

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

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

ЛИСЮК ОЛЕКСАНДР АНАТОЛІЙОВИЧ

УДК 631.3:621.791:621.892

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ
РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ
МАШИН**

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

_____ Лисюк О.А.

Керівник роботи

Ільченко А.В.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Лисюк Олександр Анатолійович. Удосконалення технології ремонту робочих органів ґрунтообробних машин. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

У магістерській роботі розв’язано важливу науково-прикладну проблему підвищення ресурсу робочих органів ґрунтообробних знарядь шляхом удосконалення технології їх ремонту з використанням способу карбовібродугового зміцнення. На основі комплексу теоретичних, експериментальних і експлуатаційних досліджень обґрунтовано доцільність застосування металокерамічних покриттів, сформованих способом карбовібродугового зміцнення, для відновлення та зміцнення робочих поверхонь ґрунторізальних елементів.

Експлуатаційні випробування на суглинних і супіщаних ґрунтах широкої номенклатури робочих органів ґрунтообробних знарядь показали, що зносостійкість відновлених і зміцнених способом карбовібродугового зміцнення деталей у 1,9–2,3 рази перевищує зносостійкість аналогічних робочих органів заводського виконання. Встановлено закономірності формування доремонтних і міжремонтних ресурсів робочих органів залежно від способу відновлення та умов експлуатації.

Розроблена технологія ремонту забезпечує істотне зростання міжремонтного ресурсу робочих органів (у 1,85–2,11 рази), ресурсозбереження та підвищення ефективності використання сучасних ґрунтообробних машин, зокрема імпортного виробництва, що є важливим для агропромислового комплексу України.

Ключові слова: ґрунтообробні машини, робочі органи, абразивне зношування, ремонт і відновлення, зміцнення поверхонь.

ANNOTATION

Lysiuk Oleksandr Anatoliiovych. Improvement of the Technology for Repairing the Working Bodies of Tillage Machines. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering.
– Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

In the master's thesis, an important scientific and applied problem of increasing the service life of the working bodies of tillage implements is solved by improving the repair technology using the method of carbo-vibro-arc strengthening. Based on a comprehensive set of theoretical, experimental, and field studies, the feasibility of applying metal–ceramic coatings formed by the carbo-vibro-arc strengthening method for the restoration and strengthening of the working surfaces of soil-cutting elements is substantiated.

Field tests conducted on loamy and sandy loam soils for a wide range of working bodies of tillage implements have shown that the wear resistance of parts restored and strengthened by the carbo-vibro-arc strengthening method is 1.9–2.3 times higher than that of analogous working bodies in factory condition. The regularities of the formation of pre-repair and inter-repair service lives of working bodies depending on the restoration method and operating conditions have been established.

The developed repair technology provides a significant increase in the inter-repair service life of working bodies (by 1.85–2.11 times), ensures resource saving, and improves the efficiency of using modern tillage machines, including those of imported manufacture, which is important for the agro-industrial complex of Ukraine.

Keywords: tillage machines, working bodies, abrasive wear, repair and restoration, surface strengthening.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	9
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	23
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	33
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. В умовах інтенсивного розвитку агропромислового комплексу та зростання вимог до ефективності використання сільськогосподарської техніки особливої актуальності набуває проблема підвищення надійності й довговічності ґрунтообробних знарядь. Робочі органи ґрунтообробних машин експлуатуються в агресивному абразивному середовищі, що зумовлює їх інтенсивне зношування, скорочення міжремонтних ресурсів та зростання витрат на технічне обслуговування і заміну деталей. Це негативно впливає на продуктивність виконання ґрунтообробних операцій і собівартість сільськогосподарської продукції.

Особливо гостро зазначена проблема проявляється при використанні сучасних високопродуктивних, у тому числі зарубіжних, ґрунтообробних знарядь, для яких характерна висока вартість запасних частин та обмежені можливості їх оперативної заміни. У зв'язку з цим актуальним є впровадження ефективних ресурсозберігаючих технологій ремонту, здатних забезпечити не лише відновлення геометричних параметрів робочих органів, а й істотне підвищення їх зносостійкості та експлуатаційного ресурсу.

Перспективним напрямом вирішення цієї науково-прикладної проблеми є застосування сучасних методів поверхневого зміцнення, зокрема формування металокерамічних покриттів способом карбовібродугового зміцнення (КВДЗ), які забезпечують високий опір абразивному зношуванню в реальних умовах експлуатації. Експериментальне підтвердження значного зростання зносостійкості та міжремонтних ресурсів відновлених робочих органів свідчить про доцільність наукового обґрунтування та впровадження такої технології у виробничу практику.

Таким чином, дослідження, спрямовані на удосконалення технології ремонту робочих органів ґрунтообробних знарядь із використанням способу КВДЗ, є актуальними з позицій підвищення ефективності функціонування

агропромислового комплексу, зниження матеріальних витрат і забезпечення ресурсозбереження в сучасному сільськогосподарському виробництві.

Метою магістерської роботи є підвищення ресурсу та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних знарядь шляхом удосконалення технології їх ремонту з використанням металокерамічних покриттів, сформованих способом карбовібродугового зміцнення.

Для досягнення поставленої мети в магістерській роботі необхідно вирішити такі основні завдання:

- проаналізувати умови роботи та механізми абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних знарядь;
- дослідити існуючі технології ремонту та зміцнення ґрунторізальних елементів і визначити їх недоліки;
- обґрунтувати доцільність застосування металокерамічних покриттів, сформованих способом КВДЗ, для підвищення зносостійкості робочих органів;
- розробити технологію ремонту робочих органів ґрунтообробних знарядь із використанням способу КВДЗ;
- провести експлуатаційні випробування відновлених робочих органів у різних ґрунтових умовах;

Об'єкт досліджень – процес абразивного зношування та відновлення робочих органів ґрунтообробних знарядь у реальних умовах експлуатації.

Предмет досліджень – технологічні параметри, закономірності формування зносостійкості та експлуатаційного ресурсу робочих органів ґрунтообробних знарядь, відновлених і зміцнених металокерамічними покриттями, сформованими способом карбовібродугового зміцнення.

Методи наукового дослідження. У магістерській роботі застосовано комплекс сучасних методів наукового дослідження, що забезпечили обґрунтованість і достовірність отриманих результатів.

Для аналізу стану проблеми використано методи аналізу та узагальнення науково-технічної літератури, нормативної документації та результатів

попередніх досліджень у галузі зношування й ремонту робочих органів ґрунтообробних знарядь.

Механізми абразивного зношування та умови роботи робочих органів досліджено з використанням теоретичних методів механіки тертя і зношування, а також положень матеріалознавства та теорії поверхневого зміцнення.

Для оцінювання ефективності способу КВДЗ застосовано експериментальні методи, які включали лабораторні дослідження зносостійкості та експлуатаційні випробування відновлених і заводських робочих органів на суглинних і супіщаних ґрунтах.

Обробку результатів випробувань виконано з використанням методів математичної статистики, зокрема визначення параметрів законів розподілу доремонтних і міжремонтних експлуатаційних ресурсів, середніх значень і відносного приросту ресурсу.

Перелік **публікацій** за темою роботи:

1. **Лисюк О.,** Сенчило М. Смик В., Білецький В. Основні види робочих органів, що застосовуються на ґрунтообробних знаряддях та їх конструктивні особливості. Сучасні технології та технічний сервіс: виклики і можливості: збірник матеріалів I Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (м. Кам'янець-Подільський, 16 жовтня 2025 року). Кам'янець-Подільський: Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», 2025. С. 98-102.

2. Ільченко А.В., **Лисюк О.А.,** Смик В.С. Аналіз способів відновлення робочих органів ґрунтообробних знарядь і підвищення їхнього ресурсу. Збірник тез доповідей XXVI Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2025 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. С. 601-605.

3. **Лисюк О.А.** Обладнання та матеріали для формування металокерамічних покриттів методом карбовібродугового зміцнення. Студентські читання–2025: матеріали науково-практичної конференції науково-

педагогічних працівників та здобувачів вищої освіти факультету інженерії та енергетики. 30 жовтня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 72-74.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення магістерської роботи полягає в розробленні та науковому обґрунтуванні технології ремонту робочих органів ґрунтообробних знарядь із використанням металокерамічних покриттів, сформованих способом КВДЗ, яка забезпечує істотне підвищення їх зносостійкості та експлуатаційного ресурсу. Запропонована технологія дозволяє збільшити міжремонтний ресурс робочих органів у 1,85–2,11 рази порівняно з доремонтним ресурсом аналогічних деталей заводського виконання, що підтверджено результатами експлуатаційних випробувань у реальних ґрунтово-кліматичних умовах.

Отримані результати можуть бути безпосередньо використані в ремонтних підприємствах, сервісних центрах і сільськогосподарських підприємствах для відновлення та зміцнення робочих органів ґрунтообробних знарядь вітчизняного й зарубіжного виробництва. Упровадження запропонованої технології сприятиме зниженню витрат на придбання нових робочих органів, підвищенню коефіцієнта технічної готовності машинно-тракторного парку та ресурсозбереженню в агропромисловому комплексі.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 27 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 57 сторінок комп'ютерного тексту, містить 30 рисунків та 4 таблиці.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПРОБЛЕМИ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Основні види робочих органів, що застосовуються на ґрунтообробних знаряддях та їх конструктивні особливості

Обробіток ґрунту – це найбільш енергоємна операція сільськогосподарського виробництва, на яку витрачається від 30 до 40% усієї енергії, споживаної в аграрній сфері. Пошук шляхів зниження енергозатрат на виконання цієї операції справляє суттєвий вплив на розвиток конструкцій ґрунтообробної техніки та її робочих органів [1].

Типовими представниками робочих органів, що застосовуються на ґрунтообробних і посівних агрегатах, є: леміші, долота, крила та груди відвалу, польові дошки, обертові лапи, стрілчасті лапи, зуби й диски борін, диски та клини сошників. Вони визначають технічний рівень зазначених агрегатів у цілому [1].

Серед різновидів плужних лемішів найбільшого поширення набули долотоподібні, у яких носова частина виконана у формі долота. Це сприяє покращенню таких показників, як здатність до заглиблення, тяговий опір та агротехнічна якість оранки. Виготовляються вони як суцільнометалеві, які виробляються переважно українськими компаніями (рис. 1.1, а), так і складові, що включають остов (рис. 1.1, б, в, г) та долото (рис. 1.2), з'єднані між собою болтовими з'єднаннями. До числа провідних зарубіжних виробників лемішів плугів належать такі компанії: Lemken і Rabewerk (Німеччина), Gregoire Besson і Kuhn (Франція), Kverneland (Норвегія), Vogel & Noot (Австрія), Unia (Польща), John Deere (США) та інші. Зарубіжні компанії випускають широкий спектр лемешів, за їх конструктивним виконанням орієнтуючись на потреби споживачів, склад ґрунтів та агротехнічні вимоги [1].



а)



б)



в)



г)

Рис. 1.1. Леміш плуга ПЛН-5-35 (а) та остови лемішів плугів компаній Lemken (б), Kverneland (в) і Kuhn (г) [1].

Долота можуть бути односторонніми (рис. 1.2, а, б) і двосторонніми (оборотними) (рис. 1.2, в, г). Товщина доліт (особливо в зоні польового обрізу) в окремих випадках може перевищувати товщину остова самого леміша. Ця особливість найвиразніше спостерігається у доліт компанії Lemken (рис. 1.2, б), тоді як долота інших виробників мають приблизно однакову товщину по всій довжині [1].



а)



б)



в)



г)

Рис. 1.2. Одностороннє долото плуга компанії Lemken (а, б) та двосторонні (оборотні) долота плугів компаній Kverneland (в) і Kuhn (г) [1].

Долота можуть бути накладними, які використовує більшість зарубіжних компаній і приставними, що застосовуються лише компанією Lemken. Важливою перевагою приставних доліт є менша забиваність лемішів бур'янами, що особливо актуально під час оранки полів, на яких вирощувалися соняшник і кукурудза [1].

Перевагою лемішів із виступаючим (накладним) долотом є більша здатність до заглиблення, краще якість обробітку пласта та дещо менше зношування (внаслідок меншого навантаження на основу) остова леміша – леза. Основні конструктивні параметри лемішів провідних зарубіжних виробників наведено в табл. 1.1 [1].

Таблиця 1.1 – Основні конструктивні параметри лемішів провідних зарубіжних виробників [1].

Компанія-виробник	Товщина остови леміша, мм	Товщина ріжучої кромки леміша, мм	Товщина долота, мм	Кут борозного обрізу, °
Lemken	10	3,0-3,5	14-19	136
Kverneland	10	3,5-4,5	12	134
Unia	12	3,5-4,5	12-16	134
Kuhn	10	3,0-4,5	12-16	134
Vogel & Noot	12	3,5-4,5	14	134

Аналізуючи дані, наведені в таблиці 1.1, видно, що за багатьма конструктивними параметрами леміші провідних зарубіжних виробників незначно відрізняються між собою. Найбільші відмінності спостерігаються у товщині доліт — від 12 мм у доліт компанії Kverneland до 19 мм у доліт компанії Lemken. Кут борозного обрізу в усіх лемішів, за винятком виробів компанії Lemken, становить 134°. Товщина ріжучої кромки лемішів усіх виробників також відрізняється незначно й змінюється в межах 3,0...4,5 мм [1].

Сучасна система землеробства широко використовує обробіток ґрунту за допомогою дискових борін та дискаторів. У свою чергу, це призводить до підвищення ступеня ущільнення ґрунту і як наслідок, виникає потреба в його глибокому розпушуванні. Робочими органами глибокорозпушувачів є стояки й долота, а також стрілчасті лапи. Стояки та долота можуть мати різну конфігурацію. Стояки глибокорозпушувачів бувають прямими або вигнутими (так звана стійка типу «Параплау»). Прямі стояки оснащуються долотами стрілоподібної або прямої форми. Як показала практика, стрілоподібні долота забезпечують краще підрізання стебел бур'янів і збільшують зону розпушування, однак вони є значно складнішими за конструкцією та мають підвищену металоємність [1].

