

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра машиновикористання та сервісу технологічних систем

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ПАВЛОВ ІВАН ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 621.793

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ВПЛИВ ПЛАЗМОВОГО ОПЛАВЛЕННЯ НА
ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ПОКРИТТІВ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ І.В. Павлов

Керівник роботи

Савченко В.М.

к.т.н., доцент

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Павлов Іван Васильович. Вплив плазмового оплавлення на зносостійкість покриттів. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

В магістерській роботі встановлено, що зносостійкість оплавлених плазмою покриттів Fe-Cr-C-Ti-Al у 2,5 рази вища, ніж у металізаційних покриттів до оплавлення та в 1,4 рази вище зносостійкості шару, виконаного аргонодуговим наплавленням з того ж порошкового дроту.

В роботі встановлено, що значні втрати маси зразків з металізаційним покриттям після випробувань пов'язані зі змішаним механізмом зносу, що характеризується механізмами дряпання та відшарування ділянок покриття з низькою міцністю когезійного зв'язку при потраплянні абразивних частинок в приграничні шари і пори покриття. Знижена зносостійкість наплавленого металу обумовлюється утворенням феритно-мартенситної структури, що має нижчу твердість у порівнянні з мартенситною структурою оплавленого покриття. За результатами експлуатаційних випробувань встановлено, що ресурс зміцнених за розробленою технологією лемешів при обробці суглинистих ґрунтів на 34 % вищий у порівнянні з серійним лемешем із сталі 65Г після об'ємного загартування. Встановлено, що кут загострення леза лемеша з оплавленим плазмою металізаційним покриттям зберігся після експлуатаційних випробувань, що вказує на наявність ефекту самозагострення.

Ключові слова: плуг, леміш, зміцнення, плазмове оплавлення, зносостійкість, твердість

ANNOTATION

Pavlov Ivan Vasilyevich. Influence of plasma melting on wear resistance of coatings. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

In the master's thesis it was found that the wear resistance of plasma-melted Fe-Cr-C-Ti-Al coatings is 2.5 times higher than that of metallization coatings before melting and 1.4 times higher than the wear resistance of a layer made of argon arc surfacing from the same powder wire.

It was found that significant weight loss of samples with metallization coating after testing is associated with a mixed wear mechanism, characterized by mechanisms of scratching and peeling of coating areas with low cohesive bond strength when abrasive particles enter the boundary layers and pores of the coating. Reduced wear resistance of the weld metal is due to the formation of ferritic-martensitic structure, which has a lower hardness compared to the martensitic structure of the molten coating. According to the results of operational tests, it was found that the resource of plowshares strengthened by the developed technology in the treatment of loamy soils is 34% higher in comparison with the serial plow made of 65G steel after volumetric hardening. It was found that the sharpening angle of the ploughshare blade with plasma-melted metallization coating was preserved after operational tests, which indicates the presence of a self-sharpening effect.

Keywords: plow, ploughshare, hardening, plasma melting, wear resistance, hardness

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. МЕТОДИ ЗАХИСТУ ВІД АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ.....	8
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКРИТТІВ ОПЛАВЛЕНИХ ПЛАЗМОЮ.....	20
РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ.....	31
ВИСНОВКИ.....	37
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	39

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Абразивний знос є одним з основних факторів, що обмежують ресурс роботи деталей, вузлів машин та обладнання різного призначення.

З метою підвищення абразивної зносостійкості застосовують різноманітні методи обробки робочої поверхні. Перспективним напрямом створення захисних покриттів є дугове напилення але металізаційне покриття швидко руйнується під впливом абразиву в результаті мікрорізання та відшарування його частинок з недостатньою когезійною міцністю.

Існує ряд способів зменшення чи усунення недоліків металізаційних покриттів. Найбільш привабливим з погляду техніко-економічних показників є подальша плазмова обробка.

Однак вплив плазмового поверхневого оплавлення на властивості напилених покриттів на основі заліза та процес поширення тепла в композиції «покриття – основа» не вивчені, що ускладнює застосування цієї технології..

До деталей схильних до інтенсивного зносу в процесі експлуатації, зокрема, відносяться робочі органи ґрунтообробних машин. На інтенсивність зношування таких знарядь впливають однорідність, вологість і щільність ґрунту, форма та швидкість руху робочих органів, а також матеріали з яких вони виготовлені.

Високі швидкості зношування лемешів та потреба в них сільськогосподарських підприємств, а також простота їх монтажу/демонтажу на плуг роблять їх ідеальним об'єктом для проведення натурних випробувань.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є вивчення впливу плазмового оплавлення на зміну абразивної зносостійкості покриттів системи Fe-C-Cr-Ti-Al, одержаних дуговою металізацією.

Для досягнення поставленої мети було визначено такі **завдання**:

2. Визначити закономірності впливу плазмової обробки на характеристики структури та їх зв'язок із фізико-механічними та експлуатаційними властивостями покриттів системи Fe-C-Cr-Ti-Al.

3. На основі отриманих даних розробити технологію плазмового оплавлення металізаційних покриттів на основі заліза для підвищення їх абразивної зносостійкості стосовно робочих органів ґрунтообробних машин і провести їх оцінку порівняно з альтернативами.

Об'єкт дослідження: лемеші корпусів плугів та технологія їх зміцнення за допомогою плазмового оплавлення металізаційних покриттів на основі заліза.

Предмет дослідження: закономірності абразивного зношування поверхонь зміцнених плазмовим оплавлення металізаційних покриттів на основі заліза.

Методи дослідження.. Дослідження проведені з використанням загальнонаукових методів пізнання, прикладної фізики та землеробської механіки. Обробку експериментальних даних виконували за допомогою методів математичної статистики. Експериментальні дослідження виконані за стандартними методиками, на верифікованому обладнанні і включали в себе: металографічний аналіз, скануючу електронну мікроскопію, рентгеноструктурний фазовий аналіз, фотоелектричний спектральний метод, вимірювання мікротвердості, механічні випробування. Натурні випробування зносостійкості металізаційних покриттів після плазмового оплавлення проведені на робочих органах ґрунтообробних машин.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Міненко С. В., Козир А. І., Сутковий О. В., Павлов І. В., Степанчук О. В. Матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих учених і науково-педагогічних працівників *«Сільськогосподарські, біологічні, економічні, загальноосвітні та технічні науки»*, 20 травня 2021 р. м. Умань. Умань : ВПЦ «Візаві», 2021. С. 177-180.

2. Савченко В. М., Степанчук О. В., **Павлов І. В.**, Сутковий О. В. Аналіз механізмів абразивного зношування. Збірник тез доповідей VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції *«Інноваційні технології в АПК»*, 20-21 травня 2021 р., м. Луцьк [Електронний ресурс]. Луцьк: Луцький НТУ, 2021. С. 104-106

3. Савченко В. М. Степанчук О. В., **Павлов І. В.** Аналіз Механізмів абразивного зношування та способів підвищення зносостійкості деталей, які працюють в умовах абразивного зношування. Збірник тез VII-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 31 березня 2021 року. Житомир : ЖАТК. С. 166-169.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблений спосіб зміцнення лемешів корпусів плуга плазмовим оплавленням металізаційних покриттів на основі заліза дозволяє суттєво підвищити їх зносостійкість і досягти рівності зношування.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 1у найменувань. Загальний обсяг роботи становить 40 сторінок комп'ютерного тексту, містить 4 таблиці і 19 рисунків.

РОЗДІЛ 1

МЕТОДИ ЗАХИСТУ ВІД АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ

Зношуванням називається процес відділення матеріалу з поверхні твердого тіла та (або) збільшення його залишкової деформації при терті, що проявляється у поступовій зміні розмірів та (або) форми тіла. Зношування робочих органів машин і механізмів може бути викликане впливом агресивних середовищ, великим перепадом температур і тисків, високими вібраційними навантаженнями та їх різними комбінаціями.

Механізм руйнування робочої поверхні контактуючих тіл залежить від природи взаємодіючих тіл та умов тертя. Розрізняють такі елементарні види руйнувань [1]: дряпання; мікрорізання; відшаровування; викришування (піттинг); глибинне виривання; перенесення матеріалу.

Залежно від умов роботи види зношування можна класифікувати за характером впливу на поверхню тертя наступним чином [2, 3]:

- механічне – абразивне, гідроабразивне, гідроерозійне, кавітаційне, втомне, при фреттингу, при заїданні;
- корозійно-механічне – окислювальне, корозійне розтріскування, при фреттинг-корозії;
- під впливом електричного струму.

У більшості вузлів та деталей машин реалізується механічне зношування робочої поверхні. З цим пов'язано різноманітність схем механічного навантаження, у яких відбувається експлуатація деталі.

Для багатьох типових умов роботи деталей машин найпоширенішим видом зношування є абразивне [1]. Абразивному зношуванню піддаються деталі сільськогосподарських, дорожньо-будівельних, гірських, транспортних машин і транспортуючих пристроїв, вузли шасі літаків, металорізальних верстатів, робочі колеса та направляючі апарати гідравлічних турбін, лопатки газових турбін, турбіни та насоси землеснарядів, бурильне обладнання нафти і т.п.

Абразивним називається зношування поверхні деталі під впливом ріжучої, деформуючої або дряпаючої дії твердих частинок, що володіють різною формою, розмірами та твердістю. В якості таких частинок можуть виступати пісок, електрокорунд, окалина або тверді структурні складові однієї зі спряжених поверхонь.

