

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

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ПАРФЕНЮК Євген Валерійович

УДК 631.335

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ
КУЛЬТИВАТОРІВ І РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЇХ ВІДНОВЛЕННЯ**

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
_____ Парфенюк Є. В.

Керівник роботи
Медведський О. В.
кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Парфенюк Є. В. Дослідження зношування робочих органів культиваторів і розробка технології їх відновлення – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

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

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення зносостійкості та працездатності робочих органів культиваторів шляхом удосконалення технології їх відновлення. У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження.

У першому розділі проаналізовано роль і значення культиваторів у сучасних технологіях обробки ґрунту, наведено їх конструктивні особливості та класифікацію. Розглянуто основні механізми зношування робочих органів і типові дефекти, що виникають у процесі експлуатації, а також визначено основні фактори, які впливають на довговічність деталей.

Другий розділ присвячено теоретичним і практичним засадам підвищення зносостійкості робочих органів. Проведено огляд сучасних методів відновлення, здійснено порівняльний аналіз їх ефективності та обґрунтовано вибір оптимального способу відновлення - дугового наплавлення порошковими дротами систем Fe–Cr–C і Fe–Cr–B–C. Розроблено технологічну схему процесу відновлення, яка враховує умови експлуатації культиваторів.

У третьому розділі наведено методику проведення експериментальних досліджень і результати випробувань відновлених деталей. Встановлено, що застосування запропонованої технології забезпечує підвищення твердості, зносостійкості та збільшення ресурсу роботи робочих органів культиваторів у польових умовах.

У загальних висновках підсумовано результати дослідження, підтверджено ефективність запропонованої технології та визначено напрями її практичного застосування у виробництві.

Ключові слова: дослідження, культиватор, робочий орган, зношування, відновлення, зміцнення.

ANNOTATION

Parfenyuk Y. V. **Research on the wear of cultivator working bodies and development of a technology for their restoration** – Qualification work on manuscript rights.

Qualification work for a master's degree in specialty 208 – agroengineering – Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

The master's thesis considers the issue of increasing the wear resistance and performance of cultivator working bodies by improving the technology for their restoration. The introduction substantiates the relevance of the topic, defines the goal, objectives, object and subject of the study.

The first section analyzes the role and significance of cultivators in modern soil cultivation technologies, gives their design features and classification. The main mechanisms of wear of working bodies and typical defects that arise during operation are considered, and the main factors that affect the durability of parts are also determined.

The second section is devoted to the theoretical and practical principles of increasing the wear resistance of working bodies. A review of modern restoration methods was conducted, a comparative analysis of their effectiveness was carried out, and the choice of the optimal restoration method was justified - arc surfacing with flux-cored wires of the Fe–Cr–C and Fe–Cr–B–C systems. A technological scheme of the restoration process was developed, which takes into account the operating conditions of cultivators.

The third section presents the methodology for conducting experimental research and the results of testing restored parts. It was established that the use of the proposed technology provides increased hardness, wear resistance and increased service life of the working bodies of cultivators in field conditions.

The general conclusions summarize the results of the study, confirm the effectiveness of the proposed technology, and determine the directions of its practical application in production.

Key words: research, cultivator, working body, wear, restoration, strengthening.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ КУЛЬТИВАТОРІВ	8
1.1. Роль і значення культиваторів у сучасних технологіях обробітку ґрунту.....	8
1.2. Конструктивні особливості та класифікація робочих органів культиваторів.....	11
1.3. Аналіз процесів зношування робочих органів культиваторів.....	16
1.4. Аналіз дефектів культиваторних лап, що виникають у процесі їх експлуатації.....	20
Висновки до розділу 1	22
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ ЗАСАДИ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ КУЛЬТИВАТОРІВ	23
2.1. Огляд існуючих методів відновлення зношених робочих органів.....	23
2.2. Обґрунтування вибору методу відновлення робочих органів культиваторів з урахуванням умов експлуатації.....	28
2.3. Розробка технологічної схеми процесу відновлення.....	31
Висновки до розділу 2	33
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ І ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ	35
3.1. Методика та умови проведення експериментальних досліджень.....	35
3.2. Вплив технології відновлення на зносостійкість і працездатність деталей...40	40
Висновки до розділу 3	42
ВИСНОВКИ	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	44

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Сучасне сільське господарство неможливе без ефективного використання ґрунтообробної техніки, зокрема культиваторів, які виконують широкий спектр технологічних операцій - від передпосівного обробітку ґрунту по догляду за посівами. В умовах інтенсивної експлуатації, дії абразивного середовища, змінних навантажень і корозійних факторів робочі органи культиваторів зазнають значного зношування. Це призводить до втрати працездатності машин, зниження якості обробітку ґрунту, підвищення енерговитрат та собівартості виробництва.

Проблема зношування робочих органів є однією з найактуальніших у системі технічного забезпечення агропромислового виробництва. За статистичними даними, понад 60 % відмов ґрунтообробних машин пов'язані саме з інтенсивним зносом деталей, що працюють у контакті з ґрунтом. Вартість нових комплектів робочих органів постійно зростає, що обумовлює економічну доцільність розроблення ефективних технологій їх відновлення і подовження ресурсу. Відновлення дозволяє знизити витрати на запасні частини, скоротити простої техніки, підвищити рентабельність експлуатації та зменшити негативний вплив на довкілля через скорочення кількості металевих відходів.

В умовах переходу аграрного сектору до ресурсозберігаючих технологій особливого значення набуває дослідження процесів зношування та пошук шляхів підвищення довговічності деталей шляхом удосконалення конструкційних матеріалів, покриттів, термічної та наплавочної обробки. Водночас впровадження нових технологій відновлення, зокрема із застосуванням плазмового напилення, електродугового наплавлення або композиційних матеріалів, відкриває перспективи для створення стійких і економічно вигідних систем технічного обслуговування ґрунтообробної техніки.

Таким чином, тема дослідження є актуальною, оскільки вона спрямована на вирішення комплексу науково-технічних і практичних завдань, пов'язаних із підвищенням надійності, довговічності та економічної ефективності використання культиваторів у сільському господарстві. Отримані результати можуть бути використані при модернізації існуючих машин, розробці нових

технологічних процесів відновлення, а також у системах технічного сервісу аграрних підприємств.

Об'єктом дослідження є процес зношування та відновлення робочих органів культиваторів, що працюють у контакті з ґрунтовим середовищем.

Предметом дослідження є закономірності зношування робочих органів культиваторів, їхній вплив на техніко-економічні показники роботи машини, а також технологічні параметри процесу відновлення, які забезпечують підвищення довговічності та надійності деталей.

Метою роботи є розробка науково обґрунтовану технологію відновлення робочих органів культиваторів з підвищеними показниками зносостійкості та довговічності на основі вивчення механізмів і характеру їх зношування в умовах експлуатації.

У зв'язку з поставленою метою в даній роботі вирішувалися наступні **завдання**:

1. Провести аналіз сучасного стану проблеми зношування робочих органів культиваторів і методів їх відновлення.
2. Дослідити характер та інтенсивність зношування залежно від умов експлуатації та властивостей матеріалів.
3. Визначити основні фактори, що впливають на зносостійкість робочих органів.
4. Розробити та обґрунтувати технологію відновлення з використанням сучасних методів наплавлення або нанесення зміцнювальних покриттів.
5. Провести експериментальну перевірку ефективності запропонованої технології.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження базувалися на використанні методів чисельного моделювання, заснованих на основних положеннях класичної механіки, газодинаміки, теорії вібрацій, ймовірності, пружності, дискретних елементів і багатофазної взаємодії. Для цього були застосовані методи диференціального та інтегрального числення. Дослідження проводилася із застосуванням математичного методу планування експерименту, а також методів натурних спостережень і експертних оцінок.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Парфенюк Є. В. Аналіз зношування робочих частин культиваторів і створення технологічних рішень для їх відновлення. *Наукові читання – 2025*: збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками I-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 23 квітня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С.74-76.

2. Парфенюк Є., Тимошук М., Сироїд Є. Застосування інноваційних методів у технічному сервісі ґрунтообробної техніки. *Сучасні технології та технічний сервіс: виклики та можливості*: I міжнародна науково-практична конференція. 16 жовтня 2025 р. Кам'янець-Подільськ: Подільський державний університет, 2025. С. 38-42.

3. Парфенюк Є. В. Аналіз дефектів культиваторних лап, що виникають у процесі їх експлуатації. *Студентські читання – 2025*: збірник тез доповідей науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників та здобувачів освіти факультету інженерії та енергетики Поліського національного університету. 30 жовтня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 51-52.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості безпосереднього використання розробленої технології відновлення робочих органів культиваторів у ремонтних майстернях, машинно-тракторних парках і сервісних центрах сільськогосподарських підприємств. Запропонована технологія забезпечує підвищення зносостійкості деталей, зменшення витрат металу та енергоресурсів, скорочення простоїв техніки та збільшення терміну служби робочих органів у 1,5–2 рази порівняно з серійними аналогами.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, трьох розділів, загальних висновків по роботі, списку використаних джерел. Основний текст магістерської роботи викладений на 38 сторінках, включаючи 20 рисунків та 7 таблиць. Список використаних джерел нараховує 18 найменувань і розміщений на 2 сторінках.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВІДНОВЛЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ КУЛЬТИВАТОРІВ

1.1. Роль і значення культиваторів у сучасних технологіях обробітку ґрунту

Культиватори займають провідне місце у системі сучасних технологій обробітку ґрунту, виконуючи широкий спектр агротехнічних операцій - від передпосівного розпушування до міжрядного обробітку культур. Основна роль культиваторів полягає у створенні оптимальних умов для росту рослин шляхом покращення структури ґрунту, знищення бур'янів, збереження вологи та забезпечення аерації кореневої системи.