Прямі долота, як правило, виконують у вигляді вигнутої пластини з ріжучо-лезовими поверхнями з обох боків, тобто вони є оборотними робочими органами. Пряме долото є менш металоємним, а тому дешевшим порівняно з іншими видами доліт. Долота, що застосовуються на стійках типу «Параплау», мають форму двостороннього клина і також є оборотними. Аналіз робочих органів глибокорозпушувачів показує, що дедалі ширше застосування отримують саме прямі долота. Такі робочі органи мають глибокорозпушувачі Gaspardo Artiglio, Gaspardo Attila, Gaspardo Pinocchio, КАМА ТГР, Lemken Labrador та інші [1].

Лапи широко використовуються в якості робочих органів культиваторів, сівалок, посівних комплексів та інших ґрунтообробних знарядь. Залежно від характеру виконуваної роботи лапи поділяють на розпушувальні та прополювальні. До розпушувальних лап належать списоподібні, оборотні та долотоподібні лапи, а до прополювальних — односторонні та стрілчасті. Стрілчасті лапи використовуються найширше; вони бувають плоскорізальні та універсальні. Останні, одночасно з підрізанням бур'янів, здійснюють розпушування ґрунту [1].

Сучасні технології вирощування сільськогосподарських культур передбачають комплексний обробіток ґрунту, який поєднує культивуацію, глибоке розпушування та прикочування. У деяких випадках, за незначних конструктивних змін, комплекс операцій може бути доповнений обладнанням для внесення добрив. Так, компанія Vaderstad випускає лінійку комбінованих культиваторів TopDown, робочими органами яких є долота різної ширини захвату, культиваторні лапи, зубчасті конічні та вирівнювальні диски. Компанія KOCKERLING виготовляє багатоцільовий культиватор Vector, який використовується для дрібного післяжнивного обробітку, основного обробітку та глибокого розпушування. Робочими органами цього культиватора є стрілчасті лапи, долота, а також глибокорозпушувальні лапи [1].

1.2. Механізм абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин

Абразивне зношування — це механічний процес видалення матеріалу робочого органу внаслідок різальної або шліфувальної дії твердих частинок, які можуть бути закріпленими на поверхні або вільними у середовищі. Робочі органи ґрунтообробних машин (плоскорізи, лемеші, диски, сошники тощо) при контакті з ґрунтом зазнають тривалого тертя та ударного впливу від каміння, піску, пилу, коренів і глинистих включень. Через агресивні умови роботи поверхня робочих органів постійно стирається, що вимагає частого ремонту та заміни деталей.

Різні типи робочих органів ґрунтообробних машин під час польових робіт є об'єктом інтенсивного абразивного зношування. Частинки ґрунту нерівномірно дряпають поверхні інструментів, викликаючи утворення борозен (слід різання) і напливів деформованого металу. Це свідчить про одночасне протікання процесів різання металу та пластичної деформації поверхневого шару, характерних для абразивного зношування.

Класифікують кілька режимів абразивного зношування. Двотілесне (two-body) зношування виникає, коли абразивні зерна жорстко зафіксовані на одній поверхні (наприклад, на металевих включеннях ґрунту чи на напиленнях робочого органу) і ріжуть або дряпають протилежну поверхню, створюючи глибокі борозни (аналогічно шліфуванню наждачним папером). Тритілесне (three-body) зношування відбувається за участю вільно рухомих зерен ґрунту, які можуть котитися і ковзати між поверхнею інструмента і ґрунтом, знімаючи матеріал менш інтенсивно, оскільки частинки не зафіксовані і не вирізають метал так ефективно. Тритілесний режим зазвичай супроводжується повільнішим темпом зносу, адже зерна можуть ролитися/відкотитися по поверхні.

При двотілесних умовах спостерігається кілька мікромеханізмів зносу: мікрорізання, коли гострий абразив зрізує стружку з поверхні; крихке руйнування, при якому навколо зерна виникають мікротріщини та відбувається фрагментація (сколювання) поверхні; а також втомне зношування, яке виникає через повторювані цикли навантажень і призводить до накопичення численних поверхневих мікротріщин. Експерименти показують, що в різних режимах домінують різні процеси: при низькій жорсткості абразиву спостерігається глибоке зрізування металу, а при високому – переважає вирізання та формування крихких вузлів. Зокрема, Nokkiriigawa та Kato виділили три характерні режими абразивного зносу в лабораторних дослідках: режим різання, режим формування клину і режим оранки, що ілюструє різні прояви мікромеханізмів (від активного зрізання до переважно вдавлювальних дій абразиву).

За «молекулярно-механічною» теорією, абразивне зношування проходить три основні етапи руйнування поверхні:

1. Проникнення абразивної частинки: контакт вузької грані зерна з поверхнею спричиняє локальне пружно-пластичне вдавлювання металу з утворенням валиків деформованого матеріалу.

2. Переміщення абразивної частинки: зерно рухається по поверхні, викликаючи зародження й зростання мікротріщин у шарі матеріалу (через циклічні напруги).

3. Відокремлення частинок зносу: подальше навантаження призводить до зрізування або руйнування деформованих валиків металу, формуючи окремі зношувані частинки (стружкоподібні або кускові).

В умовах безперервного обробітку ґрунту фази проникнення та руху часто накладаються: зерна одночасно вриваються в поверхню і ковзають по ній. В результаті механізми мікрорізання (утворення борозен) та мікродавлювання (утворення поліруючих валиків) протікають разом, формуючи складну рельєфну структуру зношеної поверхні.

Фактори, що впливають на інтенсивність зношування

Інтенсивність абразивного зносу визначається численними факторами:

- Властивості ґрунту: механічний склад (піщані, супіщані, глинисті ґрунти), середній розмір і форма частинок, мінералогія (наприклад, кварцова складова), вміст каменю, вологість і кислотність. Твердість мінералів ґрунту, яка зазвичай перевищує твердість робочої сталі, дозволяє частинкам глибоко вриватися і подряпувати поверхню¹. Гострі та великі зерна викликають більш інтенсивне різання металу, тоді як округлі і дрібні – більше вдавлювальну компоненту. Наприклад, дослідження українських ґрунтів показали, що при менш гострій формі зерен інтенсивність зносу зменшується майже на 50%.

- Матеріал робочого органу: твердість, міцність, в'язкість і мікроструктура сплаву. Відношення твердості сталі (H_s) до твердості абразиву (H_a) визначає домінантний режим зносу: при $H_s/H_a < 0,8$ переважають мікрорізальні процеси (стружка), а при $H_s \approx H_a$ – виникають мікротріщини та сколи в сталі. Зносостійкість підвищують леговані сталі з високим вмістом хрому, марганцю, молібдену та карбідоутворюючих елементів. Однак потрібно збалансувати твердість і в'язкість: занадто твердий, але крихкий матеріал може швидко руйнуватися від ударних навантажень.

- Експлуатаційні умови: швидкість руху машини, глибина обробітку, кут атаки і форма інструмента. Зі збільшенням швидкості та глибини наростає тиск на поверхню, відповідно зростає кількість зерен у контакті і амплітуда сил, що різко підсилює знос. При високих швидкостях руху зростає роль ударних навантажень і втомного руйнування, що веде до швидшого виникнення тріщин.

- Поверхневі умови і середовище: шорсткість і загартування поверхні робочого органу, наявність захисних наплавлень або покриттів. Тверді поверхневі шари (карбіди, нітриди, кобальтові сплави) створюють бар'єр проти вдавлювання абразиву. Агресивний хімічний склад ґрунту (солі, кислоти, волога) може викликати додаткове корозійне ослаблення поверхневого шару і прискорювати утворення мікротріщин (характерно для солоних чи кислих ґрунтів).

З метою збільшення ресурсу робочих органів застосовують комплексний підхід: від вибору оптимальних матеріалів до сучасних поверхневих технологій. Серед матеріалів виділяються сталі з високим вмістом хрому, вуглецю і марганцю (наприклад, 65Г, 27MnB5) після термічної обробки. Також використовують спеціальні чавуни з дрібним цементитом та модифікованою структурою (сфероїдним цементитом) – вони мають високу абразійну стійкість. Значною мірою підвищують зносостійкість тверді наплавлення і покриття: напилення карбідів (W, Ti, Nb), легованих сплавів Ni–Cr–B (газотермічне напилення), а також PVD-/CVD-шари нітридів титану, алюмінію, хрому тощо. Ці шари мають надвисоку твердість (до 1000–1500 HV), що значно уповільнює розвиток абразивних борозен.

Таким чином, надійна зносостійкість робочих органів забезпечується поєднанням вибору міцних матеріалів, оптимальної форми ріжучих елементів і сучасних поверхневих зміцнень (легування, наплавлення, загартування). Сучасні методи моделювання абразивного зношування (на базі рівнянь Арчарда та дискретно-елементних симуляцій ґрунту) у поєднанні з польовими випробуваннями дозволяють прогнозувати інтенсивність зносу при різних

умовах роботи і оптимізувати конструкцію машини задля підвищення її довговічності

1.3 Аналіз способів відновлення робочих органів ґрунтообробних знарядь і підвищення їхнього ресурсу

Питанням розроблення технологій відновлення та підвищення ресурсу робочих органів ґрунтообробних знарядь присвячені роботи Костецького Б. І., Борака К.В., Ауліна В.В., Richardson R. C. D., Moore M. A. та інші. Під час відновлення робочих органів ґрунтообробних знарядь, з урахуванням величини зношування, найчастіше видаляють їхню гранично зношену різальну лезову частину та на її місце приварюють нову різальну-лезову частину, форма і розміри якої відтворюють зношену ділянку. Ця технологія детально описана в багатьох роботах провідних учених [1]. Як матеріал для нових різальних-лезових частин використовують стрічковий прокат зі сталей 65Г, 30ГР, 40ГР, 60С2, 50ХГА, 60СА, який у разі потреби піддають термічній обробці. У окремих випадках для виготовлення нових різальних-лезових частин застосовують листи ресор, що втратили свою пружність, але зберегли досить високі показники твердості (43...45 HRC) [2].

Для підвищення ресурсу робочих органів ґрунтообробних знарядь розроблено та застосовується велика кількість способів нанесення на їхні різальні-лезові частини зносостійких покриттів. Найбільш поширеними серед них є способи наплавлення (табл. 1.2) [2].

Технології дугової, індукційної наплавки, наплавлення порошковими дротиками, заморожуванням, лазерною широко відомі та докладно розглянуті у спеціальній літературі [1, 2, 3]. До їх основних недоліків слід віднести високу вартість і енергоємність устаткування, що використовується, його значні габаритні розміри і масу, а також значний тепловий вплив на матеріал

зміцнюваного робочого органу, що призводить до істотних змін його структурного стану і фізико-механічних властивостей [2].

Таблиця 1.2 – Технології наплавлення, що використовуються для підвищення зносостійкості різальних-лезових частин робочих органів ґрунтообробних знарядь [2].

Вид наплавлення	Твердість покриття, HRC	Матеріали	Коефіцієнт збільшення зносостійкості
1	2	3	4
1. Дугове	55...62	Електроди ЦН-29, Т- 590, Т-620, ОЗН-6, ЭН- ИТС-01	1,5...2,2
2. Індукційне	60...67	Твердосплавні порошки ПГ-С1, ПГ- С27, ПГ-УС25, ПС-14- 60, ПГС-27М, ПС-6	1,6...2,0
3. Порошковими дротами	56...65	Дріт ПП-АН-123, ПП-АН-125, ПП-АН- 170 або полоси ЛС-У10Х7ГР	1,5..2,0
4. Наплавлення армуванням	58...62	Електроди Т-590, НР-70, ОЗН-400М, Э46-МГ-ЭПС-4,0-УО, Э46А-УОНИ-13/45-4,0- У0	1,3...2,1
5. Наморожування	52..55	Порошкові сплави ПГ-С27, ПГ-01, ПГ- УС25, ПГ-ФБХ-6-2 иабо їх суміші	1,5-2,2
6. Лазерна	56...61	Порошковий сплав ФБХ-6-2	1,5-2,7
7 Напівавтоматичне вібродугове	55...60	Дріт зі сталі 65Г	1,4...1,8
8. Електродугове під шаром флюсу	57...61	Дроти оригінального складу на основі заліза, що містять як основні легуючі елементи Mn, Si, Al, Cr, Ni, Mo	2,4...3,1
9 Плазмова	64-69	Порошкові сплави ПГ-ФБХ-6-2 и ПР- ФБЮ-1-4 з добавками порошкового Al (2,5...3,4% по масі); ПГ-С27, карбід вольфрама, нанорозмірний Al ₂ O ₃ ; порошки, отримані електроерозійним диспергуванням відходів твердих сплавів	1,5-2,8

Технології наплавного армування застосовують для зміцнення широкої номенклатури робочих органів ґрунтообробних знарядь, і в цьому напрямі працює значна кількість учених [2].

Нині особливо гостро постає питання відновлення та підвищення ресурсу робочих органів закордонних ґрунтообробних знарядь, які масово постачалися до нашої країни протягом останніх 12...15 років. В Україні розроблено низку технологій, зокрема технологію відновлення та зміцнення плужних лемешів, що є одними з найдорожчих робочих органів плугів, шляхом застосування компенсувальних елементів зносу та наплавочного армування [2].

До загальних недоліків технологій наплавного армування можна віднести їхню високу трудомісткість, недостатньо високу продуктивність, необхідність дотримання точного взаємного розташування наплавлених валиків, які часто мають складну геометричну форму, що зумовлює потребу у використанні дорогого автоматизованого обладнання та спеціалізованого програмного забезпечення, а також збільшення тягового опору через значну висоту наплавлених валиків [2].