Руйнування поверхні може виникати внаслідок зняття стружки або багатоактної взаємодії поверхні деталі з абразивними частинками.

Умовам інтенсивного абразивного зношування відповідають робочі органи ґрунтообробних машин, оскільки в процесі експлуатації вони знаходяться у безпосередньому контакті з твердими частинками (HV 8–11 ГПа), що містяться у ґрунті. Найшвидше при оранці, культивуванні та інших видах обробітку ґрунту зношуються та затуплюються ріжучі частини робочих органів сільськогосподарських машин, такі як: лапи культиваторів, лемеша, ножі фрез, полиці, диски борін, польові дошки та ін. Це призводить до погіршення якості обробітку ґрунту, зниження продуктивності праці та збільшення витрати палива [4].

Зношування робочих органів ґрунтообробних машин характеризується незначною пластичною деформацією поверхневих шарів металу, хімічною взаємодією з різними елементами зовнішнього середовища (волога, гумус, кисень, вуглекислий газ), утворенням та руйнуванням плівок оксидів (вторинних структур), товщина яких становить 0,01–0,05 мкм [5].

Залежно від механічного складу ґрунту та його вологості робочі органи ґрунтообробних машин зношуються за товщиною, шириною, довжиною, затупляються, згинаються та ламаються [6]. Тиск ґрунту на леза робочих органів є динамічним і варіюється в діапазоні 3–16 $\text{кг}/\text{см}^2$ [7]. З підвищенням вологості ґрунту, його дрібних фракцій, діаметром 0,25–1,00 мм, величина зношування лемішних робочих органів збільшується.

В даний час серійні робочі органи для ґрунтообробних машин виготовляють із сталей 65Г, 45 та Л-53, які у загартованому стані мають

твердість (37–43 HRC) та мають задовільні показники відносного подовження ($\delta = 6,5\text{--}7,2\%$), але невелику межу міцності ($B = 880\text{--}1080$ МПа). Однак, застосовувані матеріали не забезпечують достатньої стійкості робочих органів ґрунтообробних машин, що говорить про актуальність застосування додаткової обробки або створення захисних покриттів здатних протистояти важким умовам експлуатації.

Найбільша швидкість зношування спостерігається на піщаних ґрунтах з великою кількістю кам'янистих включень. Як показують результати численних випробувань лемешів на довговічність в умовах пісків, від 15 до 50 % їх вибраковують від вигину та поломки носка, не досягнувши граничного стану зносу. Інтенсивність зношування на глинистих ґрунтах у 6–7 разів менша, ніж на піщаних та супіщаних. На чорноземних ґрунтах найбільш інтенсивно зношується ріжуча кромка леза лемеша. В результаті цього лезо затуплюється і набуває округлої форми [8]. Середнє напрацювання одного лемеша становить 5,5–6,0 га [9], якої вони досягають в середньому за 2–4 дні. Таким чином використання розроблених покриттів стосовно робочих органів ґрунтообробних машин дозволяє в короткі терміни застосувати їх ефективність на практиці.

Залежно від умов роботи деталей застосовують різні види сталей, як правило, високолегованих, що суттєво ускладнює технологічні процеси виготовлення та призводить до збільшення витрат на готовий виріб [11, 12].

Однією з найпоширеніших технологічних операцій є термічна обробка, і вона використовується для зміцнення деталей загалом. При цьому твердість металу можна отримати в межах 40–46 HRC для сталі 45 і до 58–65 HRC для сталі 65Г та легованих сталей. Але зносостійкість таких робочих органів нижча порівняно з аналогічними деталями, виготовленими зі спеціальних матеріалів. З іншого боку, на суглинистих ґрунтах немає самозаточування [13].

Сутність ефекту самозаточування полягає у вибіркового зносі неоднорідного за перерізом леза, при якому зберігається необхідна форма та ріжучі властивості робочого органу [1]. Реалізації ефекту самозаточування

сприяє двошарова будова робочого органу, несучого шару твердістю 37-42 HRC і твердого шару 52-60 HRC.

Знаряддя, що пройшли відповідну термообробку, мають високу зносостійкість при одночасній міцності на злам і скол та добре працюють в абразивних ґрунтах з кам'янистими компонентами. Так завдяки поверхневому загартуванню на глибину до 2 мм леміш має твердість у поверхневому шарі 55–60 HRC, що значно підвищує його зносостійкість.

У працях Ю.Д. Щіцина та Д.С. Белініна доведена висока ефективність плазмового поверхневого зміцнення на струмі зворотної полярності, за рахунок розширення оброблюваної зони та підвищеного тепловкладання при порівняно не високих значеннях потужності стиснутої дуги [5]. Однак технології плазмового поверхневого зміцнення не знайшли широкого застосування для зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин, так як високе тепловкладання призводить до значних деформацій.

З метою підвищення терміну служби та забезпечення ефекту самозаточування виготовляються біметалічні лемеші трапецієподібної форми з двошаровою катаною лезовою частиною зі сталі Х6Ф1 (нижній шар) та Л-53 (верхній шар) [6]. Такі органи мають підвищений термін служби, проте їх широке впровадження затрудняється у зв'язку з високою вартістю виготовлення.

Для зміцнення поверхні та підвищення ресурсу деталей використовуються різні методи нанесення зносостійких покриттів. Одним із найбільш високопродуктивних та ефективних способів отримання металевих покриттів є наплавлення. У процесі наплавлення поверхневий шар оброблюваної деталі, а також матеріал, що наплавляється під дією тепла зовнішнього джерела (дуга, газокисневе полум'я, лазерне випромінювання, плазма) розплавляється на деяку глибину. Розплавлені метали основи та покриття утворюють загальну рідку ванну, таким чином, з'єднання відбувається у рідкій фазі.

Рівень зносостійкості наплавочних матеріалів більшою мірою залежить від хімічного складу та твердості сплаву. Однак, не всі сплави, що мають високу

твердість, показують високу абразивну зносостійкість [7, 8]. Доведено, що зносостійкість залежить в першу чергу від структурних факторів отриманих сплавів, таких як: кристалічна структура твердого розчину, ступінь дисперсності та природа фаз, що утворюються. Тому з метою підвищення зміцнювальної здатності необхідно легувати наплавочні матеріали елементами, що забезпечують утворення дрібнодисперсних фаз і перешкоджають розміцненню твердого розчину. У таблиці 1.1 представлені основні наплавочні електроди, що використовуються для підвищення зносостійкості. Для зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин запропоновано велику кількість методів наплавлення: точкове наплавлення порошковим дротом [9]; плазмове наплавлення порошкових матеріалів на основі заліза та нікелю [2, 11]; спосіб індукційного наплавлення [2, 3].

Таблиця 1.1 – Хімічний склад електродів для зносостійкого наплавлення

№ п/п	Марка	Хімічний склад, %								Твердість, HRC
		C	Cr	Si	Mn	Ni	B	Mo	W	
1	ЦН-12М	0,1	16,3	4,1	4,0	7,9	-	5,7	-	47
2	ОЗН-6	1,0	4,4	3,7	2,6	-	0,9	-	-	48
3	ОЗШ-3	0,4	9,9	1,9	0,5	-	-	-	-	50
4	Т-590	3,2	25,0	2,2	1,2	-	1,0	-	-	57
5	ОЗИ-3	0,8	3,6	0,4	0,5	-	-	4,0	1,4	50
6	ОЗН-7М	0,7	4,1	1,4	0,4	2,0	0,5	-	-	51
7	ЭН-60М	0,8	2,7	1,0	0,9	-	-	0,9	-	53

Метод дугового наплавлення відрізняється простотою реалізації та низькою вартістю, але при цьому високе тепловкладання в основний матеріал може призвести до значних деформацій виробу.

Найбільшого поширення набули лемеша після гарту або з наплавленням зносостійким сплавом – Сормайт №1 (таблиця 1.2) [1]. Однак, багато дослідників продовжують пошук матеріалів та технологій, здатних за низьких витрат значно продовжити термін служби робочих органів ґрунтообробних машин.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад та твердість сплаву Сормайт №1

Вміст основних елементів, %						Твердість HRC
Fe	Cr	Mn	Ni	Si	C	
ост.	25,0-31,0	1,5	3,0-5,0	2,8-4,2	2,5-3,0	49-54

Особливе місце серед методів обробки поверхні займають методи газотермічного напилення (ГТН). Напилення є процесом нанесення покриття на поверхню деталі за допомогою високотемпературного швидкісного струменя, що містить частинки порошку або краплі розплавленого напилюваного матеріалу, що осаджуються на поверхні основного металу при ударному зіткненні з його поверхнею. Для забезпечення міцних міжатомних зв'язків між частинками, що контактують при формуванні покриття, необхідне їх нагрівання і розгін до високих швидкостей.

Методи ГТН характеризуються наступними перевагами:

- незначне нагрівання поверхні, що напилюється;
- висока продуктивність;
- одержують покриття завтовшки від 0,01 до 10 і більше мм;
- широкий діапазон складу покриття.

Для напилення можуть бути використані порошки молібдену, нікелю, сплави, що самофлюсуються, та їх суміші з порошками карбідів і оксидів з високою твердістю, керамічні матеріали включаючи оксид алюмінію та оксид хрому.

Існуючі технології ГТН, залежно від джерела теплової енергії, що застосовується, можна розділити на два основні види: газополум'яне напилення, при якому використовується теплота, що виділяється при згорянні вуглеводнів, і способи напилення, засновані на використанні теплоти, що виділяється при горінні дуги (дугова металізація і плазмове напилення) [5, 6].