Завдяки розвитку конструкцій і впровадженню енергозберігаючих технологій культиватори дозволяють значно знизити витрати пального, підвищити продуктивність праці та ефективність використання машинно-тракторного парку. Сучасні моделі обладнуються змінними робочими органами, що забезпечує їх універсальність - можливість використання в різних ґрунтово-кліматичних умовах і технологічних системах (традиційній, мінімальній, нульовій).

Крім того, культиватори відіграють важливу роль у екологізації землеробства: завдяки зменшенню глибини обробітку і кількості проходів по полю вони сприяють збереженню родючості ґрунту та зниженню ерозійних процесів. У комплексі з іншими знаряддями вони є основним елементом сучасних технологій ресурсозбереження і підвищення ефективності агровиробництва.

Види культиваторів за призначенням.

Культиватори поділяють за різними критеріями, серед яких головним є їх функціональне призначення. Залежно від цього розрізняють кілька основних типів [1]:

Парові культиватори (рис. 1.1) - це агрегати суцільної дії, призначені для розпушування ґрунту, підготовки його до посіву, з одночасним боронуванням,

підрізанням бур'янів і збереженням вологи. Їх основна мета - швидке та якісне оброблення верхнього шару землі. Такі машини зазвичай мають значні розміри та оснащуються механізмами регулювання глибини обробки.



Рис. 1.1. Культиватор паровий КПП-14,8, КПП-8

Просапні культиватори (рис. 1.2) застосовуються для міжрядного обробітку ґрунту перед або після посіву просапних культур - зокрема кукурудзи, картоплі, соняшнику тощо. Вони забезпечують розпушування, видалення бур'янів (через підрізання чи засипання їх ґрунтом), підгортання культур у рядках, внесення добрив та покращення аерації і вологості ґрунту. Ці моделі компактні, маневрові та мають широкі можливості регулювання параметрів роботи.



Рис. 1.2. Культиватор навісний КПН-5,6-02

Спеціальні культиватори (рис. 1.3) - садові, лісові, фрезерні, протиерозійні та інші - використовуються у вузьких сферах і нині поступово витісняються універсальними машинами.

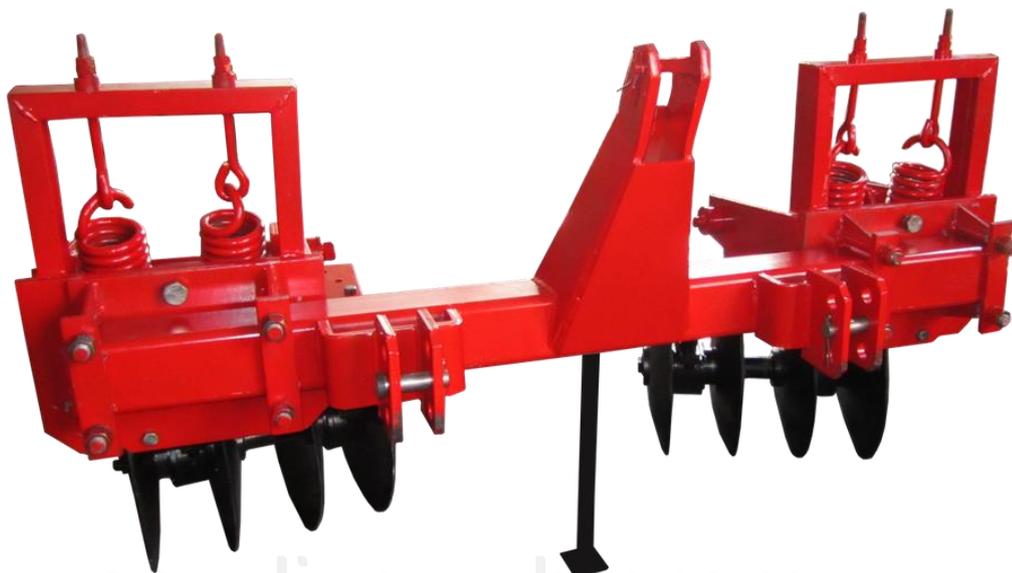


Рис. 1.3. Спеціальний культиватор лісовий борозний КЛБ-1,7

Універсальні культиватори (рис. 1.4) заслуговують окремого визначення, адже їх конструкція дозволяє виконувати кілька видів робіт. Вони можуть поєднувати функції парових і просапних агрегатів, що робить їх багатофункціональними, хоча й значно дорожчими за спеціалізовані моделі.



Рис. 1.4. Міжрядний універсальний культиватор КУМ-5,6 8-ми рядний

1.2. Конструктивні особливості та класифікація робочих органів культиваторів

Робочі органи культиваторів - це основні елементи, що безпосередньо взаємодіють із ґрунтом і визначають якість його обробітку, енергетичні витрати та ефективність роботи машини. Їх конструкція, форма і розташування суттєво впливають на глибину розпушування, ступінь подрібнення грудок і знищення бур'янів.

1.2.1. Класифікація робочих органів культиваторів

Робочі органи класифікують за різними ознаками:

1.1. За функціональним призначенням:

1. Розпушувальні (плоскорізні, лапові, чизельні) - призначені для основного або міжрядного обробітку ґрунту.
2. Зрізувальні (підрізні) - для підрізання бур'янів на невеликій глибині.
3. Подрібнювальні - руйнують грудки, вирівнюють поверхню поля.
4. Змішувальні - перемішують шар ґрунту з добривами або рослинними рештками.
5. Комбіновані - виконують кілька операцій одночасно (розпушування + вирівнювання + ущільнення).

1.2. За формою робочої частини:

- Плоскорізи - з прямими або косими лезами; працюють на малій глибині (5–10 см).
- Долота (чизелі) - мають вузьке долото для глибокого розпушування (до 30–40 см).
- Стрілчасті лапи - універсальні, для розпушування та підрізання бур'янів.
- Сферичні та дискові - обертові елементи, що рихлять ґрунт із мінімальним зсувом.
- Пружинні зуби - використовуються у культиваторах суцільної дії для поверхневого обробітку.

1.3. За способом взаємодії з ґрунтом:

- Пасивні (нерухомі) - переміщуються разом із культиватором, без обертання.

- Активні (обертові) - приводяться в рух від вала трактора або власного механізму.

1.4. За видом встановлення:

- Жорстко закріплені - прості в конструкції, застосовуються при легких умовах.

- Пружинні або підресорені - мають еластичні кріплення, що зменшують перевантаження при зіткненні з перешкодами.

1.2.2. Конструктивні особливості основних типів

2.1. Стрілчасті лапи

- Складаються з корпусу, стійки та ріжучої частини (двох крил).
- Забезпечують підрізання бур'янів і рівномірне розпушування.
- Кут загострення леза - $25-30^\circ$, кут атаки до ґрунту - $10-15^\circ$.
- Виконуються зі сталі 65Г або 60С2А, часто мають зносостійке наплавлення.

2.2. Долотоподібні робочі органи (чизельні лапи)

- Призначені для глибокого розпушування без обороту пласта.
- Корпус має вигнуту форму для зменшення опору.
- Робоча частина - долото або наконечник, який можна замінювати.
- Використовуються у чизель-культиваторах для обробітку ущільненого шару ґрунту.

2.3. Пружинні лапи

- Оснащені гнучкими стійками з ресорної сталі.
- Добре копіюють рельєф поля.
- Ефективні для передпосівного та міжрядного обробітку.

2.4. Дискові робочі органи

- Складаються з обертового диска діаметром 400–600 мм.

- Забезпечують дрібне розпушування, подрібнення грудок і зароблення рослинних решток.

- Кут нахилу диска до напрямку руху (кут атаки) - 15–25°.

- Підшипникові вузли захищені від пилу та вологи.

2.5. Комбіновані секції

- Містять кілька елементів: передні долотоподібні лапи, за ними - дискові або пружинні борони.

- Виконують повний цикл обробітку за один прохід.