У роботах [4, 5] для зміцнення робочих органів відносно невеликої товщини, насамперед відвалів плугів, і підвищення рівномірності їх зношування по всій робочій поверхні запропоновано використання напівавтоматичного вібродугового наплавлення найбільш навантажених зон відвалів. Наплавлення виконують присадним дротом марки 65Г діаметром 1,6 мм, при цьому сила струму становить 100...140 А [2].

Наплавлення проводять не з утворенням суцільного покриття, а формуванням на зміцнюваній поверхні окремих валиків або точок, вибір між якими залежить від того, яку зону відвалу потрібно зміцнити. Розроблена технологія дає змогу підвищити ресурс зміцнених відвалів у 1,4...1,8 рази [2].

До недоліків цієї технології можна віднести невисоку продуктивність і необхідність дотримання точного просторового розташування точок та валиків, що наносяться під час зміцнення [2].

Розроблено технології відновлення з подальшим зміцненням плазмовим наплавленням стрілчастих лап ґрунтообробних знарядь і доліт глибокорозпушувачів [1]. Наплавлення здійснюють при силі струму 190...230 А, швидкість наплавлення варіюється в межах 4,0...5,0 м/год, як плазмоутворюючий газ використовують аргон. Застосування цих технологічних рішень дає змогу підвищити зносостійкість відновлених і зміцнених робочих органів у 2,1–2,5 раза [2].

До недоліків технологій плазмового наплавлення робочих органів ґрунтообробних знарядь належить використання дорогих плазмоутворюючих і транспортуючих газів, а також висока вартість порошкових сумішей, що застосовуються під час наплавлення, до складу яких входять карбід вольфраму та нанорозмірні компоненти [2].

Перспективи подальшого вдосконалення плазмово-порошкового наплавлення пов'язані з використанням порошкових матеріалів, отриманих із відходів твердих сплавів методом електроерозійного диспергування [2].

Використання таких порошоків замість промислово виготовлених, що мають значну вартість, дає змогу забезпечити високі фізико-механічні властивості отриманих покриттів при значно нижчій собівартості. Під час використання для плазмово-порошкового наплавлення порошкового матеріалу, отриманого диспергуванням відходів твердого сплаву Т30К4 у дизельному паливі, ресурс зміцнених робочих органів (стрілчастих лап культиваторів) збільшується в середньому у 1,5 раза. До недоліків таких порошкових матеріалів слід віднести те, що вони «не завжди забезпечують високий ресурс зміцнених робочих органів, особливо під час їх експлуатації на супіщаних» [1] і легкосуглинкових ґрунтах [2].

Для підвищення ресурсу різальних-лезових частин відновлюваних робочих органів ґрунтообробних знарядь використовують електродугове наплавлення під шаром флюсу та наплавні дроти оригінального складу на основі заліза, що містять як основні легувальні елементи Mn, Si, Al, Cr, Ni, Mo [1]. Товщина

наплавлених шарів становить 1,5...2,2 мм, наплавлення виконують суцільним шаром на всю ширину різальної-лезової частини, сила струму під час наплавлення – 160...220 А. Цей вид наплавлення забезпечує значне підвищення ресурсу зміцнених робочих органів, однак використання оригінальних дротів, які не виробляються серійно, поки що стримує його широке впровадження у ремонтне виробництво. Крім того, під час реалізації цієї технології має місце значне теплове навантаження на матеріал зміцнюваних робочих органів [1], унаслідок чого вони можуть деформуватися [2].

Окрім зазначених вище методів наплавлення, для зміцнення робочих органів ґрунтообробних знарядь у ремонтному виробництві відомі такі основні технології: активована дугова металізація, у тому числі з подальшим плазмовим оплавленням; електролітне борування; електроконтактне приварювання стрічки і порошків; використання накладних елементів і керамічних пластин, що закріплюються за допомогою клею або паянням; газополуменеве напилення з подальшим оплавленням порошковою сумішшю експериментального складу; плазмове напилення; вібронауглецювання. Загальними недоліками вищезазначених способів зміцнення робочих органів є висока вартість обладнання та витратних матеріалів, що використовуються для зміцнення, невисока міцність зчеплення нанесених зміцнювальних покриттів, неможливість використання зміцнених робочих органів на ґрунтах із великою кількістю кам'янистих включень, а також підвищене тягове опір під час застосування керамічних пластин [2].

Нині перспективи суттєвого підвищення ресурсу робочих органів ґрунтообробних знарядь слід пов'язувати насамперед із використанням композиційних матеріалів і покриттів, до яких належать і металокерамічні покриття [2].

Однією з сучасних, перспективних, доступних і ресурсощадних виробничих технологій створення металокерамічних покриттів на різальних

поверхнях робочих органів машин різного функціонального призначення є їхнє карбовібродугове зміцнення за допомогою вібруючого вугільного електрода [2].

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Обладнання та матеріали для формування металокерамічних покриттів методом карбовібродугового зміцнення

Для формування металокерамічних покриттів методом карбовібродугового зміцнення (КВДЗ) використовували автоматизовану установку, створену на базі установки ВДГУ-2 (рис. 2.1) [3].

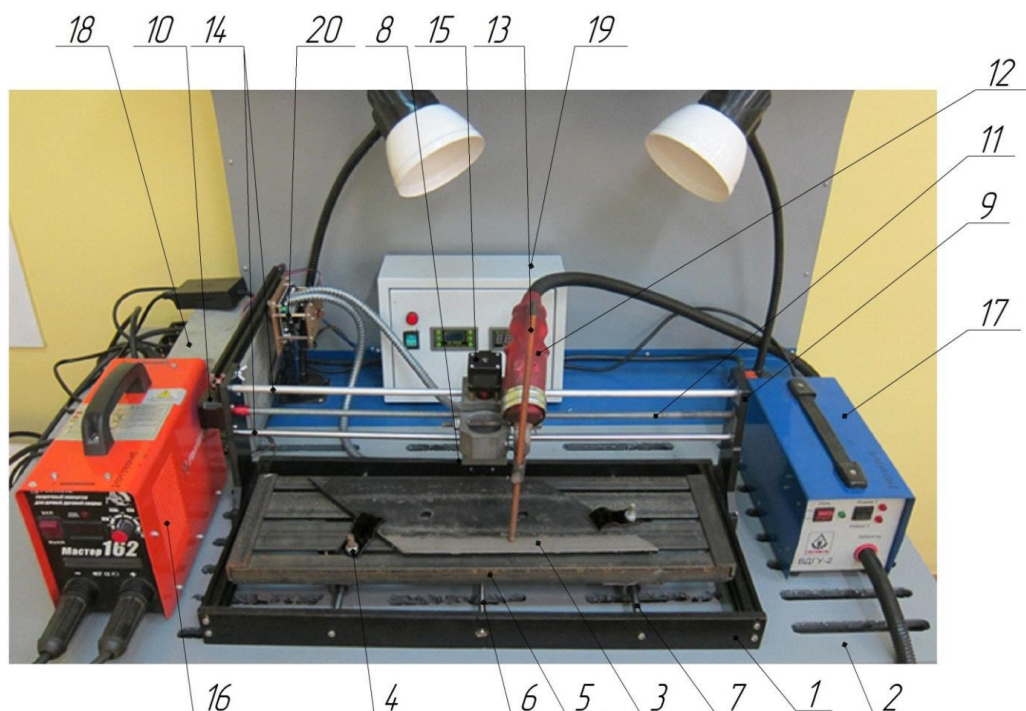


Рис. 2.1. Установка для формування металокерамічних покриттів методом КВДЗ: 1 – основа; 2 – зварювальний стіл ССН-01-03; 3 – робочий орган, на ріжучо-лезовій частині якого формується металокерамічне покриття; 4 – притискач; 5 – рухомий стіл; 6 – гвинт поперечного переміщення стола; 7, 14 – напрямні; 8, 10, 15 – крокові електродвигуни; 9 – кронштейни; 11 – гвинт поздовжнього переміщення; 12 – вібратор; 13 – вугільний електрод; 16 – зварювальний інвертор; 17 – пристрій для зміни частоти коливань вугільного електрода під час КВДЗ; 18 – блок живлення; 19 – блок керування; 20 – керувальний модуль із знятим захисним кожухом [3].

Установка містить основу 1, змонтовану на робочій поверхні стола 2 моделі ССН-01-03, призначеного для виконання зварювальних робіт. Відновлюваний з подальшим зміцненням робочий орган 3 за допомогою притискачів 4 фіксується на рухомому столі 5 установки. Стіл 5 переміщується в поперечному напрямку за допомогою гвинта 6 по напрямних 7. Переміщення здійснюється кроковим електродвигуном 8. На основі 1 у її задній частині змонтовані бокові вертикальні кронштейни 9, на яких встановлено кроковий електродвигун 10 гвинта 11 поздовжнього переміщення вібратора 12, у якому закріплено вугільний електрод 13, та напрямні 14, по яких це переміщення безпосередньо відбувається. Вібратор 12 також може переміщатися у вертикальній площині за допомогою крокового електродвигуна 15. До складу установки також входять: зварювальний інвертор 16; пристрій 17 для зміни частоти коливань вугільного електрода під час КВДЗ, з'єднаний гнучким шлангом із вібратором 12; блок живлення 18. Керування ввімкненням, вимкненням і зміною режимів роботи крокових електродвигунів 8, 10, 15 здійснюється за допомогою блока керування 19 та керувального модуля 20 (з якого для наочності знято захисний кожух) [3].

Під час роботи установки зміцнюваний робочий орган 3 спочатку встановлюється та фіксується притискачами 4 на робочій поверхні рухомого стола 5. Потім стіл 5 за допомогою крокового електродвигуна 8 і вібратор 12 за допомогою крокового електродвигуна 10 переміщуються у потрібне просторове положення відносно один одного. Після цього вібратор 12 переміщується у вертикальній площині за допомогою крокового електродвигуна 15 до дотику вугільного електрода 13 із шаром затверділої пасти. Потім вмикається зварювальний інвертор 16, на якому за допомогою рукоятки керування та цифрового дисплея встановлюється потрібна сила струму, а також вмикається пристрій 17, на якому виставляється необхідна частота коливань вугільного електрода, і блок керування 19, який задає потрібну швидкість переміщення вібратора 12 з вугільним електродом. Після цього розпочинається процес КВДЗ [3].

2.2. Дослідження зносостійкості металокерамічних покриттів

При дослідженні зносостійкості покриттів, сформованих при КВДЗ, одне з головних завдань, яке необхідно вирішити, полягає в тому, щоб забезпечити постійні параметри досліджень, що проводяться, в часі для всіх матеріалів або зміцнюючих покриттів, які випробовуються [3]. Вирішенню даного завдання присвячені роботи багатьох вчених, які проводять дослідження в області трибології [1].

Було встановлено, що для забезпечення необхідної точності проведених випробувань їх необхідно реалізовувати таким чином, щоб і випробовувані, і еталонні матеріали випробовувалися разом у складі одного пристрою і переміщалися в середовищі для проведення випробувань по круговій траєкторії [2-3]. При цьому також необхідно вирішити завдання зниження тривалості проведених випробувань в порівнянні з їх тривалістю при проведенні випробувань в умовах реальної експлуатації [6-9].

Аналізуючи проведені дослідження наукової школи Поліського національного університету [4-9], для дослідження зносостійкості металокерамічних покриттів була прийнята схема випробувань, в якій пристрій із закріпленими в ньому випробовуваними зразками має циліндричну форму, а дослідження проводяться за рахунок його обертання в середовищі для проведення випробувань [6, 8] (рис. 2.2).

Пристрій для проведення випробувань на зношування являє собою оправку 4 у вигляді циліндра, що має діаметр 100 мм [1] (рис. 2.3). В оправці 4 профрезеровані пази шириною 25 мм і глибиною 4 мм. Вони служать для установки і закріплення за допомогою гвинтів 2 зразків 1 (в кількості 2 шт.), на зовнішньої поверхні яких сформовані металокерамічні покриття. Також в оправці 4 профрезеровані пази аналогічних вищевказаних розмірів для установки і закріплення зразків 5 (також в кількості 2 шт.), виготовлених зі сталі 40ГР, які служать в якості еталонних. Пристрій закріплюють у шпинделі верстата

«за допомогою тримача 3, який за допомогою різьбового з'єднання вкручують в оправку 4 і фіксують у ній гайкою» [5].

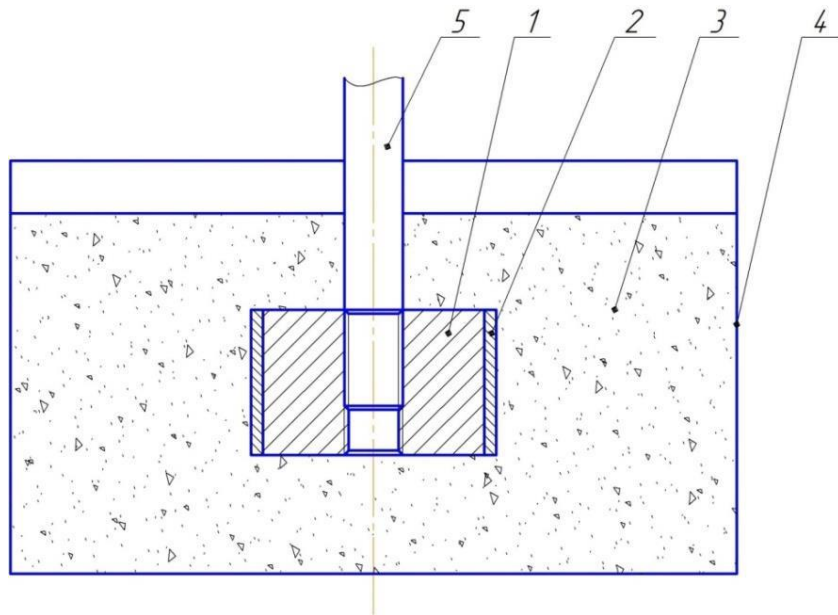


Рис. 2.2. Схема проведення випробувань на зношування: 1 – оправка; 2 – випробуваний зразок; 3 – абразивне середовище для проведення випробувань; 4 – ємність для абразивного середовища; 5 – тримач.