Результати досліджень проведених М.А. Білоцерковським, М.А. Харламовим та Ю.С. Коробовим показали, що з погляду техніко-

економічних показників доцільним є метод дугової металізації (ДМ) (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 – Порівняння показників ефективності для методів ГТН

Метод напилення	Ефективний ККД нагріву, %	Продуктивність, кг/год	Відносна вартість
Газополуменеве (ГП)	10	7	3
Газополуменеве надзвукове (ГПС)	60	25	5
Плазмове (ПН)	12	5	5
Дугова металізація (ДМ)	85	16	1

При ДМ плавлення дротів здійснюється високоамперною дугою, що горить на її торцях. Для диспергування розплавленого металу використовують швидкісний потік стисненого газу. Теплота, що виділяється в активних плямах, практично повністю витрачається на плавлення електродного дроту (60-70%), а частина теплоти дуги, що залишилася поглинається навколишнім середовищем і потоком транспортуючого газу. Таким чином, ефективний ККД нагрівання при ДМ у 7–10 разів більший, ніж для інших способів ГТН, що зумовлює високу продуктивність (до 18 кг/год).

Обладнання для ДМ просте в обслуговуванні, а значить не вимагає залучення висококваліфікованого персоналу. Крім того, матеріали які використовуються при ДМ в 2-3 рази дешевше порошоків, що використовуються при інших способах напилення. Комбінація переваг ДМ у порівнянні з іншими методами напилення призводить до зниження витрат на одержання покриттів у 3-10 разів [3].

Застосування в якості розпилюваного матеріалу порошкових дротів (ПД) дозволяє в значних межах варіювати систему легування одержуваних покриттів шляхом додавання в шихту необхідних елементів, тим самим надаючи покриттям тих чи інші експлуатаційні характеристики [1]. Матеріал наповнювача порошкового дроту може бути різним [3]. Залежно від цілей того

чи іншого технологічного процесу як наповнювач можуть використовуватися: метали та їх сплави, рідкісноземельні метали, оксиди, бориди, карбіди і т.п.

Таблиця 1.3 – Хімічний склад деяких дротів для зносостійкого наплавлення

Марка	Хімічний склад, %							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P	Др.
Вуглецева								
Нп-45	0,45	0,5-0,8	0,25	0,25	>0,30	0,04	0,035	-
Нп-50	0,50	Теж						-
Нп-85	0,85	Теж						-
Легована								
Нп-65Г	0,65	0,9...1,2	0,25	0,3	0,3	0,035	0,035	-
Нп-30ХГСА	0,30	0,8...1,1	0,9.1,2	0,8...1,1	0,4	0,025	0,025	-
Нп-40Х2Г2М	0,40	1,8...2,3	0,4...0,7	1,8-2,3	0,4	0,035	0,035	0,8...1,2 Мо
Високолегована								
Нп-40Х13	0,40	0,8	0,8	10-13	0,6	0,03	0,03	0,2 Ti
Нп-45Х2В8Г	0,45	1,2	0,5	2,5	0,6	0,03	0,03	8,5 W 0,4 V 0,5 Ti

Великий внесок у розробку та впровадження електродугових покриттів із ПД зробили фахівці з Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України [3]. Покриття з розроблених ПД марки ФМІ системи Fe-Cr-V-Al широко застосовуються для відновлення та захисту від абразивного та газоабразивного зносу.

Для нанесення зносостійких покриттів широкого поширення набули економнолеговані ПД марки ППМ-6 та 8 системи легування Fe-C-Cr-Ti-Al.

Зносостійкість покриттів, напилених даним дротом, в 1,5-2 рази вище, ніж для покриттів із суцільного дроту феритно-мартенситного класу 20X13, що обумовлюється наявністю в отриманих покриттях аустенітно-мартенситної матриці з карбідним зміцненням [3].

Основними недоліками дугового напилення є небезпека перегріву і окислення матеріалу, що напилюється. Велика кількість теплоти, що виділяється

при горінні дуги, призводить до значного вигорання легуючих елементів, що входять до складу розпилюваного матеріалу і насичення його газами з атмосфери. Крім того, обладнання ДМ відрізняється широким кутом розпилу – до 70° та низьким коефіцієнтом використання матеріалу – 0,6.

Основною відмінною особливістю методів поверхневого зміцнення висококонцентрованими джерелами нагріву є можливість отримання швидкостей нагріву та охолодження матеріалів, що на кілька порядків перевищують значення, характерні для традиційних методів зміцнення (пічного гарту, гарту ТВЧ, газополум'яного гарту та ін), що сприяє отриманню зміцнених шарів з недосяжним раніше рівнем експлуатаційних властивостей.

Висококонцентровані джерела енергії (лазерний та електронний промені) мають значний ступінь локалізації теплового впливу на підкладку і забезпечують високі швидкості кристалізації розплавленого металу. Однак низький коефіцієнт перетворення енергії променя на теплову, складність і мала продуктивність процесу вимагають більш глибокого вивчення можливостей електронно-променевої обробки. Тому для обробки напилених покриттів найбільшого поширення в даний час набули методи лазерної обробки [4, 8].

Під час лазерної обробки енергетична ефективність перенесення енергії від сфокусованого променя до матеріалу, насамперед залежить від оптичних та теплофізичних властивостей оброблюваного матеріалу. Інші фактори, які також визначають ефективність лазерної обробки, так звані параметри лазерного променя, включають інтенсивність лазерного випромінювання, розподіл енергії променя, а також тривалість роботи.

Енергія фотонів лазерного променя поглинається вільними носіями у зоні провідності металевої матриці. Кінетична енергія електронів, що виникла в результаті взаємодії з фотоном, передається кристалічній решітці, викликаючи збільшення її внутрішньої енергії.

Під впливом лазерної обробки відбувається оплавлення покриття, що призводить до зниження пористості.

Для збільшення міцності зчеплення покриття з підкладкою при лазерній обробці температура межі «покриття – основа» повинна досягати температури плавлення підкладки. У разі зміцнення матеріалу покриття температура його поверхні доводиться до температури плавлення, а температура межі не повинна досягати температури плавлення підкладки [6].

Таким чином, використання лазерів для супутньої обробки напилених покриттів може бути вирішенням багатьох проблем: збільшення адгезії, створення корозійно- і зносостійких шарів на поверхні покриттів, зниження газопроникності шляхом заповнення поверхневої пористості. Проте досі широке впровадження лазерних процесів у виробництво стримується [6]. Основні причини цього – висока вартість обладнання та експлуатаційних витрат, відсутність висококваліфікованих робітників, здатних обслуговувати технологічні комплекси, низька надійність технологічних комплексів під час експлуатації, використання тільки для великосерійних виробництв, неможливість роботи в польових умовах.

На відміну від перерахованих вище процесів, технологія та обладнання для плазмової поверхневої обробки відрізняється простотою в експлуатації, низькою вартістю, високою продуктивністю, успішно розвивається останніми роками і знаходить все більшого застосування у різних галузях промисловості. Плазмові джерела нагріву мають наступні переваги [5, 6]:

- висока стабільність і стійкість стиснутої дуги;
- високий ефективний ККД нагріву (80 %);
- потужність (10²-10⁵ Вт) і щільність потужності (5 · 10²-10⁶ Вт/см²) можна порівняти з електронним та лазерним променями;
- гнучкість регулювання технологічних характеристик.

Незважаючи на всі переваги плазмового джерела нагріву над іншими висококонцентрованими джерелами, їх використання для подальшої обробки газотермічних покриттів досліджено тільки для сплавів, що самофлюсуються на основі Ni, так як вони мають низьку температуру плавлення (1420 °С), що

полегшує їх подальше оплавлення, при слабкому тепловому впливі на основу [8]. Однак такі сплави мають високу вартість, у зв'язку з чим актуальними стають завдання розробки технології та дослідження процесів плазмового подальшого оплавлення покриттів, отриманих методом дугової металізації з економнолегованих сплавів, температура плавлення яких відповідає металам групи заліза, близько 1800 °К.

Неоднорідності структури та хімічного складу газотермічних покриттів обумовлюють значну зміну теплофізичних характеристик покриття, що ускладнює теплообмін із підкладкою. Високий градієнт температур на межі покриття – підкладка може призвести до відшарування покриття. За даними [6], для підвищення міцності зчеплення покриття з основою, необхідно забезпечити оплавлення його поверхні. Таким чином, необхідно знати положення фронту плавлення композиції, залежно від параметрів режиму плазмової обробки. Рациональним методом визначення параметрів режиму в даному випадку є побудова математичної моделі розподілу температур у композиційному матеріалі від впливу концентрованого джерела нагріву.

Висновки по розділу

1. З метою продовження терміну служби деталей, схильних до інтенсивного абразивного зносу, за критерієм технологічності найкращим є застосування дугової металізації, з використанням в якості напилюваного матеріалу економнолегованих порошкових дротів системи Fe-C-Cr-Ti-Al. Однак, наявність пор і шаруватої структури покриттів призводить до зниження їхньої абразивної зносостійкості, а досить низька адгезія покриття в умовах експлуатації може призвести до відшарування.

2. Для підвищення фізико-механічних властивостей покриттів застосовують їхню подальшу обробку. Показано, що найбільш ефективною для підвищення зносостійкості є оплавлення висококонцентрованими джерелами

нагріву, найдешевшим і найтехнологічнішим серед яких є плазмова дуга. Однак, така обробка металізаційних покриттів на основі заліза стримується внаслідок відсутності технологічних рекомендацій стосовно обробки матеріалів з низькою теплопровідністю та високою температурою плавлення.