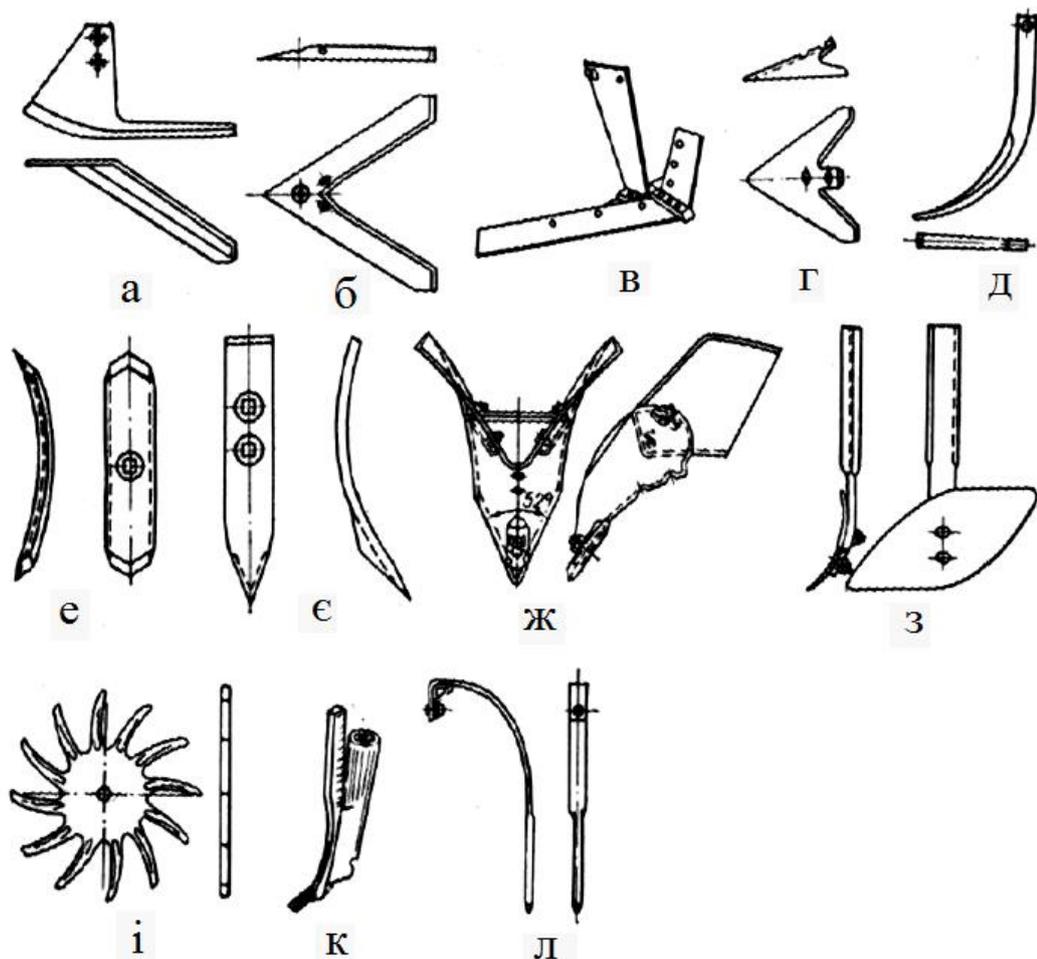


Рис. 1.5. Робочі органи культиваторів [5]: а – однобічна плоскорізальна лапа; б – стрілчаста плоскорізальна лапа без хвостовика; в – плоскоріз; г – стрілчаста універсальна лапа з хвостовиком; д – розпушувальна долотоподібна лапа; е – розпушувальна оборотна лапа; є – списоподібна лапа; ж – підгортач; з – лапа-полиця; і – голчастий диск; к – підживлювальний ніж; л – полільний зуб

1.2.3. Матеріали та зносостійкість

Основний матеріал - високовуглецева або борована сталь (Сталь 65Г, 40Х, 30ХГСА).

Для підвищення довговічності використовують:

- термічну обробку (гартування, відпуск);
- наплавлення твердими сплавами (типу ПГ-С27, АНЖ-1);
- змінні леза або накладки з карбідів.

Вимоги до робочих органів:

1. Забезпечення стабільної глибини ходу.
2. Мінімальний опір руху.
3. Стійкість до зношування.
4. Простота регулювання і заміни.
5. Енергозбереження при роботі з різними типами ґрунтів.

Таблиця 1.1. Приклади сучасних конструкцій

Тип робочого органу	Конструктивна особливість	Призначення
Стрілчаста лапа	Симетричне лезо, кут атаки 12°	Суцільне розпушування
Долотоподібна лапа	Вузьке долото, замінний наконечник	Глибокий обробіток
Пружинна лапа	Гнучка стійка з ресорної сталі	Міжрядна культивация
Дисковий ніж	Обертовий диск 450 мм	Подрібнення грудок
Комбінована секція	Долото + диск + коток	Поверхнево-глибоке розпушування

В конструкціях культиваторів застосовують кілька типів систем кріплення робочих органів до рами: одношарнірну (радіальну) - індивідуально-повідцеву або секційну, та багатшарнірну (паралелограмну).

Одношарнірна індивідуально-повідцева система (рис. 1.6, а) характеризується тим, що до повідця, який шарнірно з'єднаний із рамою, приєднується лише один робочий орган.

У радіальній секційній системі (рис. 1.6, б) до одного шарнірно закріпленого повідця монтують уже кілька робочих елементів, що утворюють секцію.

Паралелограмна система кріплення (рис. 1.6, в) передбачає з'єднання секції (гряділя) з робочими органами та опорним колесом із рамою за допомогою паралелограмного механізму. Така конструкція дає змогу підтримувати стабільну глибину обробітку по всій ширині захвату агрегату. Основним недоліком цієї системи є підвищена конструктивна складність порівняно з одношарнірним варіантом [2 - 5].

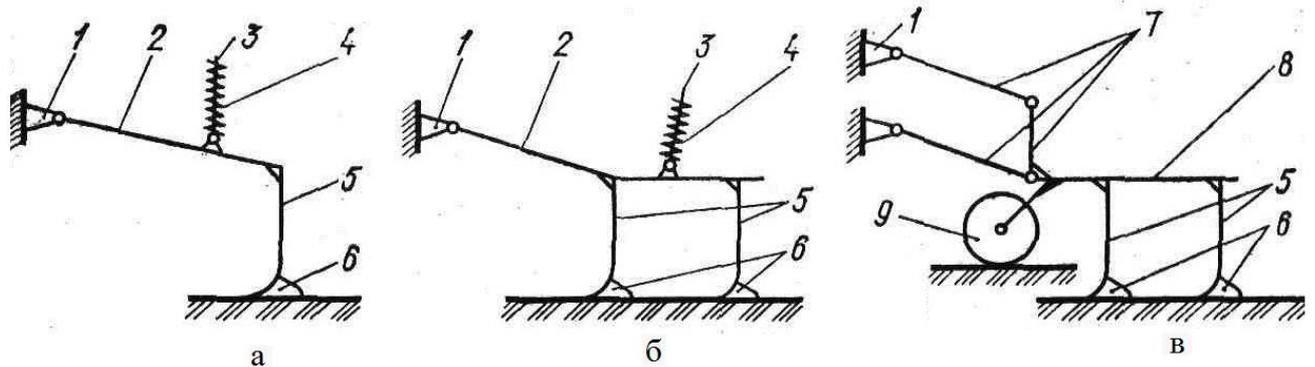


Рис. 1.6. Системи кріплення робочих органів культиватора: а – радіальна індивідуально-повідцева; б – радіальна багатосекційна; в – паралелограмна; 1 – поперечний брус рами; 2 – повідець; 3 – штанга; 4 – пружина; 5 – стояки; 6 – лапи; 7 – паралелограмний механізм; 8 – гряділь; 9 – опорне колесо

Робочі органи культиваторів відіграють ключову роль у забезпеченні якісного обробітку ґрунту. Вибір їх типу залежить від агротехнічних вимог, глибини обробітку та типу ґрунтів. Сучасні тенденції спрямовані на підвищення довговічності, зменшення енергозатрат і комбінування кількох операцій в одному робочому проході.

1.3. Аналіз процесів зношування робочих органів культиваторів

Робочі органи культиваторів - це елементи, які безпосередньо взаємодіють із ґрунтом під час розпушування, підрізання бур'янів та інших операцій. Через інтенсивний контакт із абразивними частинками ґрунту, вологістю, добривами та хімічними реагентами вони зазнають механічного, корозійного та ерозійного зношування. [6, 7]

Зношування призводить до зменшення розмірів, зміни геометрії, погіршення якості обробітку, підвищення енергоспоживання та зниження ресурсу машини.

Таблиця 1.2. Основні види зношування

Вид зношування	Характеристика	Типові ділянки прояву
Абразивне	Викликається тертям ґрунтових частинок і мінеральних включень по поверхні металу	Леза лап, робочі крайки доліт, полозки
Адгезійне	Виникає при мікрозварюванні контактних поверхонь і відриві матеріалу	Зони інтенсивного тиску або тертя метал-метал
Корозійне (хімічне)	Внаслідок взаємодії металу з вологою, добривами, хімікатами.	Зовнішні поверхні, що контактують із вологим ґрунтом
Утомне	Викликане циклічними навантаженнями, що призводять до появи мікротріщин	Зони кріплення, згину, переходи перерізів
Ерозійне	Спричинене потоком частинок або рідини під великим тиском	Поверхні, на які спрямовано потік ґрунту

Фактори, що впливають на інтенсивність зношування:

1. Фізико-механічні властивості ґрунту: вологість, щільність, вміст піску, глини, кам'янистих включень.
2. Матеріал робочого органа: твердість, мікроструктура, наявність легувальних елементів (Cr, Mn, V, Mo).
3. Швидкість руху культиватора: з підвищенням швидкості до 12–14 км/год інтенсивність абразивного зносу зростає у 1,5–2 рази.
4. Глибина обробітку: більша глибина - більший контакт із твердими частинками.
5. Тип і геометрія робочого органа: форма леза, кут атаки, ширина захвату впливають на рівномірність навантаження.
6. Технологічний стан поверхні: шорсткість, якість наплавлення чи зміцнення.

Зношування відбувається у три етапи:

1. Стадія припрацювання (0–10% ресурсу): відбувається згладжування мікронерівностей.
2. Стадія нормальної роботи (основний період): інтенсивність зносу майже постійна.
3. Стадія аварійного зношування (кінцева стадія): зростання швидкості втрати маси, поява тріщин, викришування.