Рис. 2.3. Пристрій для проведення випробувань на зношування: 1 – зразок з покриттям; 2 – кріпильний гвинт; 3 – державка; 4 – оправка; 5 – еталонний зразок.

При проведенні випробувань пристрій з допомогою держака «встановлювали і закріплювали в шпинделі вертикально-свердлильного верстата моделі 2Н135» [1] (рис. 2.4), а ємність 2 – на столі верстата. В якості абразивного матеріалу «використовували кварцовий пісок дисперсністю 0,16...0,32 мм.

Тривалість проведених випробувань була прийнята рівною 10 год [7], пристрій обертався з частотою 250 хв^{-1} . Періодично верстат вимикали для проведення вимірювань зносу зразків з металокерамічними покриттями та еталонних, а також для перемішування абразивного середовища. Повторність проведених випробувань була трикратною [5, 6].

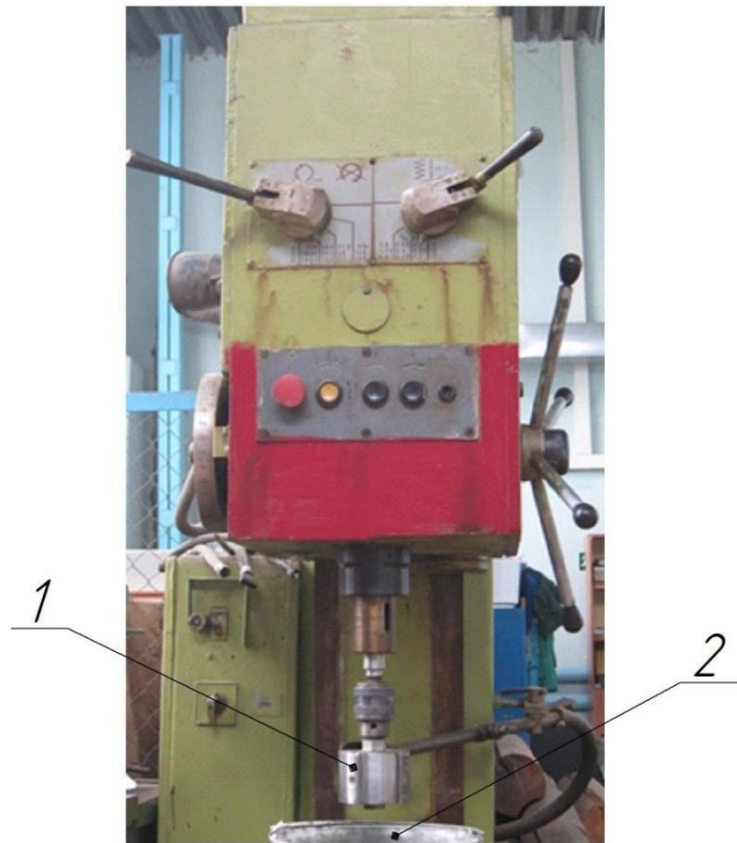


Рис. 2.4. Установка для проведення випробувань на зношування: 1 – пристрій з випробуваними зразками; 2 – ємність з абразивним середовищем для проведення випробувань

Знос металокерамічних покриттів і еталонних зразків визначали за втратою маси на електронних вагах Setra E-500 з межею допустимої похибки $\pm 5 \text{ мг}$ [4].

Швидкість зношування, зносостійкість і відносну зносостійкість еталонних матеріалів і металокерамічних покриттів при проведенні випробувань обчислювали за загальновідомими залежностями.

2.3. Проведення експлуатаційних випробувань

Експлуатаційні випробування відремонтованих із застосуванням способу КВДЗ робочих органів ґрунтообробних знарядь проводили з метою підтвердження результатів, отриманих під час проведення лабораторних випробувань на зношування [6, 9].

На випробування встановлювали широку номенклатуру робочих органів ґрунтообробних знарядь: долота і остови лемехів оборотного плуга EuroDiamant10 7+1 компанії Lemken; долота, остови лемехів, груди відвалів, польові дошки оборотних плугів Multi-Leader 8T компанії Kuhn, RN-100-8 компанії Kverneland, ППО 8+1; стрілчасті лапи культиваторів КШУ-12Н, КСТ-9,2 «КЕДР», Bednar SWIFTER SE, John Deere 2310; вертикальні, ліві та праві ножі швидкісного плуга моделі ПСК-6.

Перед початком польових робіт проводили регулювання ґрунтообробних знарядь відповідно до параметрів, встановлених нормативними документами враховуючи при цьому особливості проведених операцій, ґрунтові умови та ряд інших факторів. При проведенні випробувань робочих органів відповідно до рекомендацій робіт [6] витримували наступні основні вимоги: рельєф (ухил) оброблюваних полів не перевищував 8° , абсолютна вологість ґрунту не перевищувала 30%, твердість ґрунту була не вище 4 МПа при випробуваннях плугів і не більше 3 МПа при випробуваннях культиваторів, висота рослинних і пожнивних залишків становила не більше 25 см.

Знос ріжучо-лезових частин всіх робочих органів, що встановлювалися на експлуатаційні випробування, «визначали як різницю між їх початковими лінійними розмірами і розмірами після певного напрацювання (в середньому

близько 5 га)» [1, 3]. При вимірюванні зносу використовували штангенциркулі ШЦ-I-125-0,05, ШЦ-I- 160-0,1 і ШЦ-II-160-0,05, розмічувальний штангенциркуль ШЦР-250-0,1, індикатор годинникового типу ІЧ-10, а також лінійки вимірювальні металеві. У той же час схеми, за якими проводилися вимірювання зносу, для кожної деталі мали свої особливості. При виборі даних схем керувалися власними проведеними дослідженнями, а також аналізом наукових публікацій з даної тематики, зокрема, публікацій вчених Поліського національного університету.

Для доліт оборотного плуга EuroDiamant10 7+1 компанії Lemken була прийнята схема вимірювань їх лінійних розмірів, представлена на малюнку 3.18. За рекомендаціями роботи [182] за базу вимірювань прийнято межу кола кріпильного отвору долота, оскільки при виконанні польових робіт (оранці) його радіус залишається практично незмінним. Вимірювання виконували по трьох основних лініях: по лінії L_1 , що характеризує знос заглиблювальної частини долота, по лінії L_2 , що характеризує знос долота в його середній частині (по середній лінії) і по лінії L_3 . Вимірювання по всіх лініях мали порівняльний характер.

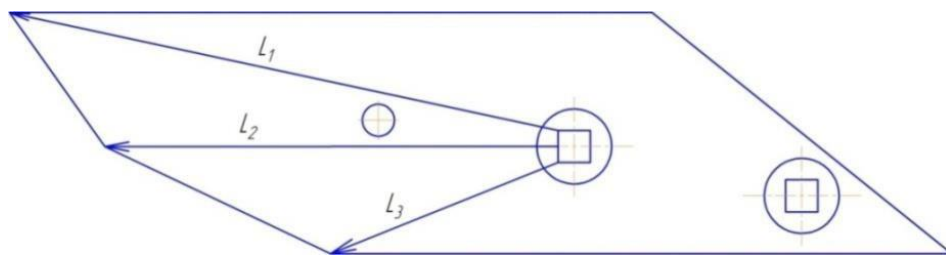


Рис. 2.5. Схема вимірювання лінійних розмірів доліт оборотного плуга EuroDiamant10 7+1 компанії Lemken

Для доліт оборотних плугів Multi-Leader 8T компанії Kuhn, RN-100-8 компанії Kverneland і плугів ППО 8+1 була прийнята схема вимірювань їх лінійних розмірів, представлена на рис. 2.6.

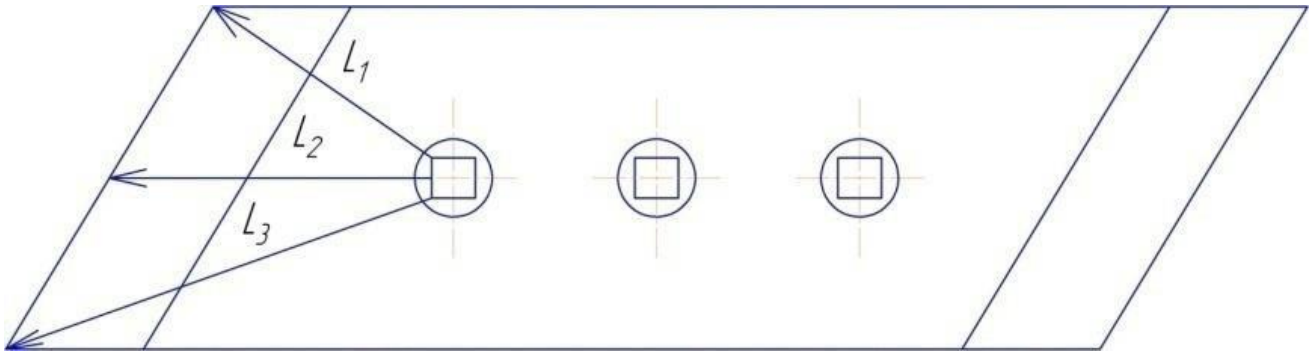


Рис. 2.6. Схема вимірювання лінійних розмірів доліт оборотних плугів Multi-Leader 8T, RN-100-8, ППО 8+1.

За критерій зносу остовів лемехів випробовуваних оборотних плугів брали «втрату ширини лемеха при експлуатації, яку визначали як різницю значень ширини до експлуатації остова і після певного напрацювання» [1, 3]. Вимірювання зносу остовів проводили по перетинах L_1 , L_2 , L_3 , що проходять через його кріпильні отвори [7, 15] (рис. 2.7).

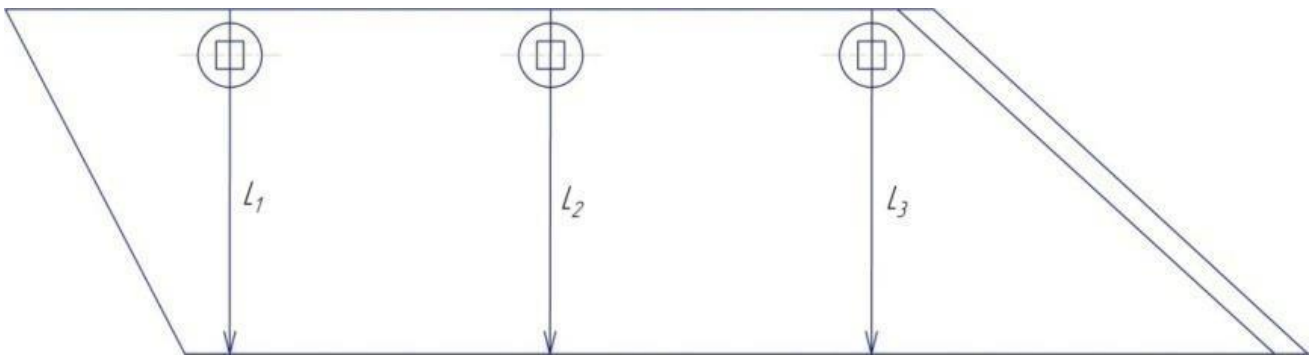


Рис. 2.7. Схема вимірювання лінійних розмірів остовів лемехів оборотних плугів EuroDiamant10 7+1 компанії Lemken.

За критерій зносу грудей відвалів плугів за рекомендаціями робіт [5-9] брали глибину їх променеподібного зносу. Даний параметр вимірювали в чотирьох перерізах, розташованих на відстані 25, 50, 75 і 100 мм від її нижньої стикувальної площини, яка при експлуатації не піддається зношуванню (рис. 2.8).

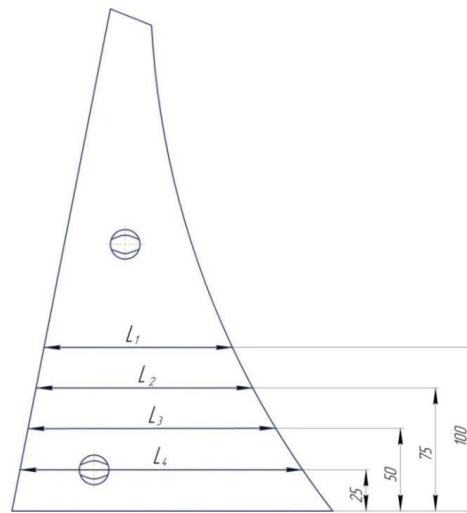


Рис. 2.8. Схема вимірювання глибини променеподібного зносу грудей відвалу оборотного плуга Multi-Leader 8T компанії Kuhn.

ри проведенні вимірювань глибини променеподібного зносу, що має напівеліпсоїдний профіль, використовували індикатор годинникового типу ІЧ-10, закріплений на штативі ШМ-П, а вимірювану груди відвалу встановлювали на повірочні призми. Необхідну точність при проведенні вимірювань забезпечували суворим просторовим положенням грудей відвалу щодо призм за рахунок нанесення міток на їх верхніх площинах. Мітки наносили в місцях кріпильних отворів, що дозволяло коректно встановлювати деталь після чергового напрацювання для проведення подальших вимірювань. При переміщенні індикатора по довжині відповідного перетину визначали найбільшу глибину променеподібного зносу.

За критерій зносу польових дощок випробовуваних оборотних плугів, також як і для остовів лемехів, брали втрату їх ширини при експлуатації. Вимірювання зносу польових дощок проводили в перерізах, що проходять через їх кріпильні отвори.

За критерій зносу випробовуваних стрілчастих лап культиваторів брали знос їх носової частини (малюнок 3.22). Власні проведені випробування дозволили встановити, що основною ознакою для відбракування стрілчастих лап є саме знос носової частини, знос крил лап по ширині завжди значно (в 2,5...3,0 рази) менше.