3. Робочі органи ґрунтообробних машин, такі як лемеша плугів, відповідають умовам інтенсивного абразивного зносу і характеризуються високою щорічною потребою в них сільськогосподарських підприємств, отже їх зручно застосувати як об'єкт практичних досліджень.

Метою роботи є вивчення впливу плазмового оплавлення на зміну абразивної зносостійкості покриттів системи Fe-C-Cr-Ti-Al, одержаних дуговою металізацією.

Для досягнення поставленої мети було визначено такі **завдання**:

2. Визначити закономірності впливу плазмової обробки на характеристики структури та їх зв'язок із фізико-механічними та експлуатаційними властивостями покриттів системи Fe-C-Cr-Ti-Al.

3. На основі отриманих даних розробити технологію плазмового оплавлення металізаційних покриттів на основі заліза для підвищення їх абразивної зносостійкості стосовно робочих органів ґрунтообробних машин і провести їх оцінку порівняно з альтернативами.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКРИТТІВ ОПЛАВЛЕНИХ ПЛАЗМОЮ

Для здійснення плазмового оплавлення металізаційних покриттів використана багатоцільова установка для плазмової обробки (рис. 2.1), що являє собою плазмовий пальник (рис. 2.2), встановлений на універсальному наплавному верстаті У-653, блок управління плазмотроном джерело живлення ВД-306Ф. Досліди проводилися на струмах прямої та зворотної полярності. При роботі плазмотрона на прямій полярності як катод використовували лантанований вольфрамовий пруток запресований в мідний водоохолоджуваний електродотримач (рис. 2.2, а), при роботі на зворотній полярності – мідний водоохолоджуваний анод з вольфрамовою вставкою (рис. 2.2 б). У плазмотроні використовується тангенційна система подачі плазмоутворюючого газу. Як захисний і плазмоутворювальний газ використовувався аргон. Параметри режиму плазмової обробки, вибрані за результатами розрахунків у побудованій моделі, наведено у табл. 2.1. Оплавлення всієї поверхні пластини, виконували шляхом послідовного формування локальних ділянок оплавлення з кроком 3,5–4 мм.

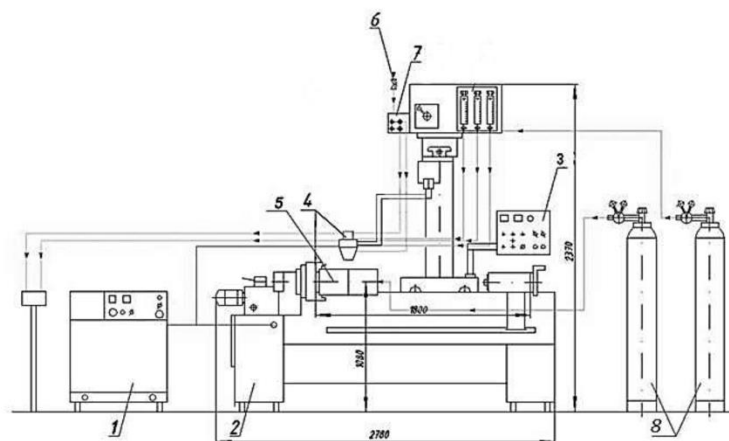


Рис. 2.1. Встановлення плазмового оплавлення покриттів: 1 – джерело живлення ВД-306Ф; 2 – верстат наплавлення У-653; 3 – пульт управління; 4 – плазмотрон; 5 – виріб; 6 – вентиль; 7 – розподільник води; 8 – балони з аргонем.

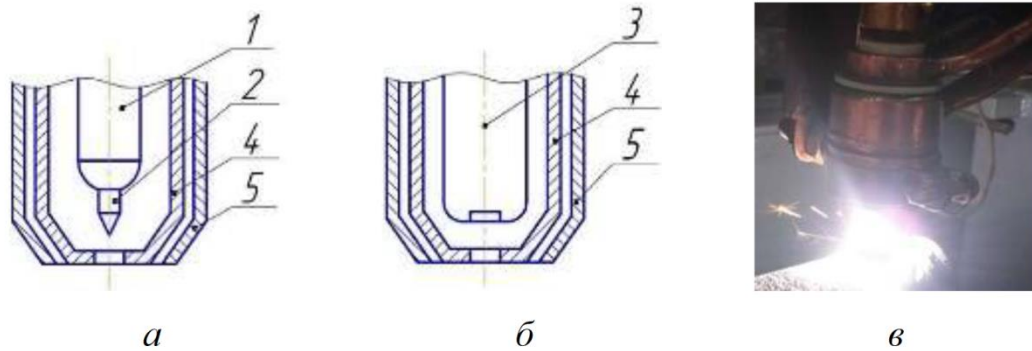


Рис. 2.2. Схеми плазмотронів: для роботи на прямій полярності – а; на зворотній полярності – б; плазмотрон у дії – в; 1 – мідний електродотримач; 2 – вольфрамовий електрод-катод; 3 – мідний електрод-анод із вольфрамовою вставкою; 4 – плазмоутворююче сопло; 5 – захисне сопло

Таблиця 2.1 – Параметри режиму плазмового оплавлення

Полярність	Погона енергія, МДж/м	Діаметр сопла, мм	Дистанція обробки, мм	Витрата плазموутворюючого газу, л/хв	Витрата захисного газу, л/хв
Пряма	0,67	4	6	2,5	4,5
Зворотна	0,61	4	6	3	4,5

Для порівняння властивостей покриттів після плазмового оплавлення з наплавленим металом виконали аргонодугове наплавлення ПП.

Наплавлення виконували у двох варіантах: 1 шар і для зменшення впливу перемішування з основним металом 3 шари. Режими наплавлення – ст.рум 170 А, напруга 34 В. Наплавлення шарів виконували безперервно, без охолодження шарів.

Металізаційне покриття має характерну для всіх видів напилення шарувату структуру і складається з сильно деформованих зерен – ламелів товщиною 5–10 мкм (рис. 2.3). Товщина покриття складає 1840 мкм. Видно, що покриття характеризується значною неоднорідністю структури, наявністю пір та несучільністю. Тріщин у покритті не виявлено. Кордон між покриттям і основою має характерний зигзагоподібний вигляд. У процесі напилення відбулося хороше

з'єднання з основою, про що говорить відсутність темного оксидного прошарку на межі покриття з основою.

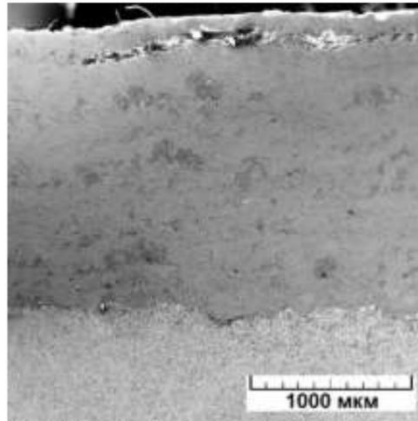


Рис. 2.3. Макрошліф напиленого АДМ покриття

Травленням виявлено декілька характерних кольорів та відтінків структурних складових (рис. 2.4). Покриття являє собою тонкі хвилеподібні прошарки білого, сірого і чорного кольору, що чергуються, різної величини і конфігурації. Також спостерігається включення досить великих частинок більш округлої та глобулярної форми. Крім того, присутні пори глобулярної та дископодібної форми. Ймовірно, ділянки темно-сірого та чорного кольору є оксидними прошарками. Слабкий вплив травника на білі структурні складові говорить про те, що це металева матриця з великим вмістом легуючих елементів. Ці металеві фрагменти є твердим розчином хрому в мартенситі. У найбільших частинках покриття спостерігається структура точкового характеру, схожа на відпущений мартенсит з включеннями дисперсних карбідів.

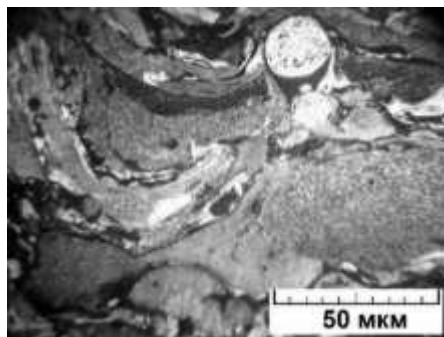


Рис. 2.4. Мікроструктура напиленого АДМ покриття

Плазмова обробка покриття виконувалася на струмах прямої та зворотної полярності. Незважаючи на високу теплову ефективність плазмової поверхневої

обробки струму зворотної полярності, її застосування для оплавлення металізаційного покриття дає негативні результати. При виконанні такої обробки спостерігається прив'язка катодної плями до локальних ділянок покриття, мабуть до включень тугоплавких елементів, що призводить до стягування металу розплавленого покриття в даній зоні і утворення кулястих ділянок переплавленого покриття.

При виконанні оплавлення на струмі прямої полярності спостерігається рівномірне плавлення покриття без локальних прив'язок уздовж зони обробки. Зона оплавлення, утворена в результаті одиничного проходу плазмотрона, нагадує наплавлений валик, що пояснюється дією поверхневого натягу на розплавлений метал. Макрошліф поперечного перерізу оплавленої зони (рис. 2.5) показує, що плазмове оплавлення призводить до ущільнення структури металу покриття за рахунок усунення неоднорідностей, при цьому периферійний метал стягується в центральну зону, утворюючи підрізи на поверхні напиленого покриття. Отримані геометричні параметри зони оплавлення корелюють з результатами розрахунків, при цьому різниця між розрахунковим та дослідним коефіцієнтом форми проплавлення складала не більше 20%. Такої точності розрахунків достатньо для оцінки області раціональних параметрів обробки.