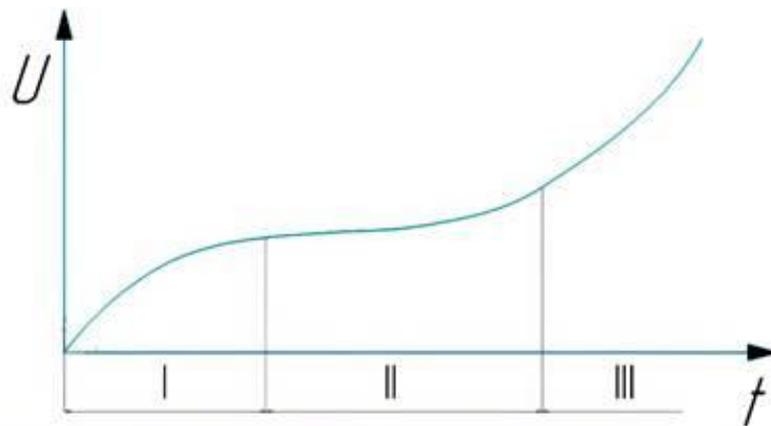


Рис. 1.7. Залежність зносу від тривалості (обсягу робіт): I – стадія припрацювання; II – стадія нормальної роботи; III – стадія аварійного зношування

Таблиця 1.3. Методи оцінки зношування

Метод	Сутність	Переваги
Ваговий	Визначення втрати маси після певного обсягу роботи	Простий і точний
Лінійний	Вимірювання зміни геометричних розмірів (товщини, довжини)	Дає змогу оцінити нерівномірність
Мікроструктурний	Аналіз змін у структурі металу після роботи	Виявляє внутрішні дефекти
Поверхнева твердометрія	Вимірювання зміни твердості після експлуатації	Дозволяє визначити ступінь зміцнення або розм'якшення

Механізм зношування при дії напівзакріпленого абразиву реалізується переважно за рахунок пластичного деформування поверхневого шару матеріалу, тоді як частка процесів мікрорізання є менш значною. Про одночасний прояв обох типів абразивного зношування свідчить наявність на робочих поверхнях ґрунтообробних знарядь слідів мікрорізання, поєднаних із ділянками, що мають полірований вигляд (рис. 1.8) [6, 7].



Рис. 1.8. Типова поверхня тертя робочих органів ґрунтообробних машин (робочі органи фірми «Vednar FMT», напрацювання агрегату 130 га, Попільнянський район Житомирська область) [6, 8]

Згідно з дослідженнями К. Хокірігави та К. Като, абразивне зношування може відбуватися у трьох характерних режимах (рис. 1.9) [6].

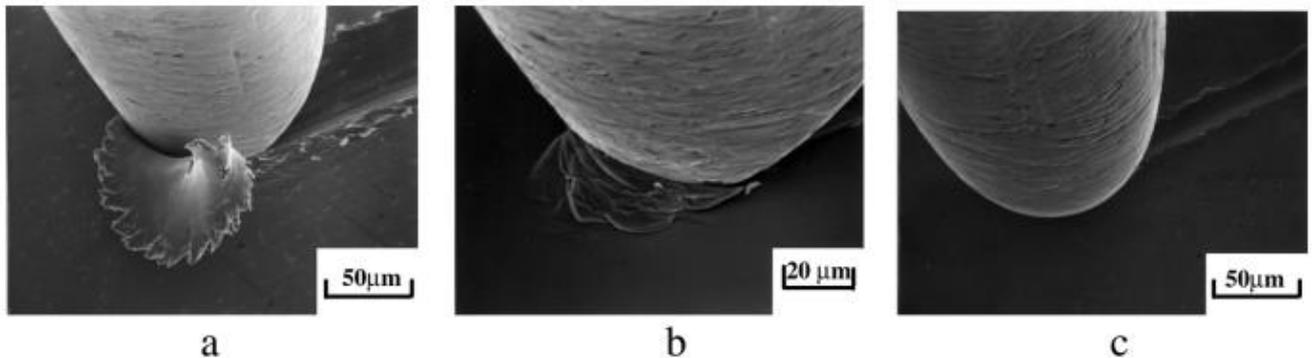


Рис. 1.9. Три різні режими абразивного зносу, що спостерігаються за допомогою SEM: режим різання (а), сталевий штифт на латунній пластині; клиноутворювальний режим (б), сталевий штифт на пластині з нержавійної сталі; режим оранки (с), сталевий штифт на латунній пластині [6]

Режими зношування, наведені на рис. 1.9, характеризують процеси, що відбуваються за участю закріплених абразивних частинок, однак вони не здатні повністю відобразити складну природу абразивного зношування, яке має місце під час контакту сталеві поверхні з ґрунтовим середовищем. Абразивні частинки в ґрунті, взаємодіючи з поверхнею робочого органу, можуть фіксуватися з одного, двох або навіть трьох боків, тобто володіти різними ступенями свободи, що суттєво впливає на характер і механізм процесів тертя та зношування [6].

У процесі роботи ґрунтообробних машин шорсткість металевих поверхонь їхніх робочих органів зазнає поступових змін, наближаючись до певного стабільного стану. У деяких випадках поверхня має тенденцію до вирівнювання та полірування, тоді як в інших - початково гладка поверхня, навпаки, набуває шорсткості. Такий характер зміни зумовлюється домінуванням того чи іншого механізму зношування - полідеформаційного руйнування або мікрорізання.

Під час експлуатації в ґрунтовому середовищі поверхня робочих органів зазнає дії обох зазначених типів зношування. Превалювання одного з них визначається властивостями абразивної маси (розмір і форма частинок, ступінь їх закріплення, вологість тощо), умовами роботи (тиск у зоні контакту, швидкість відносного переміщення) та фізико-механічними характеристиками матеріалу поверхні. У процесі багаторазової взаємодії абразивних частинок із металом змінюються й їхні власні геометричні параметри: частинки поступово округлюються, що спричиняє зменшення їхнього коефіцієнта форми та, відповідно, впливає на подальший характер зношування.

Шляхи зменшення зношування робочих органів ґрунтообробних машин:

1. Вибір зносостійких матеріалів: боровані, марганцевисті, хромисті сталі (наприклад, 65Г, 30ХГСА, 38ХНЗМА).
2. Термообробка: загартування, цементація, борування, азотування.
3. Поверхнєве зміцнення: наплавлення зносостійких сплавів, плазмове напилення, лазерне гартування.
4. Оптимізація геометрії: зміна кута атаки, профілю леза, що зменшує опір руху.
5. Регулярне технічне обслуговування: очищення, заміна або відновлення наплавленням.
6. Використання композитних матеріалів: поєднання металу та карбідів (WC, TiC) у робочій зоні.

1.4. Аналіз дефектів культиваторних лап, що виникають у процесі їх експлуатації

Робочі органи машин залишаються працездатними доти, доки їхні геометричні та конструктивні параметри забезпечують виконання основних функцій у межах допустимих відхилень, установлених нормативно-технічною та конструкторською документацією. Для кожного робочого органу визначається кілька показників, що характеризують його граничний технічний стан.

Пластична деформація або руйнування таких елементів виникає внаслідок недостатнього запасу міцності окремих деталей чи в результаті аварійних ситуацій, спричинених порушенням правил експлуатації, ударом об сторонні предмети тощо (рис. 1.10). У подібних випадках пошкоджені робочі органи підлягають заміні, після чого облік їхнього ресурсу починається заново [7, 8].



Рис. 1.10. Загальний вигляд деформованих (руйнованих) культиваторних лап: а – відлом крила культиваторної лапи КПС-270; б – відлом крила в місці кріплення лапи культиватора КВАНТ–12; в – протирання місця кріплення відновленої культиваторної лапи КПС-330 [8, 9]

Зменшення робочої ширини захвату внаслідок лінійного зношування деталей по довжині та ширині викликає необхідність виконання додаткових технологічних операцій.

Для оцінки доцільності відновлення робочих органів, що експлуатуються на різних типах ґрунтів, спочатку здійснюють операцію дефектування. У процесі цієї перевірки деталі класифікують на три групи:

- придатні для подальшого використання;
- такі, що можуть бути відновлені або відремонтовані (рис. 1.1, б, в);
- та непридатні, які підлягають вибракуванню (рис. 1.11, а).



Рис.1.11. Загальний вигляд гранично зношених робочих органів з вибракувальними ознаками за шириною захвату, товщиною та шириною:
 а – наскрізне протирання у місці кріплення (підлягає вибракуванню);
 б, в – мають граничне зношення крил (придатні для відновлення) [8, 9]

Відновленню підлягають ті деталі, які досягли граничного рівня зношення та втратили працездатність, але можуть бути відремонтовані за умови технічної можливості виконання відповідних операцій.

Дотримання встановлених умов експлуатації робочих органів забезпечує своєчасну заміну зношених елементів на нові або відновлені, що дає змогу мінімізувати кількість непридатних деталей і скоротити витрати на закупівлю нових запасних частин.

Висновки до розділу 1

В даному розділі було підтверджено, що ефективність культиваторів значною мірою визначається станом їхніх робочих органів. Аналіз зношування й методів відновлення засвідчив потребу у вдосконаленні технологічних процесів відновлення, зокрема шляхом застосування нових зносостійких матеріалів і комбінованих методів зміцнення поверхонь.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ ЗАСАДИ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ КУЛЬТИВАТОРІВ

2.1. Огляд існуючих методів відновлення зношених робочих органів

Серед різноманітних ґрунтообробних робочих органів стрілчасті лапи культиваторів є найбільш поширеними у сільськогосподарському виробництві. Тому навіть незначне вдосконалення їхніх конструктивних чи технологічних характеристик може забезпечити помітний позитивний економічний ефект. У зв'язку з цим питання підвищення підрізальної здатності та збільшення міжремонтного ресурсу таких робочих органів набуває особливої актуальності.

Попри тривалий період використання, стрілчаста лапа культиватора і сьогодні залишається предметом численних наукових і практичних досліджень. Це пояснюється безперервним зростанням вимог до якості обробітку ґрунту. На даний момент не існує універсальних підходів чи методик, що гарантували б суттєве підвищення довговічності лап культиваторів. Хоча тематика зносостійких робочих органів активно вивчається, наявні конструкції, оснащені елементами локального зміцнення, поки що не є оптимальними.

Серед розробок, що заслуговують на увагу, можна відзначити плоскоріз із зубчастими робочими органами, а також леміш із переривчастим нанесенням твердого сплаву [10, 11]. У таких конструкціях процес зсуву ґрунту частково замінюється його відривом, що знижує тяговий опір і збільшує строк служби. Проте технологія наплавлення твердих сплавів є досить трудомісткою, тому подібні лемеші не набули широкого поширення.