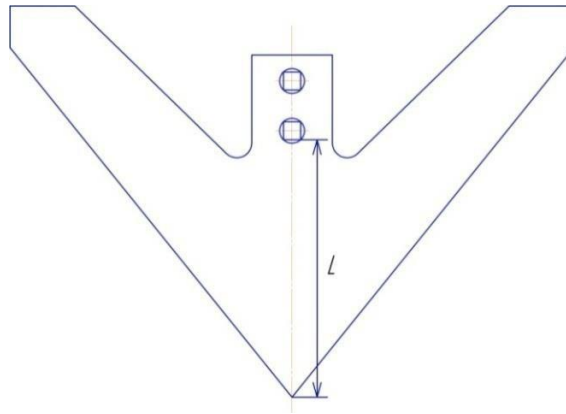


Рис. 2.9. Схема вимірювання зносу носової частини стрілчастих лап культиваторів.

Необхідну кількість робочих органів ґрунтообробних знарядь, що забезпечує необхідну точність проведених випробувань, визначали статистичними методами

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Зносостійкість металокерамічних покриттів

З урахуванням комплексу проведених досліджень до основних факторів, що мають найбільш істотний вплив на зносостійкість металокерамічних покриттів, можна віднести вміст B_4C у складі багатокомпонентної пасти (C_K), що змінюється в діапазоні 10...20 мас.% [3]. Сила струму I_i , раціональний діапазон варіювання якої становить 60...80 А, відіграє меншу роль, проте може виявитися істотним її поєднання зі швидкістю V_n руху електрода і частотою f його коливань.

При проведенні досліджень були використані методи математичного планування експериментів [12]. Кодові позначення і відповідні їм натуральні параметри варіюваних факторів: X_1 – вміст B_4C у складі пасти, %, X_2 – сила струму I_i , А, X_3 – швидкість переміщення вугільного електрода V_n , мм/с, X_4 – частота коливань вугільного електрода f , Гц. Результати проведених досліджень представлені в таблиці 3.1.

Аналіз рис. 3.1 показує, що при введенні в пасту 15...20 мас.% карбіду бору і підтримці в процесі КВДЗ струмів в діапазоні 75...80 А зносостійкість металокерамічних покриттів може бути збільшена, в порівнянні з $C_K = 10$ мас.% і силою струму $I_i = 60$ А в 1,37...1,68 рази.

Також були проведені порівняльні лабораторні випробування на зношування металокерамічних покриттів, сформованих з використанням порошків ПР-НХ17СР4 на нікелевій основі, ПГ-ФБХ6-2 і ПР-Х30СРНДЮ на залізній основі, а також сталі 40ГР як еталону порівняння. При формуванні металокерамічних покриттів C_K у складі всіх паст становило 20 мас.%, $I_i = 75$ А, $f = 25$ Гц, $V_n = 4,6$ мм/с.

Проведені випробування показали, що найбільший знос (0,39 г) має сталь 40ГР (рис. 3.2). Використання у складі багатокомпонентної пасти для КВДЗ матричних порошків ПР-Х30СРНДЮ і ПГ-ФБХ6-2 на залізній основі забезпечує менший знос металокерамічних покриттів, ніж використання порошку ПР-НХ17СР4 на нікелевій основі [10] (рис. 3.2). Мінімальні значення зносу металокерамічних покриттів (0,15 г) забезпечує використання в складі багатокомпонентної пасти порошку ПР-Х30СРНДЮ.

Таблиця 3.1 – Результати дослідження впливу концентрації компонентів пасти та режимних параметрів КВДЗ на знос металокерамічних покриттів, сформованих способом КВДЗ.

№ досвіду	Результати досліджень			Середнє значення u	S_u^2	S_u
	u_1 , Г	u_2 , Г	u_3 , Г			
1	0,24	0,23	0,24	0,237	0,000036	0,005788
2	0,18	0,20	0,18	0,187	0,000134	0,011554
3	0,22	0,21	0,22	0,21	0,000036	0,005788
4	0,15	0,16	0,13	0,147	0,000234	0,015281
5	0,25	0,25	0,27	0,257	0,000134	0,011554
6	0,20	0,19	0,21	0,20	0,000100	0,0100
7	0,22	0,23	0,22	0,22	0,000034	0,005788
8	0,17	0,17	0,18	0,17	0,000034	0,005788
9	0,24	0,26	0,25	0,25	0,000100	0,010000
10	0,19	0,19	0,2	0,19	0,000034	0,005788
11	0,22	0,23	0,23	0,227	0,000036	0,005788
12	0,16	0,16	0,15	0,157	0,000036	0,005788
13	0,28	0,27	0,27	0,27	0,000036	0,005788
14	0,21	0,20	0,22	0,210	0,000100	0,010000
15	0,23	0,24	0,23	0,23	0,000036	0,005788
16	0,18	0,16	0,17	0,17	0,000100	0,0100
Σ					0,001202	0,005788
$S_{\max}^2 / \sum_{i=1}^{16} S^2$					0,0832	

Примітка: всі значення зносу наведені в грамах, тривалість випробувань – 10 годин

Оскільки знос обернено пропорційний зносостійкості I , то залежність зносостійкості металокерамічних покриттів, сформованих способом КВДЗ, від основних розглянутих факторів в графічному вигляді може бути представлена у вигляді рис. 3.1.

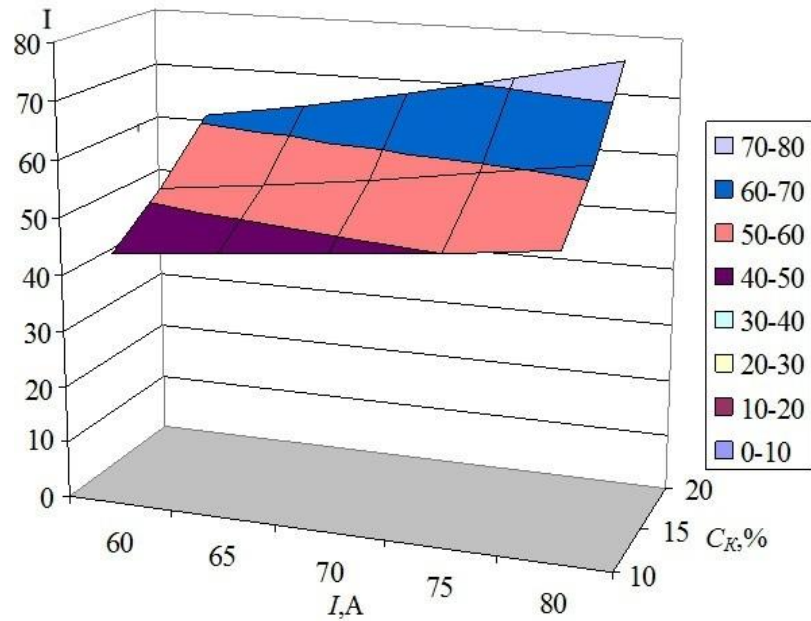


Рис. 3.1. Залежність зносостійкості металокерамічних покриттів, сформованих способом КВДЗ, від вмісту карбіду бору C_K і сили струму I_i при КВДЗ.

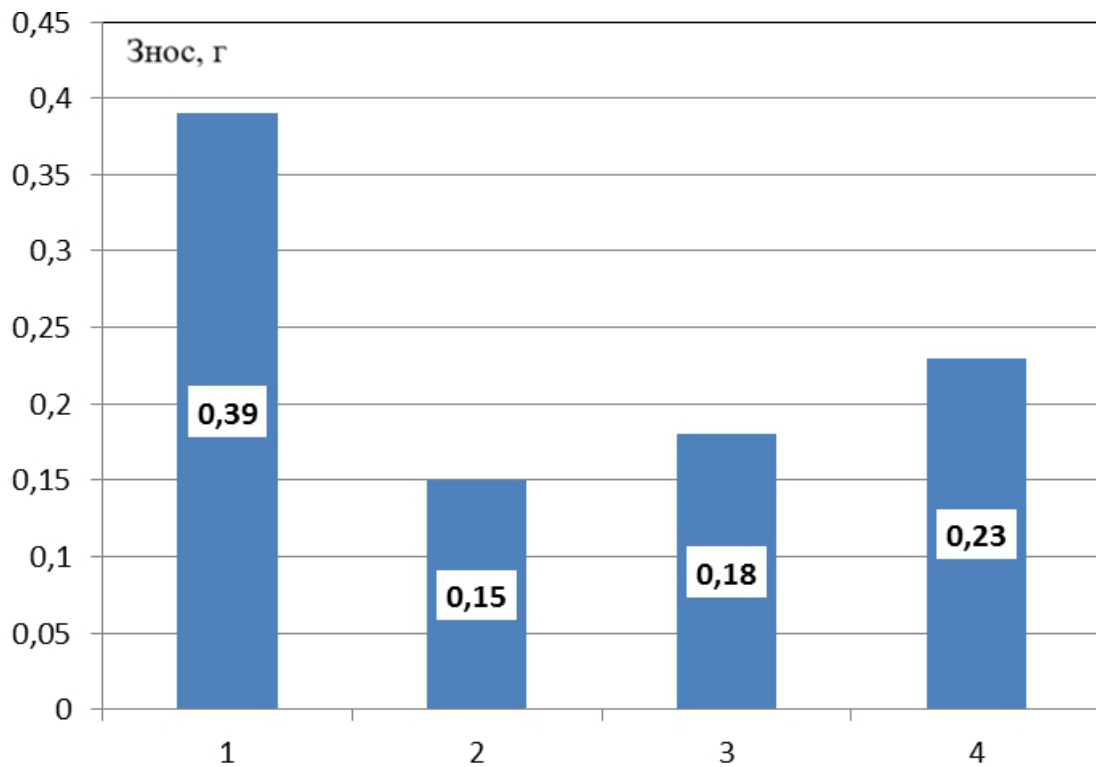


Рис. 3.2. Знос сталі 40ГР (1) і металокерамічних покриттів, сформованих способом КВДЗ з використанням матричних порошків ПР-Х30СРНДЮ (2), ПГ-ФБХ6- 2 (3) і ПР-НХ17СР4 (4).

У таблиці 4.18 наведено трибологічні характеристики випробовуваних металокерамічних покриттів. Аналіз отриманих даних дозволяє зробити висновок про те, що відносна зносостійкість металокерамічних покриттів у 1,7...2,6 рази перевищує зносостійкість сталі 40ГР. Найбільшу відносну зносостійкість (2,60) мають покриття, що містять у складі багатокомпонентної пасти для КВДЗ порошок ПР-Х30СРНДЮ.

Таблиця 3.2 – Трибологічні характеристики металокерамічних покриттів, сформованих способом КВДЗ, у порівнянні зі сталлю 40ГР

Випробовувані матеріали	Швидкість зношування, г/год	Зносостійкість, год/г	Відносна зносостійкість
1. Сталь 40ГР	0,039	25,64	1,0
2. Покриття, що містять у складі пасти порошок ПР-НХ17СР4	0,023	43,48	1,70
3. Покриття, що містять у складі пасти порошок ПГ-ФБХ6-2	0,018	55,56	2,17
4. Покриття, що містять у складі пасти порошок ПР-Х30СРНДЮ	0,015	66,67	2,60

3.2. Результати експлуатаційних випробувань.

Отримані під час проведення лабораторних випробувань на зношування дані не можуть бути остаточними в загальному обсязі проведених досліджень. Остаточну оцінку ефективності використання металокерамічних покриттів, що формуються способом КВДЗ на ріжучо-лезових частинах робочих органів ґрунтообробних знарядь для підвищення їх середнього міжремонтного ресурсу, можуть дати тільки експлуатаційні випробування відновлених і зміцнених робочих органів у порівнянні з новими робочими органами в заводському виконанні.

На полях ТОВ «Полісся» Коростенського району в умовах суглинних ґрунтів були проведені випробування робочих органів оборотного плуга EuroDiamant10 7+1 компанії Lemken. Проведені випробування показали, що залежність зносу ріжучої поверхні доліт даного плуга від напрацювання є прямопропорційною як для доліт у заводському виконанні, так і після їх відновлення з зміцненням КВДЗ (рис. 3.3, 3.4). Отримані результати добре узгоджуються з дослідженнями інших вчених, виконаними як в лабораторних, так і в виробничих умовах при проведенні випробувань робочих органів різної номенклатури

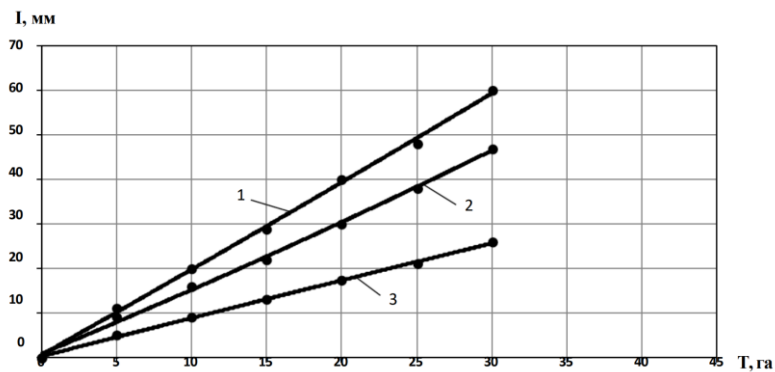


Рис. 3.4. Залежність зносу (I) доліт оборотного плуга EuroDiamant10 7+1 у заводському виконанні від напрацювання (T): 1 – заглиблююча частина, лінія вимірювання L1 ; 2 – лінія вимірювання L2 ; 3 – лінія вимірювання L3.