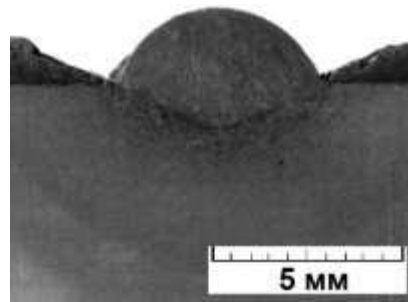


Рис. 2.5. Макрошліф локальної зони оплавлення

Плазмове обробка напиленого покриття з перекриттям локальних зон оплавлення призвела до його повного переплаву та усунення структурних неоднорідностей (рис. 2.6). Кожен наступний прохід приводив до оплавлення напиленого покриття металу попереднього проходу, при цьому формувалася рівна поверхня оплавленого покриття. Товщина переплавленого покриття

складає 2380 мкм. Отже, за зміною товщини покриття змішування з основою після плазмового оплавлення становить приблизно 40%.

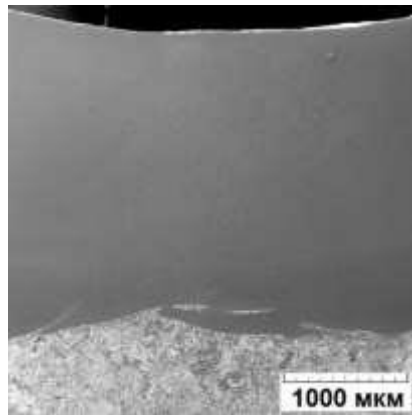


Рис. 2.6. Макрошліф металізаційного покриття після плазмового оплавлення

Оплавлене покриття має однорідну структуру, в якій на перший погляд, відсутні оксидні фази, у великій кількості, що були у вихідному напиленому покритті. Однак на знімку поперечного перерізу, нетравленого зразка, при збільшенні в 1000 разів видно чорні вкраплення круглої форми, розміром до 2 мкм (рис. 2.7, а), імовірно оксидів або порожнин. На знімку протруєного зразка видно, що дані включення та карбіди, розташовуються переважно за межами зерен (рис. 2.7, б).

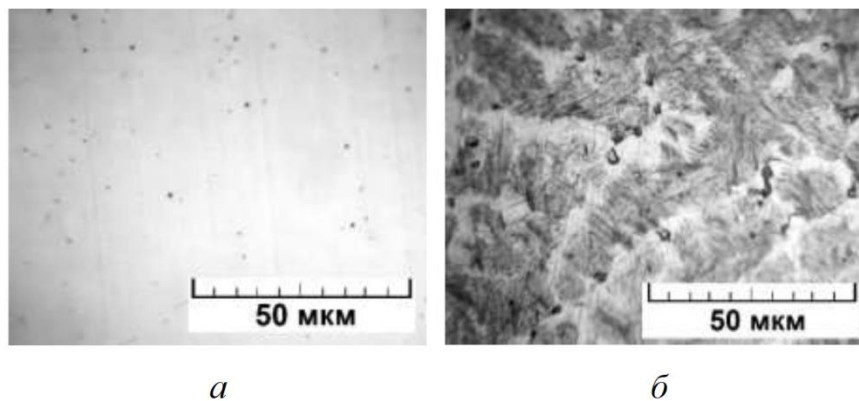


Рис. 2.7. Мікроструктура оплавленого покриття: до травлення – а; після травлення – б

Металографічне вивчення поперечних шліфів показало, що зона сплавлення та ЗТВ оплавленого покриття мають типовий для наплавлених шарів вигляд (рис. 2.8). У прилеглому до оплавленого покриття шарі основного металу

спостерігається тонка (50 мкм) зона знеуглецювання. ЗТВ складається з характерних ділянок та має феритно-перлітну структуру [9].

При великому збільшенні у всьому перерізі покриття спостерігається голчаста структура мартенситу. Структура переплавленого покриття має дендритну будову і складається з чотирьох основних характерних зон у порядку їхнього розташування від основного металу до поверхні оплавлення (рис. 2.8, а).

Зона 1. До основної сталі примикає тонка зона, товщиною 50-150 мкм, що складається з дрібних рівноосних зерен 8-9 балів. Така структура утворюється при великих ступенях переохолодження, внаслідок швидкого тепловідведення від розплавленого покриття в основу з великим коефіцієнтом теплопровідності.

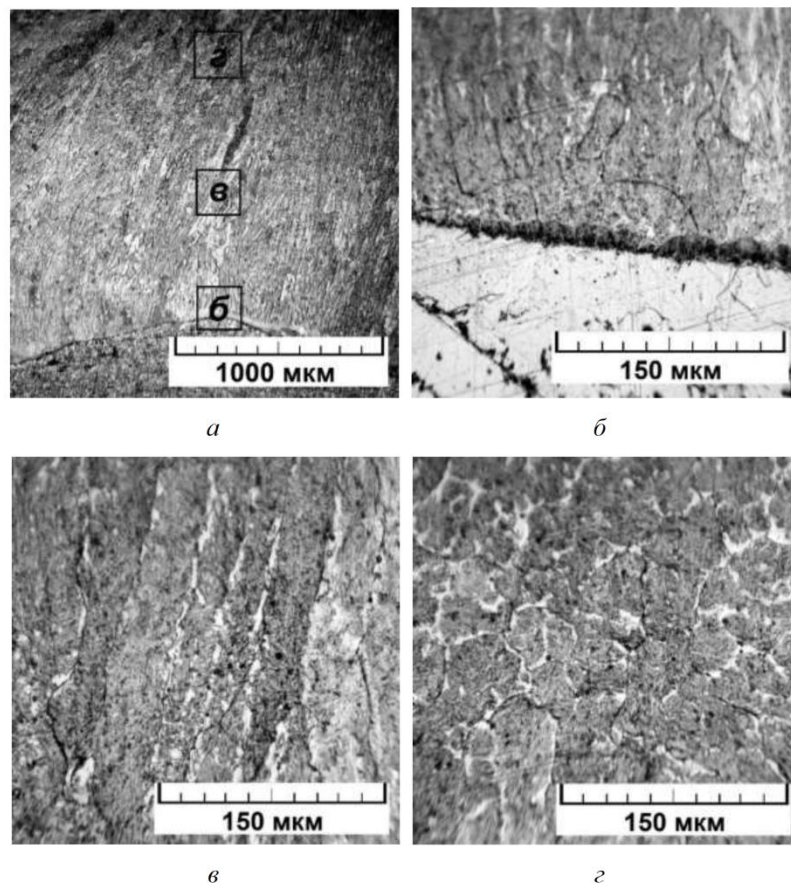


Рис. 2.8. Мікроструктура оплавленого покриття після травлення: а – загальний вигляд, б – зони 1 і 2, в – зона 3, г – зона 4

Зона 2. До 1-ої зони примикає тонкий шар, до 50–100 мкм, рівноосних зерен трохи більш крупнозернистого (6-7 балів) металу. 1 і 2 шари структурою являють собою пакетний мартенсит, характерний за морфологією для мало- і

середньовуглецевих сталей із вмістом вуглецю до 0,5–0,6 % [11], що містить виділення дисперсних карбідів. Таку будову цієї зони можна пояснити зниженням швидкостей охолодження при наближенні до центру переплавленого шару. Внаслідок малої товщини 1 і 2-ої зон їх будова показано рис. 2.8, б.

Зона 3. 1 і 2-га зони рівноосних зерен переходять у основний шар витягнутих стовпчастих зерен (дендритів), довжиною 300–500 мкм і шириною 30–60 мкм, орієнтованих переважно у бік максимального тепловідведення, тобто перпендикулярно поверхні розділу переплавленого і основного металу (рис. 2.8, в). Товщина цієї зони становить 1500–2000 мкм. Структура зерен є пакетним мартенситом однієї – двох орієнтувань, оточений тонкою оболонкою карбідної евтектики.

Зона 4. Верхня частина переплавленого покриття (рисунок 2.8, г), товщиною до 500 мкм, складається з рівноосних зерен розміром 20–50 мкм, що складаються з мартенситу з виділенням дисперсних карбідів. Ця зона утворюється в результаті рівномірного тепловідведення на поверхні оплавленого шару при прогріванні покриття.

За результатами мікрохімічного аналізу видно, що всі хімічні елементи по товщині напиленого покриття розподілені нерівномірно (рис. 2.9), що свідчить про складний фазовий склад покриття. На підставі наведених даних можна стверджувати, що основною фазою покриття є твердий розчин легуючих елементів на основі Fe, в якому нерівномірно розподілені оксиди переважно типу $(Al, Ti)_2O_3$, про що свідчить підвищення концентрації Al та Ti у місцях підвищеного вмісту кисню. У підкладці поблизу покриття спостерігається підвищений вміст кисню і алюмінію, що свідчить про активну дифузії даних елементів з покриття в підкладку.