З метою вдосконалення робочої кромки була розроблена конструкція лемеша з точковим зміцненням, яка утворює хвилясту форму леза. Під дією електричної дуги твердий сплав, взаємодіючи з несучим шаром у процесі дифузії, формує мікроконуси, спрямовані вершинами вглиб основного металу

(рис. 2.1). Експериментальні випробування таких лемешів засвідчили, що хвилясто-ступінчаста форма ріжучої кромки виникає внаслідок інтенсивного спрацювання нижньої поверхні леза при мінімальному зношенні верхньої.

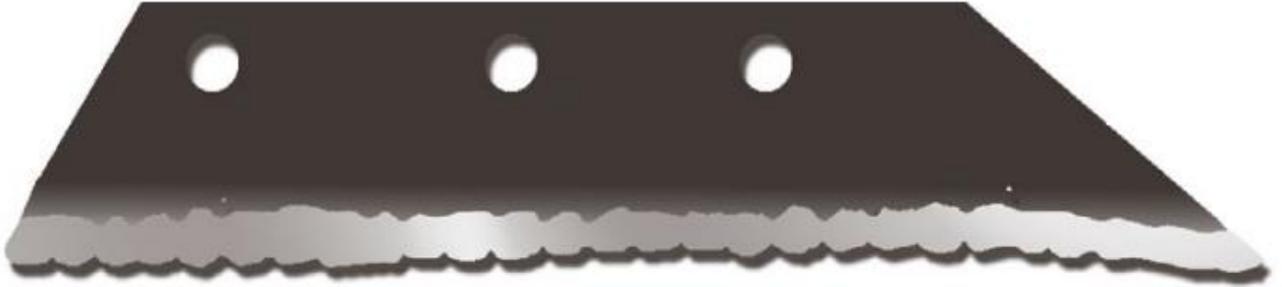


Рис. 2.1. Леміш з точковим зміцненням [10]

Цей ефект пояснюється положеннями теорії різання анізотропних матеріалів, згідно з якою руйнування матеріалу відбувається не строго у площині руху леза, а за рахунок його обтікання частинками ґрунту. При цьому об'єм ґрунту, що взаємодіє з кромкою, може розширюватися лише в напрямку зон зниженого тиску [10, 12]. Саме така зона формується під нижньою частиною леза з точковим зміцненням у результаті прискореного спрацювання несучого шару, що й забезпечує характерний профіль ріжучої кромки.

Хвилясто-ступінчаста форма леза дає змогу зменшити питомий тиск на окремі ділянки ріжучої кромки, що призводить до істотного зниження швидкості його лінійного зношування. Унаслідок цього підвищується зносостійкість і подовжується термін служби лемеша.

На процес утворення хвилястого профілю леза помітно впливає кут загострення. Зі збільшенням цього кута стабілізація форми леза відбувається повільніше, проте незалежно від початкового значення кута, після встановлення оптимальної геометрії вона зберігається до завершення ресурсу роботи лемеша.

З урахуванням наведених результатів можна зробити висновок, що точкове наплавлення, яке формує хвилясту ріжучу кромку, має перевагу перед лінійним способом і потребує подальших експериментальних досліджень.

Однак залишаються невирішеними питання, пов'язані з оптимізацією форми та розташування елементів локального зміцнення на робочій поверхні лапи, а також зі зменшенням впливу потоку ґрунту на поверхню культиваторної лапи під час її експлуатації.

До основних напрямів підвищення зносостійкості ґрунтообробних машин науковці відносять: збільшення товщини матеріалу в зонах інтенсивного спрацювання; застосування змінних або посиленних лез; використання об'ємної та поверхневої термообробки; удосконалення структури матеріалу деталей шляхом легування; а також нанесення на робочі поверхні композиційних або зміцнених шарів [10–14].

Серед сучасних технологій особливої уваги заслуговують лазерна обробка та нанесення композиційних покриттів, які забезпечують формування на ріжучих кромках зміцнених зон. У процесі експлуатації вони утворюють характерну пилкоподібну форму леза [12-15], що сприяє зменшенню тягового опору та підвищенню ефективності роботи робочих органів.

Експериментальні дані свідчать, що лазерна термообробка дозволяє зменшити швидкість спрацювання носових частин деталей у 1,3–1,4 раза порівняно з традиційною об'ємною термообробкою. Крім того, наплавлення сплавом ПС-14-60 із додаванням 6 % карбиду бору (B_4C) знижує інтенсивність зношування в 1,7–1,8 раза відносно базової індукційної технології [15, 16]. Такі методи також запобігають зростанню тягового опору в процесі обробітку ґрунту.

Дослідження [17-21] підтвердили можливість підвищення рівномірності зношування ріжучої кромки й, відповідно, збільшення ресурсу стрілчастих лап культиваторів завдяки індукційному наплавленню кераміко-металевого покриття змінного складу (рис. 2.2). Порошкову суміш наносять різними варіантами:

- А) чотири зони наплавлення (суміші А + Б + В + Г);
- Б) три зони наплавлення (суміші А + Б + Г).

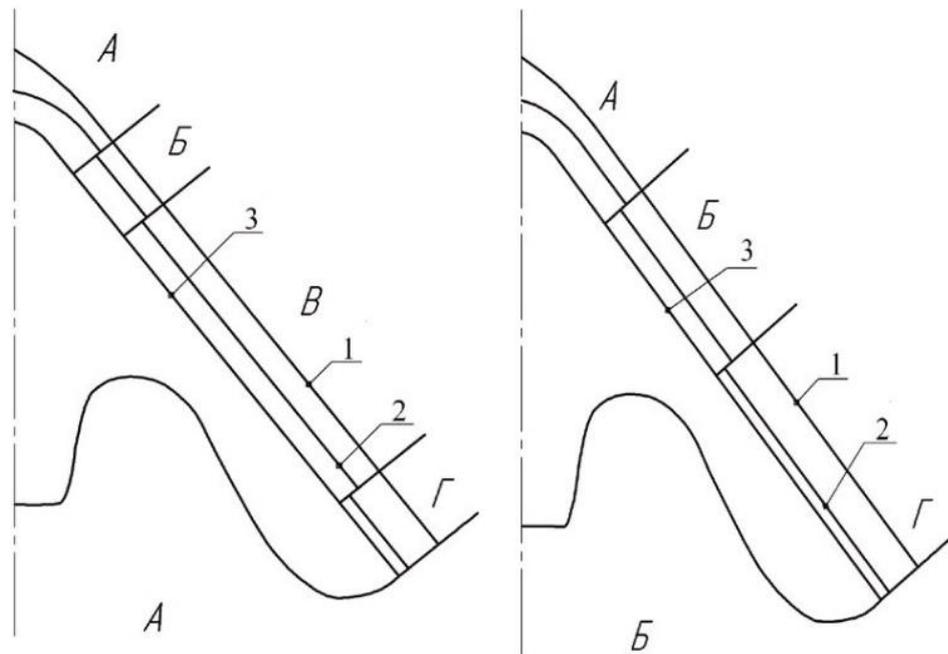


Рис. 2.2. Прогнози зміни форм зміцнених лез культиваторних лап у разі їх зношування: 1 – контур напавленої лапи; 2 – прогнозована лінія зносу; 3 – контур напавленого шару

Інтерес становить також культиваторна лапа з нижньою підрізкою фірми **HORCH**, у якій зубці формуються безпосередньо під час виготовлення. Відстань між зміцненими смугами менша за їхню ширину, тому різальним елементом виступає сама зона зміцнення. Завдяки однаковій твердості по всій ширині досягається рівномірне зношування. У процесі абразивної дії ріжуча кромка набуває плавно хвилястої форми без гострих виступів, що забезпечує ефективніше різання.

Ще одним прикладом є лапа культиватора з точковим зміцненням фірми **CASE**, у якій зносостійкий матеріал наноситься краплинним методом на крила лапи. Це дозволяє значно підвищити стійкість до спрацювання без зміни режиму різання.

На сьогодні універсальні методики підвищення довговічності лап культиваторів усе ще не розроблені. Тому найбільш перспективним напрямом вважається комплексний підхід, що передбачає поєднання технологічного

удосконалення матеріалів, оптимізації геометрії робочих органів і впровадження сучасних методів локального зміцнення.

Таблиця 2.1. Порівняльні методи відновлення зношених робочих органів культиваторів

Метод	Максимальна товщина / втрати, які можна відновити	Тепловий вплив (деформація)	Адгезія / зчеплення	Типові матеріали	Вартість / ресурс	Переваги	Недоліки
Дугова наплавка (SMAW, SAW)	До кількох мм, іноді 5–10 мм+	Висока	Дуже хороша (металургічна зв'язка)	Леговані дроти, карбіди	Помірна	Універсальність, велика відновлювальна здатність	Ризик деформацій, тріщини, розбавлення
Плазмовий / порошковий наплавок (PTA)	Середні втрати	Середній	висока	порошки карбідів, сплави	висока	кращий контроль, тонші шари	Дорожче обладнання
Термічне напилення (HVOF, APS, плазмове)	Невеликі втрати / тонкі шари	Низький	Середня - висока	Метали, кераміка, композити	Висока	Мінімальний вплив на форму	Обмеження товщини, можливі дефекти
Лазерне клатинг / наплавка	Середні втрати	Дуже низький	Дуже висока	Порошки, карбіди	Дуже висока	Прецизійний, зносостійкий	Висока вартість, обмеження розмірів
Хіміко-термічне зміцнення (борування тощо)	Невеликі зноси	Низький	В межах поверхні	Бор, азот, карбон тощо	Середня	Без змін геометрії, простота	Не відновлює великі втрати
Комбіновані (наплавка + механічна обробка)	Великі втрати	Залежить	Висока	Комбінації	Висока	Точна геометрія, покращене зчеплення	Трудомісткість, вартість

2.2. Обґрунтування вибору методу відновлення робочих органів культиваторів з урахуванням умов експлуатації

Найкращий універсальний метод для більшості реальних умов (середньо- та високоабразивні ґрунти України, обмежений бюджет, ремонт у майстерні господарства) - це дугове наплавлення порошковим дротом із підвищеним вмістом карбідів Cr (Fe–Cr–C або Fe–Cr–B–C) з отриманням твердості ~58–64 HRC і правильною схемою валиків на лезі/носку. Він дає 2.5–4× приріст ресурсу за найменшою вартістю на 1 га, зберігає ремонтпридатність і не вимагає дорогого обладнання, на відміну від лазерного наплавлення чи напилення.