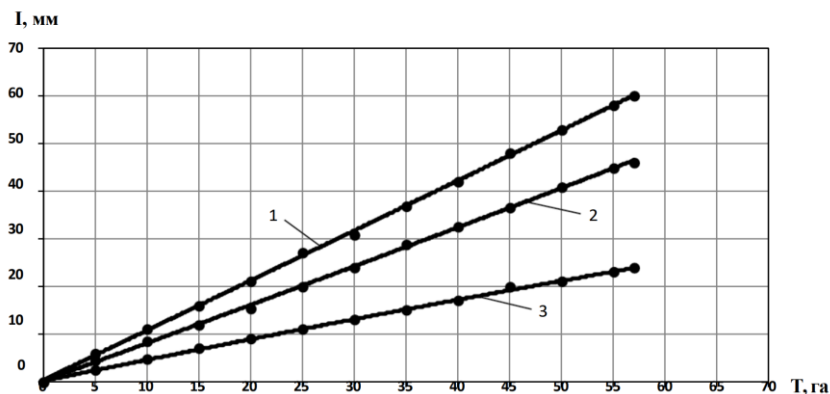


Рис. 3.5. Залежність зносу (I) відновлених з подальшим зміцненням КВДЗ доліт оборотного плуга EuroDiamant10 7+1 від напрацювання (T): 1 – заглиблююча частина, лінія вимірювання L1 ; 2 – лінія вимірювання L2 ; 3 – лінія вимірювання L3

Як видно з представлених даних, найбільш значному зносу піддається заглиблююча частина доліт по лінії вимірювання L1 (криві 1 на малюнках 3.4 і 3.5).

Так, при настанні граничного стану (знос заглиблювальної частини 60 мм) знос ріжучої частини долота по середній лінії (лінія вимірювання L₂) становить 48 мм у доліт заводського виконання і 46 мм для відновлених і зміцнених КВДЗ доліт, тобто на 20% і 23% менше. По лінії вимірювання L₃ знос ріжучої частини доліт заводського виконання становить 27 мм, відновлених і зміцнених КВДЗ – 24 мм. Отримані дані можуть бути пояснені найбільш високими навантаженнями з боку ґрунту на заглиблювальну частину доліт, як відновлених і зміцнених, так і заводського виконання.

Проведеними випробуваннями встановлено, що долота в заводському виконанні досягають граничного зносу заглиблювальної частини 60 мм при напрацюванні 30 га (рис. 3.4, крива 1), а відновлені з подальшим зміцненням КВДЗ – при напрацюванні 57 га (рис. 3.5, крива 1), тобто їх зносостійкість в 1,9 рази вища, ніж у доліт заводського виконання. Технічний стан доліт при проведенні виробничих випробувань наочно демонструє рисунок 3.6.

При проведенні експлуатаційних випробувань робочих органів одним з основних критеріїв, що визначають довговічність деталі, яка працює в контакті з ґрунтом, є її стійкість до абразивного зношування.

Проведеними випробуваннями встановлено, що зміна стійкості до абразивного зношування доліт як у заводському виконанні, так і відновлених і зміцнених КВДЗ, має однаковий характер по всіх лініях вимірювання зносів (рис. 3.7, 3.8).



Рис. 3.7. Долоти оборотного плуга EuroDiamant10 7+1: відновлене з подальшим зміцненням КВДЗ (а) після напрацювання 32 га; заводського виконання (б) після аналогічного напрацювання (досягло граничного стану)

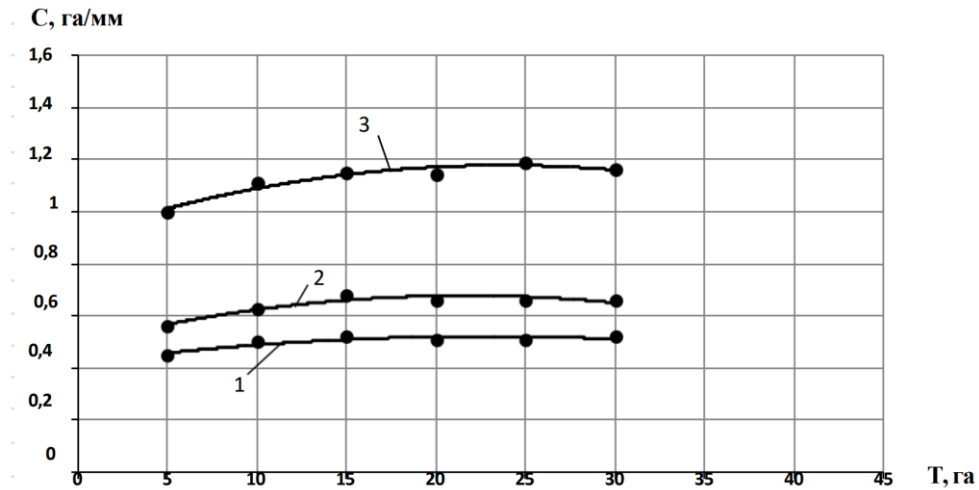


Рис. 3.8. Залежність стійкості до абразивного зношування (C) доліт оборотного плуга EuroDiamant10 7+1 у заводському виконанні від напрацювання (T): 1 – заглиблююча частина, лінія вимірювання L_1 ; 2 – лінія вимірювання L_2 ; 3 – лінія вимірювання L_3

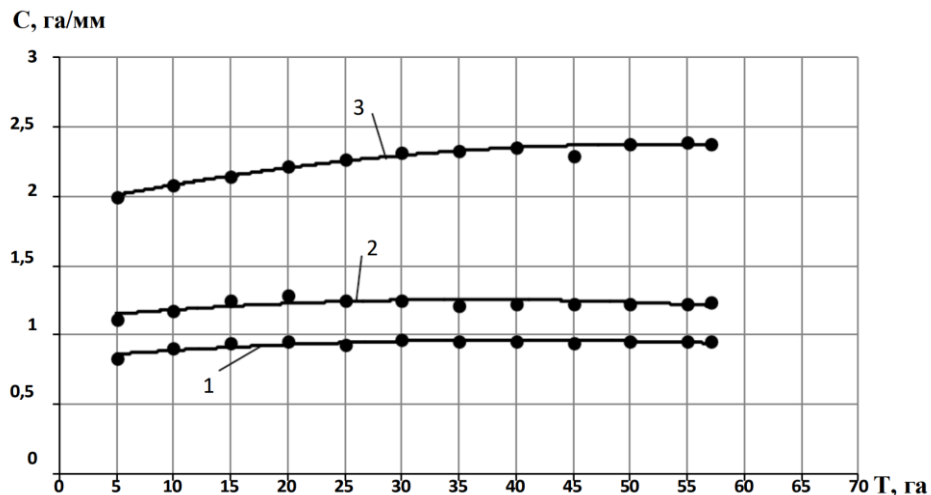


Рис. 3.9. Залежність стійкості до абразивного зношування (C) відновлених і зміцнених КВДЗ доліт оборотного плуга EuroDiamant10 7+1 від напрацювання (T): 1 – заглиблююча частина, лінія вимірювання L_1 ; 2 – лінія вимірювання L_2 ; 3 – лінія вимірювання L_3

На рис. 3.8, 3.9 можна виділити дві характерні зони: зону припрацювання і зону стабілізації процесів зношування. Зона припрацювання, що характеризує сумісність матеріалу робочого органу і металокерамічного покриття з зношуючим середовищем (грунтом) має місце при напрацюванні до 20 га. Після досягнення зазначеного напрацювання стійкість до абразивного зношування як доліт у заводському виконанні, так і відновлених і зміцнених КВДЗ,

вирівнюється і практично не змінюється по всіх лініях вимірювання зносу (рис 3.8, 3.9). Саме цими значеннями стійкості оперують при аналізі дослідних даних. В цілому найменшу стійкість до абразивного зношування долота мають по лінії вимірювання L_1 . Після стабілізації процесів зношування для доліт у заводському виконанні вона в середньому становить 0,54 га/мм (малюнок 3.8), для відновлених і зміцнених КВДЗ – 0,95 га/мм (рис. 3.9). Таким чином, стійкість до абразивного зношування відновлених і зміцнених КВДЗ доліт в 1,8 рази перевищує даний параметр для доліт у заводському виконанні.

Проведені випробування остовів лемішів оборотного плуга компанії Lemken показали, що залежність зносу їх ріжучих поверхонь по ширині від напрацювання, також як і для доліт даних плугів, є прямопропорційною, а найбільший знос характерний для області п'яти [4] (малюнок 3.10). Отримані дані узгоджуються з даними, представленими в розділі 1 при проведенні аналізу зношування лемішів плугів.

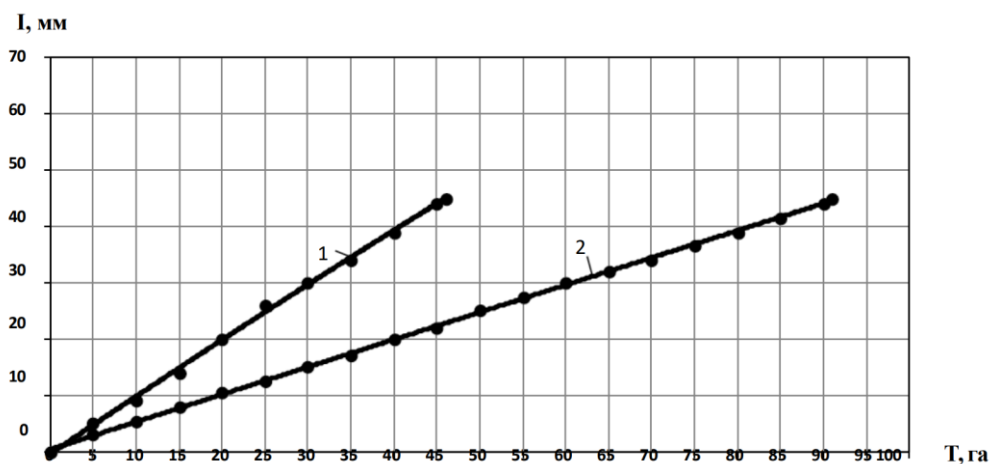


Рис. 3.10. Залежність зносу (I) ріжучих поверхонь остовів лемехів оборотного плуга EuroDiamant10 7+1 від напрацювання (T): 1 – лемех у заводському виконанні; 2 – лемех, відновлений з подальшим зміцненням КВДЗ

Проведеними випробуваннями встановлено, що остови лемехів у заводському виконанні досягають граничного зносу, що становить 45 мм [336], при напрацюванні 46 га (рис. 3.10), а відновлені з подальшим зміцненням КВДЗ – при напрацюванні 91 га, тобто їх зносостійкість в 2,0 рази вища. Технічний

стан остовів лемішів при проведенні виробничих випробувань наочно демонструє рис. 3.11.



а)



б)

Рис. 3.11. Остови лемішів оборотного плуга EuroDiamant10 7+1 після проведених випробувань: у заводському виконанні (а) після напрацювання 46 га (досягнув граничного стану) і відновлений з подальшим зміцненням КВДЗ (б) після аналогічного напрацювання

На рис. 3.12 і 3.13 представлені графіки, що характеризують знос ріжучих поверхонь остовів лемехів оборотного плуга EuroDiamant10 7+1 у заводському виконанні та відновлених з подальшим зміцненням КВДЗ по ширині в перерізах кріпильних отворів при різному їх напрацюванні. З представлених даних видно, що найменший знос ріжучої поверхні по ширині остови мають в перерізі L_3 першого кріпильного отвору, що добре узгоджується з даними інших дослідників. Для остовів лемехів у заводському виконанні при напрацюванні 46 га цей знос становить 34 мм, для відновлених з подальшим зміцненням КВДЗ лемехів – 16 мм (рис. 3.12). Для відновлених з подальшим зміцненням КВДЗ остовів лемехів при напрацюванні 91 га цей знос становить 32 мм (рис. 3.13).

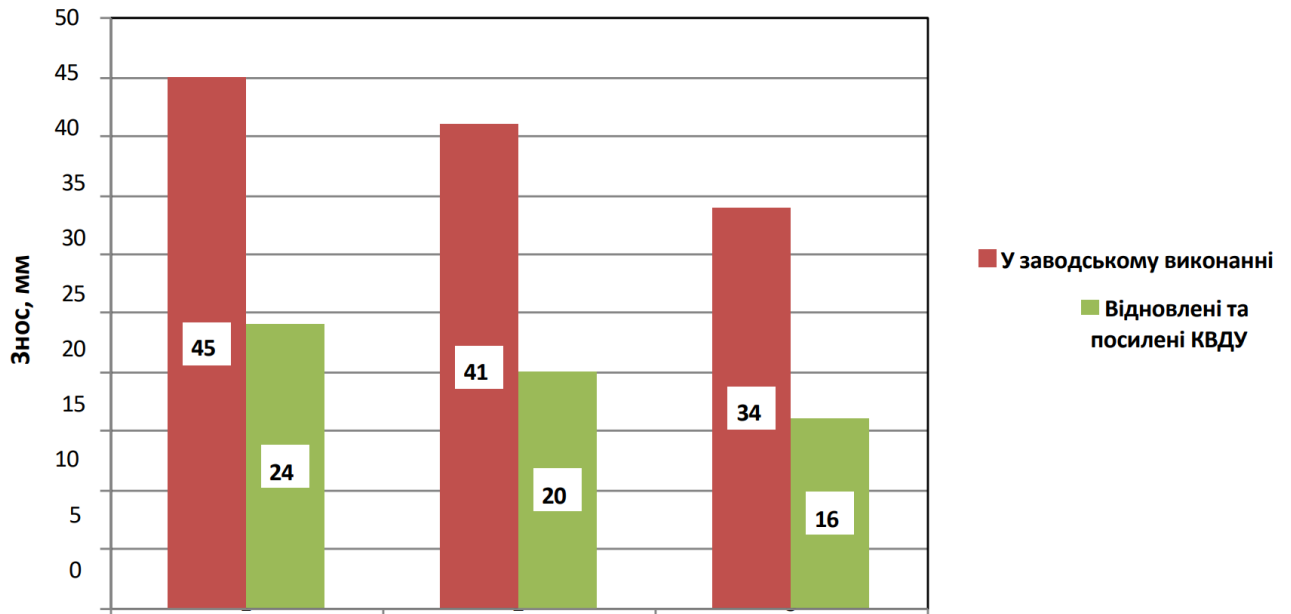


Рис. 3.12. Залежність зносу ріжучих поверхонь остовів лемішів оборотного плуга EuroDiamant10 7+1 по ширині при напрацюванні 46 га: 1 – в перерізі третього кріпильного отвору; 2 – у перерізі другого кріпильного отвору; 3 – у перерізі першого кріпильного отвору.