На графіку розподілу елементів покриття після плазмового оплавлення (рис. 2.10) видно, що всі хімічні елементи по товщині покриття розподілені практично рівномірно, що свідчить про те, що основною фазою покриття є твердий розчин легуючих елементів, головним чином, хрому в залізі. Слід

зазначити, що у покритті після оплавлення відсутні O, Al і Ti. Мікрохімічний аналіз темних включень, виявлених у покритті після оплавлення показав повну відповідність концентрації легуючих елементів з основним металом покриття, що говорить про те, що це мікропорожнечі.

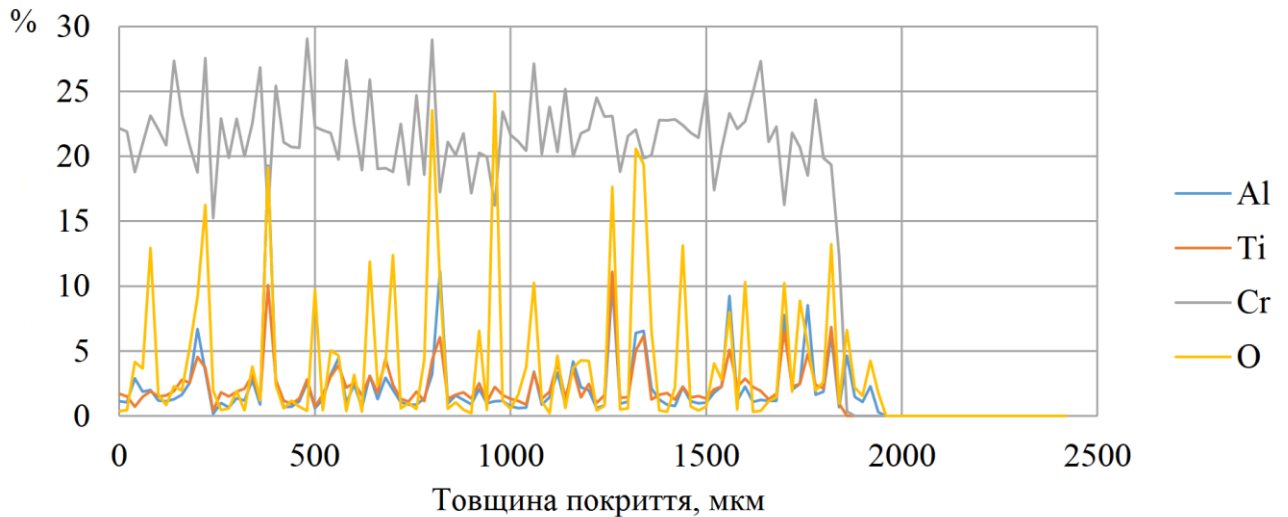


Рис. 2.9. Розподіл хімічних елементів за товщиною напиленого АДМ покриття

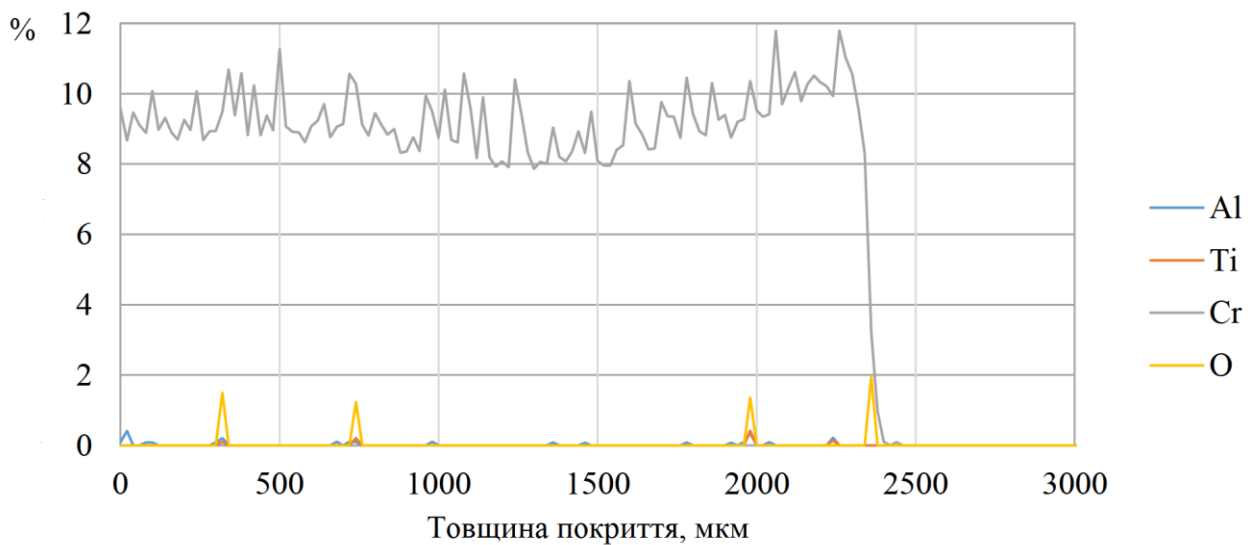


Рис. 2.10. Розподіл хімічних елементів за товщиною напиленого АДМ покриття після плазмового оплавлення

Вихідне покриття, отримане методом АДМ, характеризується значною нерівномірністю розподілу мікротвердості за товщиною покриття, що свідчить

про наявність пор, несучільностей, структурних та фазових неоднорідностей (рис. 2.11). Значення мікротвердості змінюються від 200 до 650 HV_{0,3}.

Плазмова обробка покриття призвела до його переплавлення та суттєвої зміни структури та мікротвердості (рис. 2.11).

Мікротвердість покриття значно зросла до 800 HV_{0,3}. При цьому відзначається її більш рівномірний розподіл за товщиною покриття, що обумовлено однорідною структурою покриття, відсутністю оксидних прошарків, пористості та несучільностей, а також рівномірним розподілом хімічних елементів у покритті з утворенням зміцнювальних дисперсних фаз.

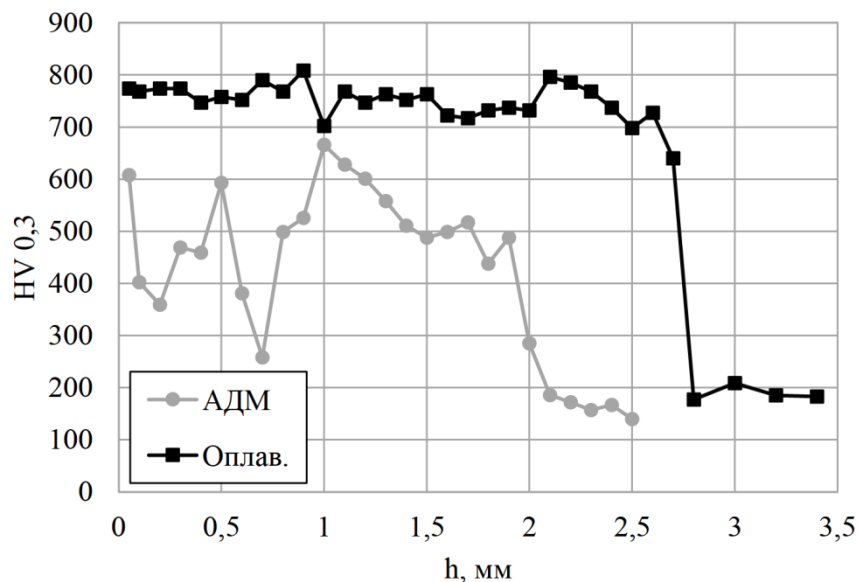


Рис. 2.11. Зміна мікротвердості за товщиною покриття у вихідному та оплавленому стані, при навантаженні на індентор 300 гс.

За результатами визначення втрат маси зразків після випробувань зносостійкості за закріпленим абразивом (рис. 2.12) найбільшу зносостійкість має покриття після плазмового оплавлення (0,1444 г), а найменшу – вихідне металізаційне покриття (0,3738 г), при цьому зносостійкість оплавленого покриття на 85% вище зносостійкості одношарового наплавлення (0,2660 г) і в 2 рази вище зносостійкості тришарового наплавлення (0,3132 г).

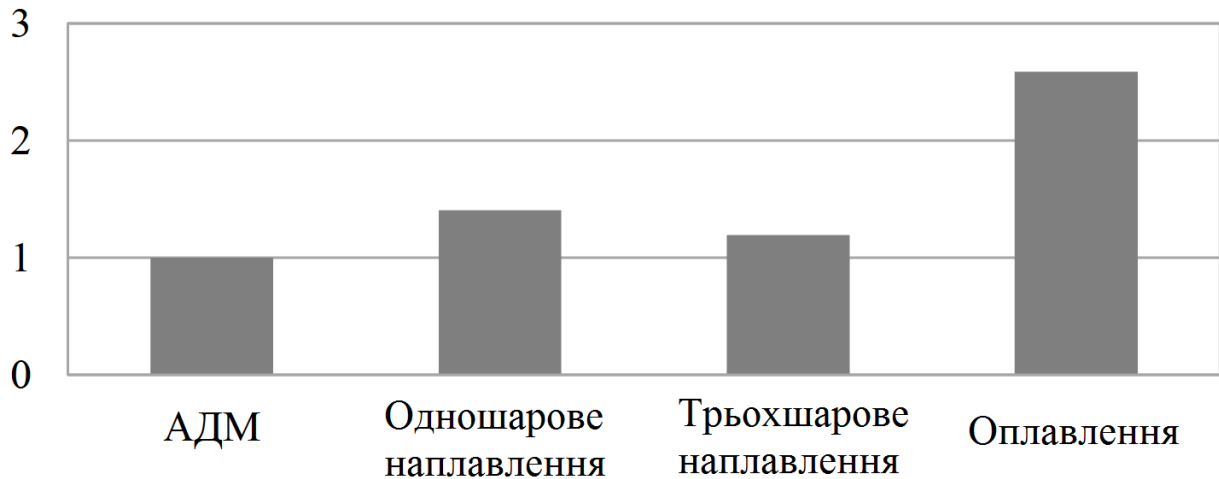


Рис. 2.12. Відносна зносостійкість різних видів покриттів при зношуванні по закріпленому абразиві

В умовах абразивного зносу висока зносостійкість більш однорідних оплавлених покриттів з рівномірним розподілом дисперсних зміцнювальних фаз у порівнянні з металізаційними покриттями до оплавлення може бути пов'язана з прискореним мікрорізнанням останніх при попаданні абразивних частинок відносно м'які приграничні шари і пори.