Щоб ми могли вибрати «один найкращий» метод, оцінюємо методи за 6 ключовими критеріями, а саме:

1. Зносостійкість проти абразиву (кварцовий пісок, чорнозем із піщаними включеннями): наскільки зростає ресурс.
2. Ударна в'язкість/сколюваність (камінці, грудки): чи не «вибиває» ребро.
3. Собівартість (матеріал + робота + енергія).
4. Технологічність (доступність обладнання та кваліфікації в майстерні).
5. Ремонтпридатність (можливість локально підправити, перешліфувати).
6. Сумісність із базовою сталлю (типові сталі лез/лап: 45, 65Г, 40Х тощо).

Методи для відновлення робочих органів культиваторів з урахуванням умов експлуатації:

- Дугове наплавлення порошковим дротом Fe–Cr–C / Fe–Cr–B–C (високохромисті карбіди) - класика для робочих органів: оптимум «ціна/ефект», стабільна твердість, добра зносостійкість саме в піско-абразиві.

- Лазерне наплавлення (Ni- або Fe-основа з карбідами/WC) - найвища керованість структури та мінімальна ЗТВ, але дороге обладнання/послуги.
- Твердосплавні напайки/пластини (WC, Stellite) - максимальна зносостійкість, але висока ціна й ризик сколювання на кам'янистих полях.
- Газотермічне/детонаційне напилення - тонкі шари з високою твердістю; чутливі до підготовки, гірша ударна витривалість на агроінструменті.
- Хіміко-термічна обробка (борування/нітроцементация) - добре для нових деталей; для зношених лез слабше окупається: локально відновити профіль і товщину складно.
- Змінні леза - чудово з точки зору простою/логістики, але це не «відновлення», а заміна; економіка залежить від цін на оригінальні/сумісні леза.

Таблиця 2.2. Оціночна матриця (узагальнено)

Метод	Зносостійкість	Ударна витривалість	Вартість	Технологічність	Ремонтпридатність	Підсумок
Fe–Cr–C(FCAW)	Висока	Середньо-висока	Низька/середня	Висока	Висока	Найкращий баланс
Лазерне	Дуже висока	Висока	Висока	Низька/аутсорс	Середня	Лідер, але дорого
Твердосплавні пластини	Максимальна	Низько-середня (сколювання)	Дуже висока	Середня	Середня	Для екстремального абразиву/високих швидкостей
Напилення	Висока (тонкий шар)	Середня/низька	Середня/висока	Середня	Середня	Чутливе до ударів/сколювання
ХТО (бор, нітро)	Середньо-висока	Середня	Середня	Низька (для вживаної деталі)	Низька	Краще для серійного нового інструменту
Змінні леза	Висока (як у нових)	Як у заводських	Залежить від цін	Найвища	Найвища	Стратегія заміни, не «відновлення»

Рекомендований метод: дугове наплавлення дротом Fe–Cr–C / Fe–Cr–В–С.

Нижче більш детально опишемо чому саме даний метод ми використовуємо:

- Оптимум «гривня за гектар»: матеріали (порошковий дріт 1.6–2.4 мм) доступні; робота виконується звичайним зварювальним постом FCAW/MMA; 2.5–4× приріст ресурсу проти «чорної» сталі - типовий результат у піско-абразивних ґрунтах.

- Стійкість до реальних ударних навантажень: карбідні включення в матриці Fe забезпечують баланс твердість/в'язкість; менший ризик сколювання, ніж у напаяного WC на тонкій підкладці.

- Контрольована геометрія: можна локально відновити носок/лезо та форму профілю з мінімальною переточкою.

- Ремонтопридатність: легко «підсвіжити» шар після сезону або інтегрувати у регламент ТО-2.

Базова технологічна карта:

- Матеріал дроту: Fe–Cr–C (типові еквіваленти: 5–7% C*екв + 20–30% Cr) або Fe–Cr–В–С (борокарбідні системи для більшої абразивної стійкості).

- Твердість цільова: 58–64 HRC (контроль за EN ISO 6508-1 / ДСТУ EN ISO 6508-1).

- Підготовка: зняти «втомлений» метал, заокруглити гострі тріщини; знежирення; прогрів 150–250 °С для сталей 45/40Х/65Г (знижує ризик тріщин), підтримувати міжпрохідну $T \leq 250\text{--}300$ °С.

- Режими FCAW: діаметр 1.6–2.0 мм; струм 160–220 А; напруга 22–26 В; короткі валики 30–60 мм «ялинкою», з перекриттям 30–50%.

- Конструкція шару:

- На носку: 2–3 валики поперек із посиленим ребром зносу.

- На лезі: тонка «доріжка» 1–2 проходи, не «наглухо»; залишити можливість переточки.

- Фініш: легке шліфування фаски леза ($3-5^\circ$) для збереження «самозаточувального» ефекту; відпуск $180-220^\circ\text{C}$, 1–2 год (за можливості) для зняття напружень.

- Контроль якості: візуальний/капілярний контроль тріщин; твердомір Rockwell C по плямах; перевірка профілю.

2.3. Розробка технологічної схеми процесу відновлення

Культиваторні лапи зазвичай виготовляють із високоякісної марганцевої сталі марки 65Г або зі сталі Ст.6. Їхня твердість становить $312-541\text{ кг/мм}^2$ ($3210-5410\text{ МН/м}^2$) і досягається за рахунок загартування ріжучої кромки по всьому периметру з подальшим відпуском при оптимальному температурному режимі, що забезпечує необхідну міцність та зносостійкість робочої поверхні.

Для дугового наплавлення стрілочастих лап культиватора застосовували матеріал дроту: Fe–Cr–C. Спочатку встановлювали максимальну вихідну потужність генератора на першому етапі процесу. Тривалість нагрівання на цій стадії підбирали так, щоб температура поверхні, яка підлягає зміцненню, досягла точки плавлення наплавлюваного сплаву. На другому етапі потужність генератора поступово зменшували, що дозволяло забезпечити мінімальний рівень підігріву основного та наплавленого металу, запобігаючи їх перегріванню та деформації.

Таблиця 2.3. Ступені регулювання параметрів режиму наплавлення

Ступені регулювання параметрів режиму наплавлення	Час нагрівання, с	Анодний струм, А	Струм сітки, А	Анодна напруга, кВ
1	18	14,0 ... 16,0	2,2 ... 2,3	9,5 ... 11,0
2	11	12	2,0	9

На відміну від процесу оранки, культивация передбачає обробіток більш розпушеного шару ґрунту, що суттєво впливає на характер і інтенсивність зношування стрілочастих лап культиватора.

На рис. 2.3 подано загальний вигляд спрацювання лап із шириною захвату 270 мм після обробітку 20 гектарів ґрунту - як звичайного, так і важкого чорнозему. Із наведених схем видно, що найінтенсивніше зношування відбувається у зоні носка лапи, тоді як зі збільшенням відстані від нього ступінь спрацювання ріжучої кромки поступово зменшується.



Рис. 2.3. Стрілчаті лапи культиватора: а – нова; б – після експлуатації

Інтенсивність зношування ріжучих кромки зростає зі збільшенням щільності ґрунту. Зокрема, лапа, розташована по осі руху культиватора, зазнає зносу приблизно у 1,5 рази швидше, ніж сусідня.

Тип і характер зносу лап культиватора залежать від вологісного стану та типу ґрунту, тому протягом одного сезону навіть на тій самій ділянці форма зношування може змінюватися. Під час літнього міжрядного обробітку, коли вологість низька, переважає зношування верхньої грані ріжучої кромки. У разі обробки вологого, пухкого ґрунту інтенсивність зносу помітно знижується, і верхня грань леза спрацьовується значно повільніше.

Отже, при виборі методу зміцнення культиваторних лап необхідно враховувати умови їхньої експлуатації та тип оброблюваного ґрунту.

Під час експлуатаційних випробувань зміцнених стрілчастих лап культиватора половину зразків зміцнювали з лицьового боку, а решту - з тильного (рис. 2.4), що дозволило оцінити вплив напрямку дугового наплавлення на характер зношування.