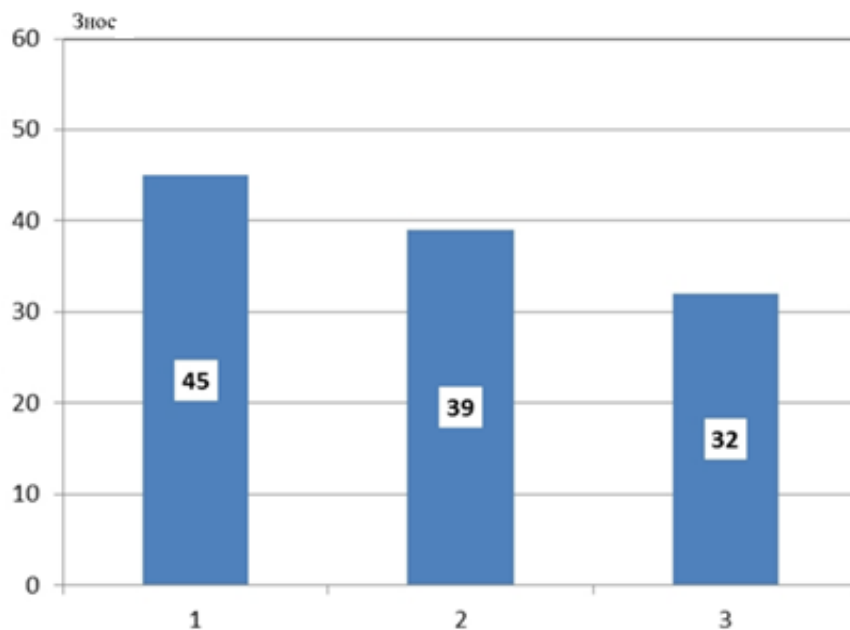


Рис. 3.13. Залежність зносу ріжучої поверхні відновлених з подальшим зміцненням остовів лемехів оборотного плуга EuroDiamant10 7+1 по ширині при напрацюванні 91 га: 1 – в перерізі третього кріпильного отвору; 2 – у перерізі другого кріпильного отвору; 3 – у перерізі першого кріпильного отвору.

На суглинних ґрунтах були проведені випробування стрілочастих лап універсального широкозахватного культиватора КШУ-12Н, які показали, що залежність зносу носової частини лап від напрацювання є прямопропорційною (рис. 3.13). Заводські стрілочасті лапи досягають граничного зносу носової частини 50 мм при напрацюванні 32 га (рис. 3.13), а відновлені з подальшим зміцненням КВДЗ – при напрацюванні 73 га, тобто їх зносостійкість у 2,3 рази вища, ніж у лап заводського виконання. Технічний стан лап під час проведення виробничих випробувань наочно демонструє рис. 3.14.

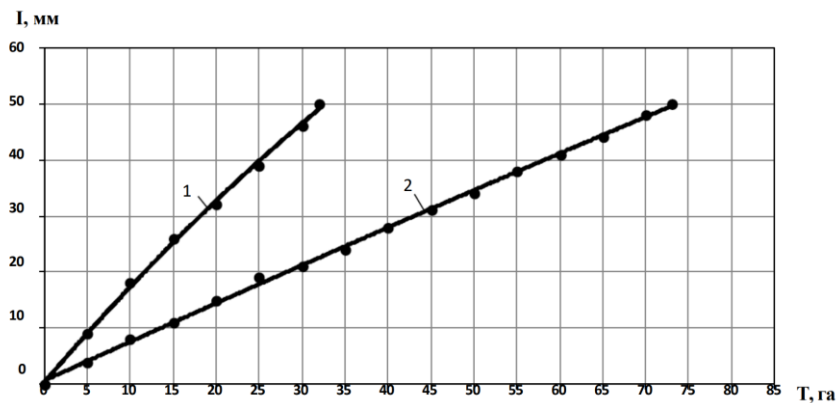


Рис. 3.14. Залежність зносу (I) носової частини стрілочастих лап культиватора КШУ-12Н від напрацювання (T) в умовах суглинних ґрунтів: 1 – лапа в заводському виконанні; 2 – лапа, відновлена з подальшим зміцненням КВДЗ

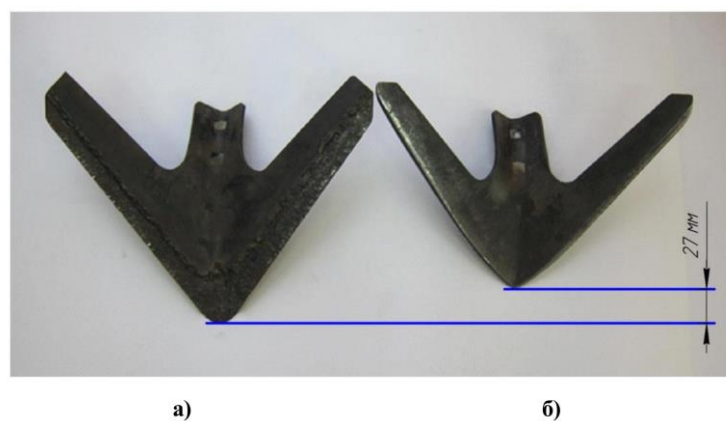


Рис. 3.15. Стрілочасті лапи культиватора КШУ-12Н: відновлена з подальшим зміцненням КВДЗ (а); у заводському виконанні (б) при напрацюванні 32 га

3.2 Розробка технології ремонту робочих органів ґрунтообробних знарядь із застосуванням способу КВДЗ

На підставі проведених наукових досліджень розроблена і запропонована виробництву технологія ремонту робочих органів ґрунтообробних знарядь з використанням металокерамічних покриттів, що мають заданий комплекс фізико-механічних властивостей і формуються із застосуванням способу КВДЗ на їх ріжучо-лезових частинах, що дозволяє істотно підвищити середній міжремонтний ресурс робочих органів. Розроблена технологія може бути успішно використана для відновлення з подальшим зміцненням різноманітних за конструктивним виконанням робочих органів як вітчизняних, так і зарубіжних ґрунтообробних знарядь. Технологія може бути використана на великих спеціалізованих підприємствах, що займаються ремонтом сільськогосподарської техніки та відновленням зношених деталей, а також у ремонтних майстернях невеликих фермерських господарств і сільгосппідприємствах. Впровадження розробленої технології у виробництво сприятиме ресурсозбереженню, забезпечить імпортозаміщення при відновленні з зміцненням робочих органів зарубіжної ґрунтообробної техніки, а також технологічний суверенітет і продовольчу безпеку нашої країни.

Розроблена технологія поділяється на два маршрути. Перший маршрут використовують для відновлення з подальшим зміцненням робочих органів, що мають знос ріжучо-лезових (заглиблювальних) частин, а також променеподібний знос робочих поверхонь, що супроводжується їх наскрізним протиранням. За даним маршрутом найбільш доцільно відновлювати і зміцнювати суцільнометалеві і складові леміші плугів, долота, польові дошки і відвали плугів, ножі швидкісних плугів, стрілчасті лапи культиваторів і посівних комплексів, долота глибокорозпушувачів і комбінованих агрегатів. За другим маршрутом доцільно відновлювати з подальшим зміцненням робочі органи, що

мають променеподібний знос робочих поверхонь, що не супроводжується їх наскрізним протиранням, перш за все відвали і груди відвалів.

Маршрут І.

Очищення відновлюваних робочих органів від грубих забруднень, таких, як залишки бур'янів або налиплого ґрунту, видалення іржі та інших незначних забруднень здійснюють кутовими переносними шліфувальними машинами, наприклад, МШУ-1,8-230 або УШМ-П125-1200, оснащеними чашоподібними щітками з крученого сталевого дроту за і з використанням зачисних кругів або пелюсткових шліфувальних дисків. При дефектації використовують штангенциркулі ШЦ і металеві вимірювальні лінійки.

Для проведення розмітки відновлюваних робочих органів доцільно використовувати штангенциркулі ШЦ-II-250-0,05 або ШЦР-250 0,1 і вимірювальні лінійки. Для видалення зношених ріжучо-лезових частин робочих органів в умовах дрібносерійного виробництва (невеликих ремонтних майстерень і майстерень фермерських господарств) доцільно використовувати ручні переносні кутові шліфувальні машини типу МШУ-2-230, УШМ-230-2100 або стаціонарні машини типу ПО-73260 і відрізнi карбідо-кремнієві круги типу А36SBF. Також для цих цілей може бути використаний портативний плазмовий апарат «Мультиплаз-3500» або плазморіз типу EasyCut PC-41 компанії Solaris. При виконанні даної технологічної операції в умовах серійного і масового виробництва на великих спеціалізованих підприємствах можливе використання газополум'яного (повітряно-плазмового) різання, а також застосування автоматизованих комплексів з розкрою металу. Так, наприклад, для цих цілей можуть бути використані ЧПУ-верстати плазмового різання Гефест 3-D, Фест, Фенікс, Юніор компанії «Центр плазмового різання», верстат лазерного різання металу з ЧПУ GIPERLASER або верстат плазмового різання металу з ЧПУ GIPERLASER, що випускаються компанією «Гіперплазма» та інше подібне обладнання, широко представлене в даний час на ринку. При проведенні даної технологічної операції необхідно здійснювати контроль температури в зоні

різання, щоб уникнути небажаних викривлень і деформацій деталі, а також порушення її вихідного структурного стану. Для формування фаски на неізношеній поверхні робочого органу доцільно використання шліфувального верстата типу 3К634 і шліфувальних кругів типу ПП 400х40х127. Фаска повинна бути виконана з двома симетричними скосами крайок.

Після видалення зношеної виготовляють нову ріжучо-лезову частину. В якості матеріалу для їх виготовлення використовують смуги, виготовлені з ресорно-пружинних сталей (наприклад, марок 50ХГ, 60Г, 65Г), термозміцнені до твердості 40...45 HRC. При використанні технології в майстернях невеликих сільгосп підприємств матеріалом нової ріжучо-лезової частини можуть служити зняті з експлуатації листи ресор відповідної форми і розмірів, твердість яких становить 40 HRC і вище. Форма і розміри нової ріжучо-лезової частини відповідають величині зносу робочого органу. Для виготовлення нової ріжучо-лезової частини використовують той самий інструмент і оснащення, що і при видаленні зношеної, фаску на її поверхні в місці з'єднання з незношеною частиною робочого органу також виконують аналогічно.

Потім здійснюють приварювання виготовленої ріжучо-лезової частини до відновлюваного робочого органу. При цьому використовують зварювально-складальні монтажні столи типу ССМД-01-02 і струбцини, наприклад, Kraftool Extrem 32229-150. Для різних робочих органів дана технологічна операція має свої особливості. Так, при відновленні доліт після проварювання кореневої частини шва проводиться його обварювання по поверхні. При накладенні швів слід звертати увагу на те, щоб вони не перекривали кріпильний отвір долота. Для посилення зварного з'єднання допускається його армування. Застосування даної технологічної схеми приварювання обумовлено недостатньою товщиною остова долота і процесом його стирання, в т.ч. і матеріалу зварного шва. Це, в свою чергу, призводить до порушення міцнісних властивостей зварного з'єднання.

При відновленні лемехів зварювання їх остова з новою ріжучою частиною здійснюють суцільним швом з двох сторін, що забезпечує необхідні міцнісні

властивості зварного з'єднання і відновленого лемеха в цілому. Щоб уникнути перегріву і деформацій відновлюваних лемехів, а також забезпечення необхідних характеристик міцності і зменшення ймовірності виникнення тріщин, зварювання остова з новою ріжучою частиною здійснюють окремими ділянками по 50...70 мм. При цьому зварювання доцільно починати з менш навантаженої області (носової частини остова) з подальшим переміщенням до більш навантаженої області (області п'яти).

Виконання зварювального шва за даною технологією забезпечує поступовий прогрів зварюваної області і її підвищені міцнісні характеристики, що особливо важливо для високовуглецевих сталей, використовуваних для виготовлення нових ріжучо-лезових частин, які традиційно відносять до групи важкозварюваних матеріалів.

При виконанні зварювального шва з тильного боку лемеша необхідно контролювати, щоб шов не перевищував ширину площини кріплення лемеша. В іншому випадку установка лемеша на плужний корпус буде істотно ускладнена або взагалі неможлива.

При відновленні стрілчастих лап культиваторів і посівних комплексів нову ріжучо-лезову частину приварюють до остову зверху (внахлест). При цьому з тильного боку вона приварюється суцільним швом на всю довжину крил лапи, а з робочої (лицьової) сторони – короткими ділянками по 18...20 мм для кожного крила.

Так само як і при відновленні остовів лемехів, в процесі приварювання нової ріжучо- лезової частини з тильного боку стрілчастої лапи зварювання необхідно здійснювати окремими ділянками по 40...50 мм. Кріплення нової ріжучо-лезової частини зверху остова створює умови утворення «мертвої зони» безпосередньо біля кріпильної частини лапи, знижуючи інтенсивність її зношування і сприяючи збереженню товщини, що в подальшому дозволяє проводити відновлення зношеної лапи кілька разів.