У той же час, при одношаровому наплавленні утворюється феритно-мартенситна структура з виділенням карбідів хрому і титану по межах зерен, що зумовлює зниження твердості та зносостійкості покриття.

Висновки по розділу

Встановлено, що оплавлене покриття складається з чотирьох основних характерних зон, що розташовуються від основного металу до поверхні оплавлення. Зона, що примикає до основни сталі, товщиною 50-150 мкм, складається з дрібних рівноосних зерен 8-9 бала, над нею розташовується зона товщиною до 50-100 мкм більших рівноосних зерен 6-7 бала пакетного мартенситу, що містить виділення дисперсних карбідів.

Зазначені зони переходять в основний шар товщиною 1500-2000 мкм дендритних зерен, довжиною 300-500 мкм і шириною 30-60 мкм, що складаються з пакетного мартенситу, оточеного тонкою оболонкою карбідної евтектики і верхньої частини переплавленого покриття, товщиною зерен розміром 20-50 мкм. Будова зазначених зон пояснюється особливостями тепловідведення від розплавленого покриття основою з великим коефіцієнтом теплопровідності.

Показано, що утворення щільної структури дрібнодисперсного мартенситу з карбідним зміцненням та рівномірний розподіл легуючих елементів при оплавленні покриття системи Fe-Cr-C-Ti-Al призводить до підвищення його мікротвердості в 1,5 рази порівняно з металізаційним покриттям до оплавлення, що має неоднорідну структуру мартенситу. Знижена мікротвердість наплавлених шарів обумовлюється утворенням пористої феритно-мартенситної структури, що утворилася за рахунок збіднення вуглецем металевої матриці, при утворенні великої кількості карбідних фаз.

Зносостійкість оплавлених покриттів у 2,5 рази вища, ніж у металізаційних покриттів до оплавлення та в 1,4 рази вища за зносостійкість наплавлених шарів. Ймовірно, це пов'язано зі змішаним механізмом зносу металізаційного покриття, що характеризується механізмами дряпання та відшарування ділянок покриття з низькою міцністю когезійної міцності при потраплянні абразивних частинок в приграничні шари і пори покриття. Значний знос наплавленого металу ймовірно пов'язаний з утворенням феритно-мартенситної структури, що має низьку твердість.

РОЗДІЛ 3

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

На основі отриманих результатів розробляли технологічні основи плазмового оплавлення металізаційних покриттів для підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин. Для підтвердження експериментальних даних із зносостійкості оплавлених плазмою металізаційних покриттів проведено порівняльні експлуатаційні випробування лемешів, зміцнених за запропонованою технологією.

В якості робочих органів ґрунтообробних машин для зміцнення були обрані лемеші РЗЗ П.702Б із сталі 65Г (рис. 3.1) плуга чотирьохкорпусного навісного ПЛН-4-35 (рис. 4.2). Вибір обумовлений масовим використанням робочого органу.

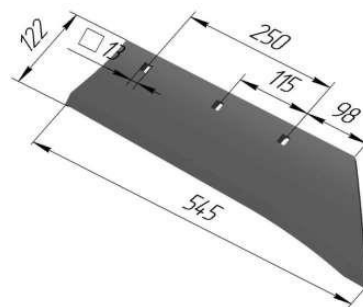


Рис. 3.1. Леміш плуга

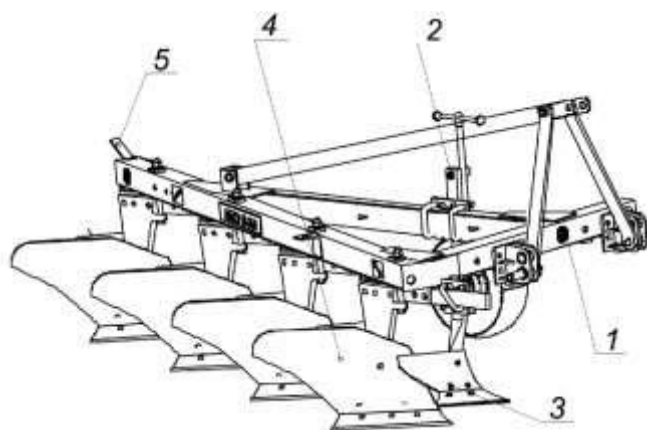


Рис. 3.2. Плуг чотирьох корпусний навісний ПЛН-4-35: 1 – рама; 2 – механізм колеса; 3 – передплужник; 4 – корпус.

Плуг призначений для оранки на глибину до 30 см під зернові та технічні культури різних ґрунтів, не засмічених камінням, плитняком та іншими перешкодами, з питомим опором до 0,09 МПа та твердістю до 3,0 МПа.

Для виконання основної технологічної операції – підрізання, обороту та кришення пласта призначений корпус плуга. Корпус (рис. 3.3) складається з башмака, стійки, грудей відвалу, крила відвалу, польової дошки та лемеша.

До стійки корпусу кріпиться башмак, на якому встановлюється леміш, груди відвалу, крило відвалу, польова дошка. Польова дошка сприймає бічне зусилля, що діє корпус плуга в горизонтальній площині, тим самим усуває розворот його і покращує стійкість ходу по ширині захоплення.

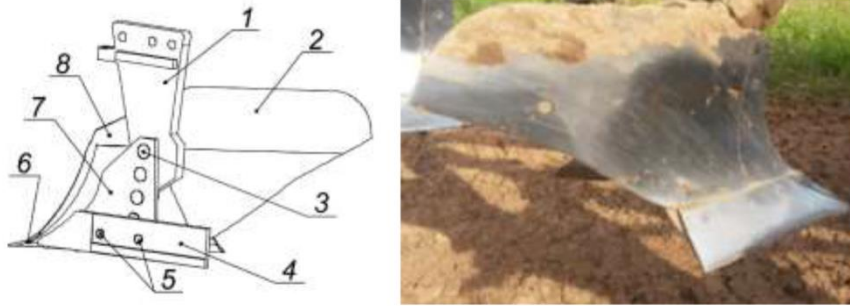


Рис. 3.3 Корпус: 1 – стійка; 2 – крило відвалу; 3 – болт; 4 – дошка польова; 5 – болт із шайбою та гайкою; 6 – леміш; 7 – башмак; 8 – груди відвалу.

Робочі органи ґрунтообробних машин (лемішні плуги та їх елементи: лемеша, груди та крило відвалу тощо) працюють в умовах абразивного зносу, ударних навантажень та впливу агресивного середовища. Їхнє зміцнення полягає у збільшенні зносостійкості функціональних робочих поверхонь. Розроблений технологічний процес зміцнення кромки леза лемеша РЗЗ П.702Б плуга чотирикорпусного навісного ПЛН-4-35.

Виконання робіт та виготовлення оснастки, необхідної для нанесення металізаційних покриттів здійснювалося спільно із Житомирський ремонтно-механічний завод. Леміш з нанесеним металізаційним покриттям (рис. 3.4) оплавляли плазмою на універсальній установці для обробки плазми.



a



б

Рис. 3.4. Напилений леміш: до – *a*; після плазмового оплавлення – *б*.

Експлуатаційним випробуванням піддавалися дослідні (зміцнені за розробленою технологією) та серійні лемеші плужного корпусу зі сталі 65Г, зміцнені за двома технологіями: загартування та СВЧ наплавлення зносостійкого сплаву Сормайт №1.

Дослідні та серійні лемеші встановили на плуг чотирикорпусний навісний ПЛН-4-35 (рис. 3.5) та агрегувалися з трактором (150 к.с.). Кожен плуг оснащувався повним комплектом дослідних чи серійних лемешів. Така схема забезпечує максимальну точність результатів, за необхідності їх порівняння, оскільки навантаження на лемеша корпусів зменшується від першого до останнього.

Випробування проводили на полях Житомирської області. Показники умов випробувань визначали згідно з ДСТУ. Обробляли середньо суглинкові ґрунти при глибині обробітку 25 см. Вологість ґрунту за період випробувань варіювалася за період випробувань у діапазоні 15–30 %.

Середньодобова температура повітря 16 °С. Швидкість руху агрегату становила в середньому 7-9 км/год.



Рис. 3.5. Плуг з встановленими дослідними лемешами.