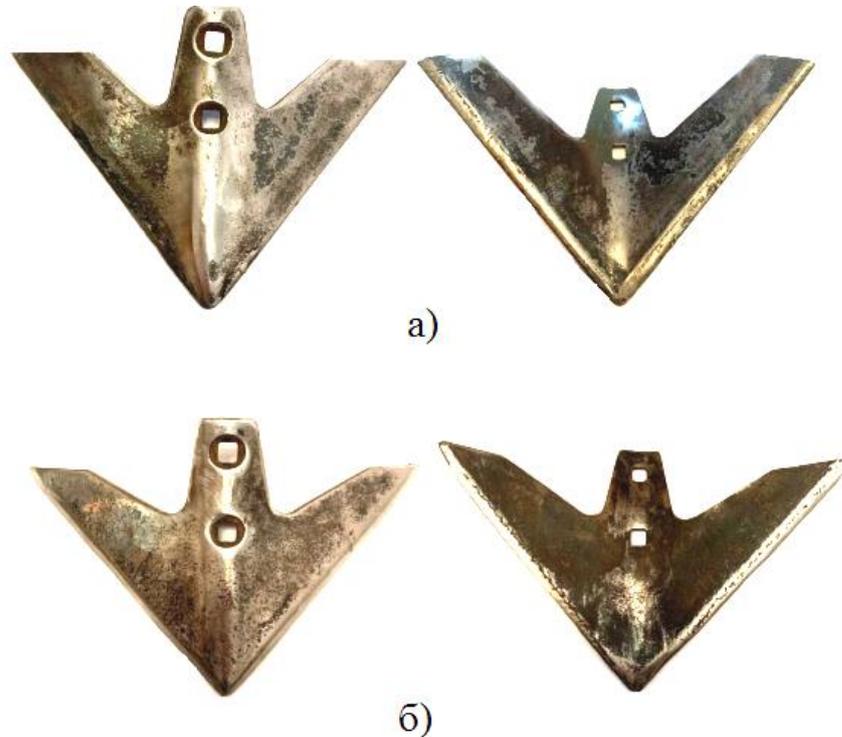


Рис. 2.4. Стрільчасті лапи культиватора, зміцнені дуговим методом наплавлення з лицьової і тильної сторони - а); зношені лапи культиватора з лицьової і тильної сторони - б)

Висновки до розділу 2

Проведений аналіз існуючих методів відновлення робочих органів культиваторів показав, що найефективнішими у сільськогосподарських умовах є способи, які забезпечують високу твердість робочої поверхні та зберігають достатню в'язкість металу основи.

Серед сучасних технологій відновлення оптимальним за показниками «ефективність – вартість – технологічність» визначено дугове наплавлення

порошковим дротом системи Fe–Cr–C (або Fe–Cr–B–C), яке забезпечує підвищення ресурсу робочих органів у 2,5–4 рази при збереженні ремонтпридатності.

Запропонована технологічна схема процесу відновлення включає підготовку поверхні, наплавлення з контролем температурного режиму, шліфування леза та контроль твердості, що гарантує стабільну якість покриття та продовження терміну служби деталей.

Застосування рекомендованого методу дозволяє знизити експлуатаційні витрати, підвищити продуктивність культиваторів і забезпечити раціональне використання матеріальних ресурсів у господарстві.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ І ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ

3.1. Методика та умови проведення експериментальних досліджень

Зміцнення стрілчастих лап як із тильного, так і з лицьового боку пояснюється тим, що традиційно для забезпечення самозагострення та збільшення ресурсу роботи ріжучі поверхні лап зміцнюють саме з тильної сторони. Водночас низка дослідників вважає доцільним підсилення лицьової (верхньої) поверхні, оскільки вона також суттєво впливає на характер спрацювання. У зв'язку з цим однією з цілей проведених експлуатаційних випробувань було визначення оптимальної поверхні лапи, яку найдоцільніше зміцнювати методом дугового наплавлення або індукційним способом (це два найдоцільніші методи).

Експлуатаційні випробування зміцнених наплавленням стрілчастих лап культиватора проводилися в польових умовах. Дослідження охоплювали такі види робіт, як передпосівна підготовка ґрунту та культивація парових ділянок. У ході випробувань контролювали ступінь зношування носової частини лапи та зменшення ширини її крил, оскільки саме ці параметри є ключовими показниками працездатності.

Зразки лап встановлювалися в першому ряду культиватора, за винятком позицій у колії трактора, де спостерігається найбільше навантаження і, відповідно, найінтенсивніше зношування. Паралельно зі зміцненими лапами встановлювали контрольні (незміцнені) зразки для порівняння.

Вимірювання ступеня спрацювання проводили через кожні 4–5 га наробітку, шляхом прикладання випробуваної лапи до шаблону, що відповідав розмірам нової серійної деталі. Для визначення втрат металу використовували

штангенциркуль ШЦ-2-300-0,1 із похибкою не більш ніж 0,05 мм, що забезпечувало високу точність результатів.

Результати випробувань. Під час лабораторних досліджень зношування зміцнених методом дугового наплавлення і контрольних зразків проводилося за однакових умов контактного тиску та тривалості роботи. Порівняльний аналіз показав, що еталонні зразки зі сталі 65Г мали найбільшу середню втрату маси - 0,47 г (рис. 3.1). У той час як лапи, зміцнені методом дугового наплавлення, продемонстрували значно нижчий рівень зношування, а мінімальні втрати маси зафіксовано у зразків, поверхня яких була оброблена методом дугового наплавлення (рис. 3.1).

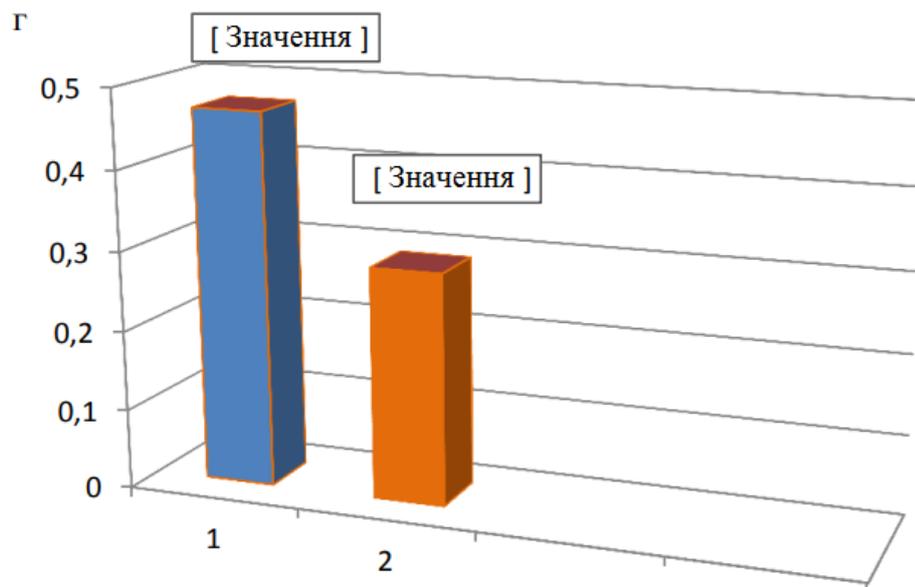


Рис. 3.1. Знос еталонних зразків лап культиватора (1), і зміцнених дуговим наплавленням (2)

Швидкість зношування та показники зносостійкості як еталонних, так і індукційно зміцнених зразків були визначені експериментально, а отримані результати узагальнено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Швидкості зношування і зносостійкість еталонних і зміцнених зразків після проведення їх випробувань на зношування

Взірці	Швидкість спрацювання, г/год	Зносостійкість, г/год
Еталонні	0,047	21,3
Зміцнені методом дугового наплавлення	0,016	63,1

Проведені експлуатаційні випробування показали, що залежність між ступенем зносу носової частини лапи культиватора та її наробітком під час роботи на ґрунті має практично лінійний характер (рис. 3.2). Така закономірність простежується для всіх типів досліджуваних лап. Отримані результати узгоджуються з висновками багатьох науковців, які досліджували процеси зношування зміцнених стрілочастих лап ґрунтообробних машин в умовах експлуатації.

Згідно з результатами випробувань, серійні (незміцнені) лапи досягають граничного стану - знос носової частини 50 мм - уже після обробітку 34 га ґрунту (рис. 3.2, крива 1). Натомість стрілочасті лапи, зміцнені методом дугового наплавлення із лицьового боку, при аналогічному наробітку мали знос носка 23,8 мм і 20,7 мм відповідно (рис. 3.2, крива 2), що приблизно в 2,1 рази менше, ніж у стандартних лап без зміцнення.

Разом із тим, під час експлуатації лап, зміцнених із лицьової сторони, спостерігалось утворення широкої потиличної фаски, що зумовлювало певне згинання робочого органа та зменшення глибини обробітку ґрунту. Враховуючи ці результати, можна зробити висновок, що зміцнення стрілочастих лап із тильного боку є більш доцільним і забезпечує кращу стабільність робочих параметрів під час експлуатації.

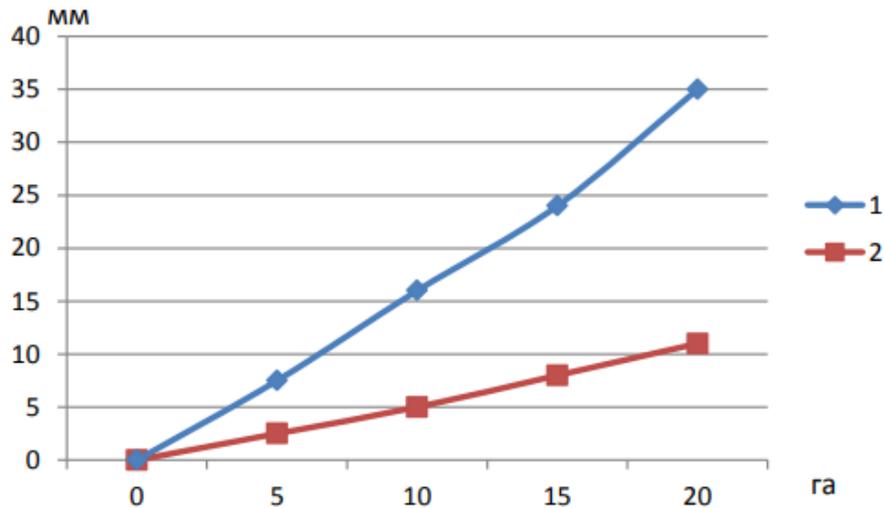


Рис. 3.2. Залежність зносу носка стрільчастих лап культиватора від напрацювання: 1 - серійна не зміцнена лапа; 2 - лапа, зміцнена дуговим наплавленням

Дугове наплавлення стрільчастих лап культиватора забезпечує збільшення ресурсу їх роботи до відмови до рівня 71–72 га (рис. 3.3), що приблизно в 2,1 раза перевищує показники серійних лап без зміцнення.