В умовах дрібносерійного виробництва для приварювання нових ріжучо-лезових частин використовують ручне електродугове зварювання та електроди з маловуглецевим стрижнем марки МР-3 діаметром 4 мм, використання яких дозволяє отримати відносно невисокі значення залишкових напружень і зменшити ймовірність утворення загартовувальних структур, гарячих і холодних тріщин у зварному з'єднанні. Зварювання доцільно здійснювати з використанням зварювально-складальних монтажних столів типу ССМД-01-02 та інверторних джерел зварювального струму типу САІ-200 ПРОФ, а також аналогічних за призначенням, що виробляються компаніями Аврора, Ресанта, Сварог, Вихор, FoxWeld, EuroLux та ін. В умовах серійного і масового виробництва для приварювання нових ріжучо-лезових частин доцільно використовувати зварювальні автомати типу АДФ-1000, АДС-1000, АДГ-630, АД-231, ТСФ-101 і аналогічні їм.

Сила струму при зварюванні становить 140...160 А. Зварювання нової ріжучо-лезової частини з відновлюваним робочим органом до її зміцнення способом КВДЗ дозволяє уникнути негативного теплового впливу від зварювання на фізико-механічні властивості покриття, що отримується при КВДЗ. Після приварювання ріжучо-лезової частини видаляють шлак зі зварювальних швів за допомогою молотка зварника типу START HA625-350 або аналогічних за призначенням. При необхідності здійснюють зачистку напливів зварювальних швів.

Для зважування компонентів пасти, що готується, доцільно використовувати лабораторні ваги, наприклад, ваги OHAUS CX1201 або аналогічні їм за точністю.

Склад використовуваної пасти: порошок ПР-Х30СРНДЮ на залізній основі – 75 мас.%, карбід бору – 20 мас.%, кріоліт – решта. Змішування вищевказаних порошків між собою здійснюють механічним способом на планетарній кульовій млині, наприклад, типу «Активатор 2SL». Далі в отриману порошкову суміш додають сполучну речовину (розчин клею ПВА-М),

перемішують до отримання однорідної маси (багатокомпонентної пасти) з використанням мішалки типу HOMELINK LMX165 і наносять на ріжучо-лезову частину робочого органу ($\Delta=2,0$ мм) з використанням дозатора, наприклад, дозатора LPF-100.

Після нанесення багатокомпонентної пасти робочі органи висушують у сушильній шафі типу ШС-80-01 (200) до її затвердіння. При температурі $85\ldots 90^{\circ}\text{C}$ час висихання пасти становить у середньому $9\ldots 10$ хв. Робочі органи ґрунтообробних знарядь після виконання даної технологічної операції представлені на рис. 3.16.



а)



б)



в)



г)

Рис. 3.16. Оборотні долота плугів компаній Gregoire Besson (а) і Lemken (б), стрілчаста лапа культиватора КШУ-12Н (в), лівий ніж швидкісного плуга ПСКУ (г) з нанесеною і висушеною багатокомпонентною пастою

Після цього проводять формування металокерамічного покриття шляхом розплавлення багатокомпонентної пасти.

Робочий орган фіксують на столі установки за допомогою пристосування, відповідного його конфігурації, яке дозволяє забезпечити горизонтальне розташування його ріжучо-лезової частини щодо виконавчої ланки установки.

Конструкція установки передбачає охолодження встановленого і закріпленого робочого органу, що додатково сприяє зменшенню його нагрівання. Режимні параметри КВДЗ: сила струму $I_i = 75 \dots 80$ А, $f = 25$ Гц, $V_n = 4,6 \dots 5,2$ мм/с.

Універсальність методу і конструкція установки дозволяють формувати металокерамічні покриття на робочих органах ґрунтообробних знарядь різних розмірів і конфігурації. За рахунок високого ступеня автоматизації технологічного процесу досягається висока якість одержуваних покриттів.

Заключною операцією технології є контроль якості відновлення та зміцнення робочого органу. Якість сформованого металокерамічного покриття перевіряють за допомогою лупи ЛП-1–10х (нерозплавлені ділянки не допускаються), його твердість – за допомогою переносного динамічного твердоміра типу ТКМ-359С.

Фотографії робочих органів, відновлених і зміцнених способом КВДЗ з використанням даного маршруту, представлені на рис. 3.17



Рис. 3.17. Долото (а) і остов (в) лемеша оборотного плуга EuroDiamant 10 7+1 компанії Lemken, долото (б) оборотного плуга RN-100 компанії Kverneland, стрілчаста лапа (г) культиватора КШУ-12Н, відновлені з подальшим зміцненням способом КВДЗ за розробленим маршрутом

Маршрут II.

При реалізації даного маршруту після очищення і дефектації зношеного робочого органу усунення його променеподібного зносу проводять шляхом заплавлення, використовуючи при цьому електроди з вмістом вуглецю в сталевому стрижні не більше 0,1%, наприклад, електроди Е42А-УОНІІІ-13/45-3,0-УО або МР-3 діаметром 3 мм. Дану технологічну операцію доцільно проводити окремими валиками, щоб уникнути значного перегріву відновлюваних робочих органів. Висоту валиків встановлюють залежно від глибини променеподібного зносу. Наплавлення здійснюють уздовж приблизної осі променеподібного зносу постійним струмом прямої полярності, сила струму при наплавленні становить 130...140 А. При наплавленні доцільно використовувати зварювально-складальні монтажні столи типу ССМД-01-02, в якості обладнання для наплавлення – інверторні джерела струму компаній Сварог, FoxWeld, EuroLux та ін., широко представлені в даний час на ринку.

Наплавлений шар, що отримується з використанням вищевказаних електродів, має високу пластичність, що призводить до невисокого рівня залишкових напружень і достатньої ударної в'язкості ремонтваних робочих органів. Також при виконанні даної технологічної операції знижується схильність до тріщиноутворення, що формується на поверхні наплавленого шару металокерамічного покриття.

Загальний вигляд грудей відвалу оборотного плуга компанії Kuhn із заплавленою зоною променеподібного зносу представлений на рис. 3.18.

Після заплавлення зони променеподібного зносу проводять її механічну обробку, використовуючи при цьому кутові переносні шліфувальні машини типу МШУ-1,8-230 або УШМ-П125-1200, оснащені зачисними кругами.

Далі зміцнення відновлюваних в у робочих в у органів здійснюють в у в у тій же послідовності, яка вже була представлена вище при описі маршруту I. Фотографія відновленої і зміцненої способом КВДЗ з використанням даного

маршруту грудей відвалу оборотного плуга компанії Kuhn представлена на рис. 3.19.



Рис.3.18. Грудь відвалу оборотного плуга компанії Kuhn після заплавлення променеподібного зносу.



Рис. 3.19. Грудь відвалу оборотного плуга компанії Kuhn, відновлені з подальшим зміцненням способом КВДЗ за розробленим маршрутом

Висновки по розділу

Таким чином, проведені експлуатаційні випробування дозволили встановити, що зносостійкість робочих органів ґрунтообробних знарядь, відновлених з подальшим зміцненням способом КВДЗ, зростає в 1,9...2,3 рази залежно від типу оброблюваних ґрунтів і виду робочого органу в порівнянні з робочими органами в заводському виконанні.

Розроблено технологію ремонту робочих органів ґрунтообробних знарядь, що включає їх відновлення шляхом заміни гранично зношеної ріжучо-лезової частини або заплавлення променеподібного зносу і подальше зміцнення відновлюваних поверхонь металокерамічними покриттями, що формуються способом КВДЗ на їх ріжучо-лезових частинах, що дозволяють істотно підвищити середній міжремонтний ресурс робочих органів. Технологія дозволяє відновлювати з подальшим зміцненням зношені робочі органи ґрунтообробних знарядь, різноманітні за своїм конструктивним виконанням.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У магістерській роботі на підставі комплексу проведених досліджень викладені нові науково обґрунтовані технологічні рішення важливої наукової проблеми, спрямованої на підвищення ресурсу робочих органів ґрунтообробних знарядь з використанням способу КВДЗ, впровадження яких вносить значний вклад у підвищення ефективності функціонування агропромислового комплексу країни

Експлуатаційними випробуваннями на суглинних і супіщаних ґрунтах широкої номенклатури робочих органів ґрунтообробних знарядь встановлено, що зносостійкість відновлених з подальшим зміцненням способом КВДЗ робочих органів в 1,9...2,3 рази перевищує зносостійкість аналогічних робочих органів у заводському виконанні. Проведеними випробуваннями встановлено параметри закону розподілу середніх доремонтних і міжремонтних експлуатаційних ресурсів робочих органів ґрунтообробних знарядь заводського виконання і відремонтованих. Середні міжремонтні ресурси відновлених з подальшим зміцненням способом КВДЗ робочих органів ґрунтообробних знарядь (на прикладі доліт оборотного плуга EuroDiamant10 7+1 компанії Lemken, стрілчастих лап культиватора КШУ-12Н, вертикальних ножів швидкісного плуга моделі ПСКу-6) перевищують середні доремонтні ресурси аналогічних робочих органів заводського виконання в 1,85...2,11 рази.

Розроблено та запропоновано виробництву технологію ремонту робочих органів ґрунтообробних знарядь, що включає їх відновлення та подальше зміцнення відновлюваної поверхні з використанням металокерамічних покриттів, що формуються способом КВДЗ. Використання запропонованої технології у виробництві сприятиме ресурсозбереженню та забезпечить відновлення і зміцнення робочих органів зарубіжних ґрунтообробних знарядь.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лисюк О., Сенчило М. Смик В., Білецький В. Основні види робочих органів, що застосовуються на ґрунтообробних знаряддях та їх конструктивні особливості. Сучасні технології та технічний сервіс: виклики і можливості: збірник матеріалів I Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (м. Кам'янець-Подільський, 16 жовтня 2025 року). Кам'янець-Подільський: Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», 2025. С. 98-102.
2. Ільченко А.В., Лисюк О.А., Смик В.С. Аналіз способів відновлення робочих органів ґрунтообробних знарядь і підвищення їхнього ресурсу. Збірник тез доповідей XXVI Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2025 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. С. 601-605.
3. Лисюк О.А. Обладнання та матеріали для формування металокерамічних покриттів методом карбовібродугового зміцнення. Студентські читання–2025: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників та здобувачів вищої освіти факультету інженерії та енергетики. 30 жовтня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 72-74.
4. 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.
5. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Міжнародний науковий журнал «Проблеми трибології». 2020. № 2. С 34–41.
6. Борак К. В., Крук І. С. Вплив швидкості руху ґрунтообробних агрегатів на інтенсивність зношування робочих органів. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. 2020. №1. С. 30–36.

7. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Проблеми трибології. 2020. № 2. С 34–41.
8. Rogovskii, I. L., Borak, K. V., Maksimovich, E. Yu., Smelik, V. A., Voinash, S. A., Maksimovich, K. Yu., & Sokolova, V. A. (2020). Wear resistance of blade and disc working bodies of tillage tilling machines hardened by electrodes. T-series. Journal of Physics : Conference Series. 1679 (4), art. №. 042084.
9. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.
10. Borak, K. V., Kulykivskyi V. L. Borovskyi V. M. Rudenko V. G., Dobranskiy S. S. Increasing the wear resistance of the working bodies of tillage machines by electrical discharge machining. Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. Випуск 3 (48) 2025. Технічні науки. С.149-160.
11. K. V. Borak, V. L. Kulykivskyi; D. I. Rudnik. Impact of the preliminary corrosion on the intensity of the abrasive wear of the working tools of the tillage machine. Scientific Works of VNTU, 2023, № 2. DOI: <https://doi.org/10.31649/2307-5392-2023-2-33-42>.
12. Аулін В. В. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості деталей та робочих органів сільськогосподарської техніки : дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.04 / Хмельниц. нац. ун-т. Хмельницький, 2015. 447 с.
13. Rabinowicz E., Dunn L. A., Russell P. G. A study of abrasive wear under three-body conditions. Wear. 1961. Vol. 4. P. 345–355. URL : [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(61\)90002-3](https://doi.org/10.1016/0043-1648(61)90002-3).
14. Zum Gahr K. H. Microstructure and Wear of Materials. Amsterdam : Elsevier, 1987. 560 p.
15. Hutchings I. M., Shipway P. Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials. 2nd ed. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2017. 416 p.
16. Stachowiak G. W., Batchelor A. W. Engineering Tribology. 4th ed. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2014. 884 p.

17. Archard J. F. Contact and rubbing of flat surfaces. *Journal of Applied Physics*. 1953. Vol. 24, No. 8. P. 981–988.
18. Hokkirigawa K., Kato K. An experimental and theoretical investigation of ploughing, cutting and wedge formation during abrasive wear. *Tribology International*. 1988. Vol. 21, No. 1. P. 51–57.
19. Neville A., Morina A. *Tribology of Agricultural Machinery*. Cambridge : Woodhead Publishing, 2020. 312 p.
20. Bayhan Y. Effect of soil type on wear of ploughshare materials. *Wear*. 2006. Vol. 260, No. 1–2. P. 171–178.
21. Roy M., Pauschitz A. Abrasive wear mechanisms of hardened steels in soil tillage applications. *Wear*. 2015. Vol. 332–333. P. 999–1008.
22. Godet M. *Usure et frottement des matériaux*. Paris : Hermès Science Publications, 2003. 368 p.
23. Berthier Y., Vincent L. *Mécanique du frottement et de l'usure*. Paris : Lavoisier, 2006. 412 p.
24. Rabinowicz E. *Frottement et usure des matériaux*. Paris : Dunod, 1995. 302 p.
25. Lafaye S., Dufrénoy P. Usure abrasive des aciers en milieu granulaire. *Revue de Métallurgie*. 2008. Vol. 105, No. 4. P. 201–209.
26. Cormier J., Joubert J. Influence de la microstructure sur l'usure abrasive des aciers faiblement alliés. *Matériaux & Techniques*. 2012. Vol. 100, No. 6. P. 503–511.
27. Vargiolu R. Revêtements durs pour la protection contre l'usure abrasive. *Traitements et Matériaux*. 2017. No. 58. P. 29–35.