *Frontiers in Environmental Science*, 2022. 10: p. 838686.

3. Nihayat Hussein Ameen., Advances in corrosion and abrasive wear resistance of agricultural machinery. *Agricultural machinery and equipment Department, College of Agriculture, University of Kirkuk, IRAQ*. <https://doi.org/10.58928/ku25.16128>

4. Increasing the Wear Resistance of Restored Car Parts by Using Electrospark Coatings D.D. Marchenko\*, K.S. Matvyeyeva\* *Mykolayiv National Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine*. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2023-107-1-65-72>

5. Skoblo, T. S., Sidashenko, A. I., Romanyuk, S. P., Goncharenko, A. A., Omel'chenko, L. V., & Bantkovskii, V. A. (2020). Specific Features of Structure Formation in the Course of Modification of the Coatings on Products Made of Dispersion-Hardened Steels. *Materials Science*, 55(6).

6. Skoblo, T. S., Sidashenko, O. I., Vlasovets, V. M., Honcharenko, O. O., Markov, O. V. (2014). The effect of modifying secondary raw materials with carbon and copper-containing additives during the restoration of parts by electric arc welding. *Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture*, (146), 227-231.

7. Skoblo, T. S., Martynenko, O. D., Bantkovsky, V. A., Goncharenko, O. O., Saychuk, O. V., Tikhonov, O. V., & Lysenko, S. V. (2019). The use of laser technologies for strengthening and restoration of steel and alloy products. *Scientific journal "Technical Service of Agro-Industrial Forestry and Transport Complexes"*, (15), 142-162.

8. Saltzman G. A. Carbides add muscle to PTA antiwear coatings // *Metal progress*. 1986. v.129.S. 25-30.