Експлуатаційні випробування показали, що ресурс серійного лемеша, підданого об'ємному загартуванню, при оранці середньосуглинкових ґрунтів становить до 8–9 га, після чого настає граничне масовий знос. Втрати маси одного дослідного лемеша при напрацюванні 9,2 га склали 618 г, тоді як втрати маси серійного, загартованого лемеша, при тому ж напрацюванні, склали 919,5 г, а для лемеша з СВЧ наплавленням зносостійкого сплаву Сормайт – 823 г. дослідного лемеша склала 11,5 га. Таким чином, плазмове оплавлення напиленого на леміш металізаційного покриття системи Fe-C-Cr-Ti-Al дозволяє підвищити його ресурс на 34%, тоді як СВЧ наплавлення сормайту лише на 12% (рис. 3.6).

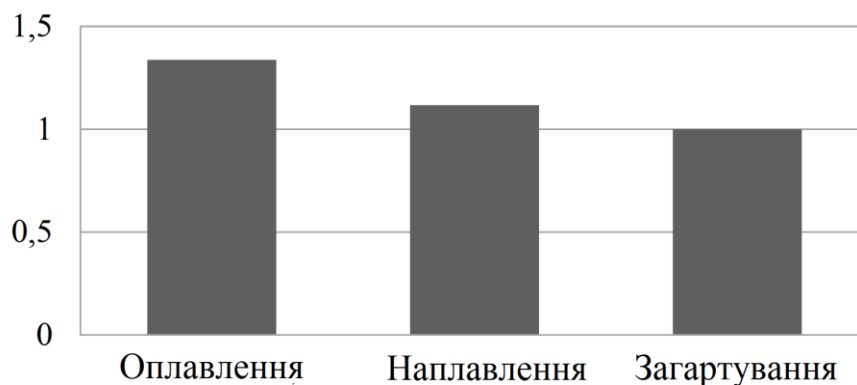


Рис. 3.6. Відносна зносостійкість лемішів

При об'ємному загартуванні серійного лемеша зі сталі 65Г досягається твердість металу до 50 HRC. Але зносостійкість таких робочих органів нижча,

порівняно з аналогічними деталями, виготовленими за розробленою технологією через те, що на суглинкових ґрунтах не відбувається їх самозагострення. Так, після проведення експлуатаційних випробувань встановлено, що кут загострювання леза серійного лемеша становить $30\text{--}33^\circ$ (рис. 3.7, а, б), а у лемеша з оплавленим плазмою металізаційним покриттям – $23\text{--}25^\circ$ (рис. 3.7, в, г), при початковому куті загострення $22\text{--}25^\circ$.

*а**б**в**г*

Рис. 3.7. Кут загострення лезової частини лемешів за результатами експлуатаційних випробувань: *а, б* – внутрішня та зовнішня поверхня серійного лемеша відповідно; *в, г* – внутрішня та зовнішня поверхня дослідного лемеша відповідно

Експлуатаційні випробування зміцнених лемешів плуга чотирикорпусного навісного ПЛН-4-35 з оплавленим плазмою металізаційним покриттям, підтвердили результати лабораторних випробувань та довели переваги розробленої технології підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин.

Висновки по розділу

1. Розроблено технологічний процес зміцнення ріжучої кромки леза лемеша плуга шляхом плазмового опалвлення економнолегованих металізаційних покриттів із ПП системи Fe-Cr-C-Ti-Al.

2. Зміцнені за розробленою технологією лемеша плуга пройшли успішні випробування у підприємствах Житомирської області.

3. За результатами експлуатаційних випробувань встановлено, що ресурс зміцнених за розробленою технологією лемешів при обробці суглинистих ґрунтів на 34 % вище у порівнянні з серійним лемешем із сталі 65Г після об'ємного загартування, та на 12 % у порівнянні з лемешем після СВЧ наплавлення сормайту № 1. Відбраковування всіх лемешів виконано по досягненню граничного масового зносу, при цьому залишився значний запас лінійного зносу.

4. Встановлено, що кут загострення леза лемеша з оплавленим плазмою металізаційним покриттям зберігся після експлуатаційних випробувань, що вказує на наявність ефекту самозагострення. Збереження форми носка зміцненого лемеша та його самозаточування дозволяє забезпечити рівномірність технологічного процесу оранки, зниження тягового зусилля плуга, а також зниження питомої витрати палива при підвищенні продуктивності оранки.

ВИСНОВКИ

1. Наявність пор та шаруватої структури металізаційних покриттів призводить до зниження їхньої абразивної зносостійкості, а досить низька адгезія покриття в умовах експлуатації може призвести до відшарування. Показано, що для підвищення зносостійкості покриттів найбільше ефективно використання подальшого плазмового оплавлення. Однак, така обробка металізаційних покриттів на основі заліза стримується внаслідок відсутності технологічних рекомендацій стосовно обробки матеріалів з низькою теплопровідністю та високою температурою плавлення.

2. Встановлено, що оплавлене покриття складається з чотирьох основних характерних зон, що розташовуються від основного металу до поверхні оплавлення. Зона, що примикає до основної сталі, товщиною 50-150 мкм, складається з дрібних рівноосних зерен 8-9 бала, над нею розташовується зона товщиною до 50-100 мкм більш рівноосних зерен 6-7 бала пакетного мартенситу, що містить виділення дисперсних карбідів. Зазначені зони переходять в основний шар товщиною 1500-2000 мкм витягнутих стовпчастих зерен (дендритів), довжиною 300-500 мкм і шириною 30-60 мкм, що складаються з пакетного мартенситу, оточеного тонкою оболонкою карбідної евтектики та верхньої частини переплавленого покриття, товщиною до 500 мкм, що складається з рівноосних зерен розміром 20-50 мкм.

3. Показано, що утворення щільної структури дрібнодисперсного мартенситу з карбідним зміцненням та рівномірний розподіл легуючих елементів при оплавленні покриття системи Fe-Cr-C-Ti-Al призводить до підвищення його мікротвердості в 1,5 рази порівняно з металізаційним покриттям до оплавлення, що має неоднорідну структуру мартенситу. Знижена мікротвердість наплавлених шарів обумовлюється утворенням пористої феритно-мартенситної структури, що утворилася за рахунок збіднення вуглецем металевої матриці, при утворенні великої кількості карбідних фаз.

4. Встановлено, що зносостійкість оплавлених плазмою покриттів Fe-Cr-C-Ti-Al у 2,5 рази вища, ніж у металізаційних покриттів до оплавлення та в 1,4 рази вище зносостійкості шару, виконаного аргонодуговим наплавленням з того ж порошкового дроту.

5. Встановлено, що значні втрати маси зразків з металізаційним покриттям після випробувань пов'язані зі змішаним механізмом зносу, що характеризується механізмами дряпання та відшарування ділянок покриття з низькою міцністю когезійного зв'язку при потраплянні абразивних частинок в приграничні шари і пори покриття. Знижена зносостійкість наплавленого металу обумовлюється утворенням феритно-мартенситної структури, що має нижчу твердість у порівнянні з мартенситною структурою оплавленого покриття.

6. Розроблено технологічний процес зміцнення економнолегованих металізаційних покриттів системи Fe-Cr-C-Ti-Al шляхом плазмового оплавлення стосовно лемеша плуга.

7. За результатами експлуатаційних випробувань встановлено, що ресурс зміцнених за розробленою технологією лемешів при обробці суглинистих ґрунтів на 34 % вищий у порівнянні з серійним лемешем із сталі 65Г після об'ємного загартування.

8. Встановлено, що кут загострення леза лемеша з оплавленим плазмою металізаційним покриттям зберігся після експлуатаційних випробувань, що вказує на наявність ефекту самозагострення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рухадзе А. А., Игнатов А. М., Гусейн-Заде Н. Г. Введение в электродинамику плазмы. Москва, МИРЭА. 2007. 180 с.
2. Sanpo N. Solution Precursor Plasma Spray System. Springer International Publishing, Heidelberg, 2014, 100 p.
3. Heimann R.B. Plasma Spray Coating. 2nd edition. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, VCH Publishers, Inc., New York, 2020. 339 p.
4. Шехтер С.Я., Резницкий А.М. Наплавка метал лов. Москва : Машиностроение, 1982. 72 с.
5. Барвинок В.А., Богданович В.И. Физические основы и математическое моделирование процессов вакуумного ионно-плазменного напыления. Москва : Машиностроение, 1999. 309 с.
6. Рябцев И. А., Кусков Ю. М., Переpletчиков Е. Ф., Бабинец А. А. Наплавка. Управление проплавлением основного металла и формированием наплавленных слоев. Киев : Интерсервис, 2021. 392 с.
7. Усынин В. Ф., Бесхлебный В. А. Наплавка и напыление. Наплавка в машиностроении и при ремонте оборудования. Калининград: Калининградский государственный технический университет (КГТУ), 2011. 236 с.
8. Cavaliere P. Laser Cladding of Metals. Springer, 2021. 444 p.
9. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.
10. Аулін В. В., Тихий А. А. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості і надійності робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами : монографія. Кропивницький : Лисенко В.Ф., 2017. 278 с.
11. Лащенко Г.И. Плазменное упрочнение и напыление. Киев: Екотехнология, 2003. 65 с

12. Акулович Л.М., Миранович А.В. Магнитно-электрическое упрочнение поверхностей деталей сельскохозяйственной техники. Монография. Минск: Белорусский государственный аграрный технический университет (БГАТУ), 2016. 236 с.

13. Лещинский Л.К., Самотугин С.С., Пирч И.И., Комар В.И. Плазменное поверхностное упрочнение. Київ : Техніка, 1990. 109 с.

14. Соков И.О., Спиридонов Н.В., Нерода М.В. Технология упрочнения тяжело нагруженных деталей газотермическим напылением. Барановичи : РИО БарГУ, 2012. 183.