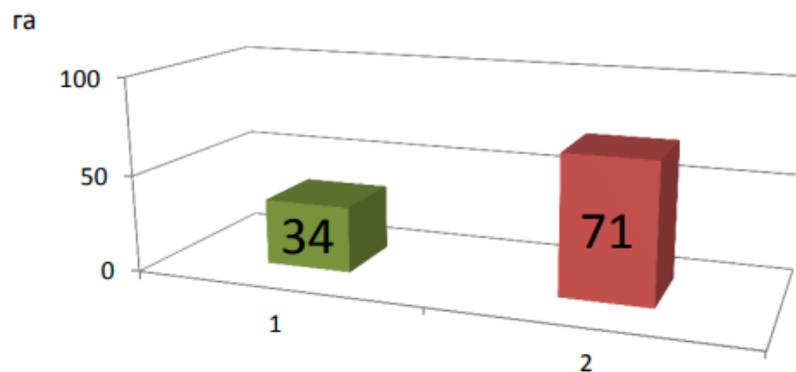


Рис. 3.3. Напрацювання до відказу стрільчастих лап культиватора: серійна не зміцнена лапа (1); лапа, зміцнена наплавленням (2)

Аналіз результатів зміни інтенсивності зношування носової частини зміцнених та незміцнених стрільчастих лап показує, що цей показник зростає зі збільшенням наробітку для всіх випробуваних зразків (рис. 3.4).

Найвища інтенсивність зношування носка - 1,42 мм/га - зафіксована у незміцнених лап у момент досягнення ними граничного стану (рис. 3.4, крива 1). Натомість стрілочасті лапи, оброблені способом дугового наплавлення, демонструють значно нижчу інтенсивність спрацювання. Зокрема, максимальне значення цього показника для зміцнених лап становить 0,68 мм/га (рис. 3.4, крива 2), що приблизно в 2,1 раза менше, ніж у серійних зразків без зміцнення.

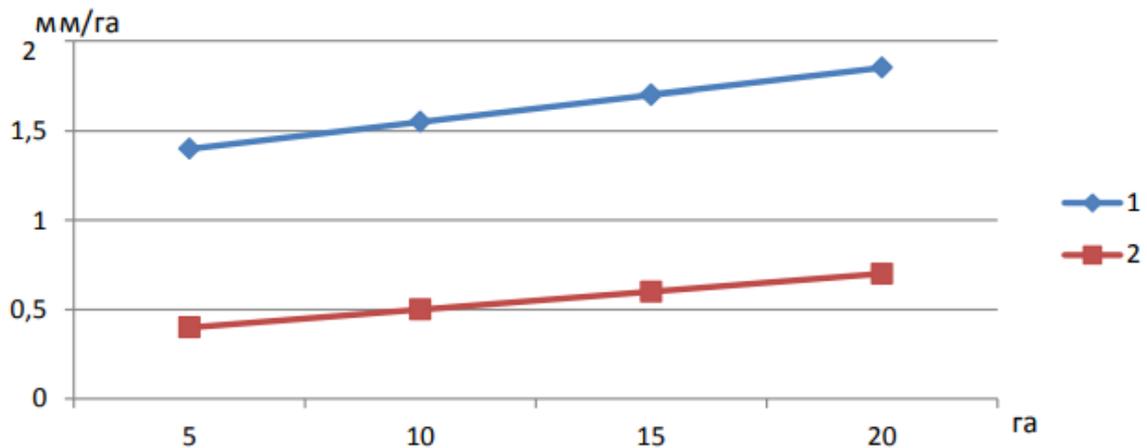


Рис.3.4. Залежність інтенсивності зношування (І) носка стрілочастих лап культиватора від напрацювання: 1 - серійна не зміцнена лапа; 2 - лапа, зміцнена наплавленням

Отже, проведені нами результати експлуатаційних випробувань свідчать, що основним показником досягнення граничного стану стрілочастих лап культиватора є ступінь зношування їх носової частини. Застосування методу наплавлення (зміцнення) зміцнення забезпечує підвищення зносостійкості лап під час роботи на ґрунтах приблизно у 2,4 раза (рис. 3.5), що підтверджує його високу ефективність у продовженні ресурсу робочих органів.

Наплавлені та нормалізовані лапи, попередньо розсортовані за типами, надходять на дільницю згинання. Процес згинання здійснюється у спеціальних штампах на фрикційних пресах. Перед згинанням деталі нагрівають індукційним способом до температури близько 850 °С, після чого передають на прес для

виконання операції. Після формування необхідного кута деталі переміщують на дільницю охолодження.

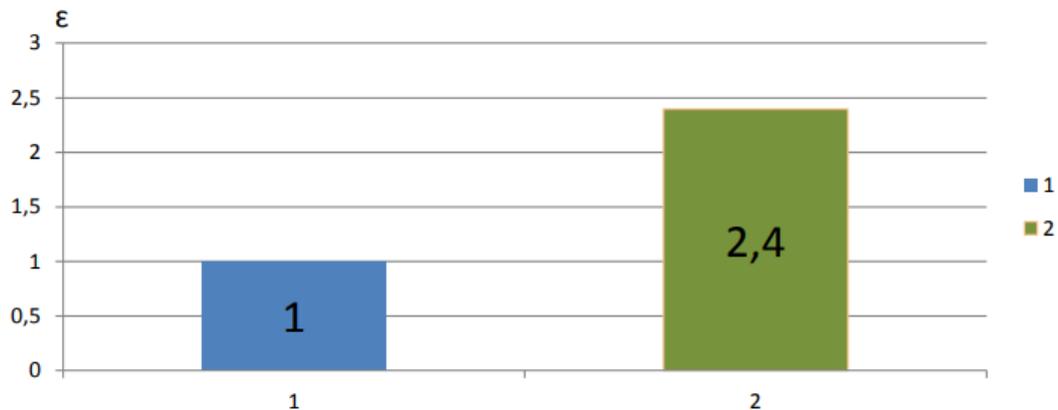


Рис. 3.5. Відносна зносостійкість стрільчастих лап культиватора: серійна не зміцнена лапа (1); лапа, зміцнена наплавленням (2)

Після охолодження лапи за допомогою кран-балки транспортують до свердлильної дільниці, де виконують зенкування монтажних отворів. Далі деталі спрямовують на заточувальну дільницю, де здійснюється заточування на універсальних двосторонніх верстатах, обладнаних спеціальними пристроями для фіксації заготовок.

Після заточування готові лапи укладають у порожню тару та направляють на контрольну дільницю, де проводиться перевірка якості й клеймування виробів перед відправленням на склад готової продукції.

3.2. Вплив технології відновлення на зносостійкість і працездатність деталей

Технологія відновлення деталей за допомогою дугового наплавлення дротами систем Fe–Cr–C та Fe–Cr–B–C істотно впливає на зносостійкість, міцність, твердість і працездатність робочих поверхонь. Основна суть процесу полягає у формуванні на зношеній поверхні металевого

шару з підвищеним вмістом хрому, бору та вуглецю, що забезпечує утворення твердих карбідів і боридів у матриці заліза.

Вплив на зносостійкість:

1. Формування карбідів та боридів. У процесі наплавлення дротами Fe–Cr–C або Fe–Cr–B–C в структурі наплавленого металу утворюються карбіди типу Cr_7C_3 , $Cr_{23}C_6$ і бориди CrB, Fe_2B , які забезпечують високу твердість (до HRC 55–65) і стійкість до абразивного зношування.

2. Покращення мікроструктури. Завдяки рафінуванню зерна під дією хрому та бору формується тонкодисперсна структура, що підвищує опір пластичній деформації при терті.

3. Підвищення ресурсу роботи. Експлуатаційні випробування показують, що зносостійкість наплавлених шарів Fe–Cr–B–C перевищує аналогічний показник вуглецевих сталей у 2,5–3 рази, а Fe–Cr–C - у 1,8–2,2 рази.

Вплив на працездатність деталей:

1. Відновлення геометрії та розмірів. Наплавлення дозволяє відновити початкову форму робочого органу (лапи, леза, стояки культиваторів), що безпосередньо впливає на якість обробітку ґрунту.

2. Підвищення опору ударним навантаженням. Наплавлений шар має високу твердість, а перехідна зона - достатню пластичність, що забезпечує ударну в'язкість і знижує ризик відшарування покриття.

3. Покращення термостійкості. Вміст бору та хрому забезпечує окалинотійкість до 600 °C, що важливо при роботі з абразивними частинками у сухих і гарячих умовах.

4. Зменшення коефіцієнта тертя. Завдяки щільній структурі та мікронерівностям зносостійкість поєднується зі зниженням тертя, що зменшує енергоспоживання при роботі агрегату.

Таблиця 3.2. Порівняльна характеристика наплавлених шарів

Показник	Fe–Cr–C	Fe–Cr–B–C
Твердість, HRC	55–58	60–65
Зносостійкість (відносна)	1,0	1,4–1,6
Ударна в'язкість, кДж/м ²	25–30	20–25
Температура окалиностійкості, °C	500	600
Структура	Евтектична, карбіди Cr ₇ C ₃	Евтектична, бориди CrB, Fe ₂ B
Рекомендована область застосування	Леза, корпуси, стояки	Лапи, долота, робочі кромки

Практичні результати застосування:

1. При відновленні лап культиваторів методом дугового наплавлення Fe–Cr–B–C збільшення ресурсу становить у середньому на 70–100 % порівняно з новими деталями зі сталі 65Г.
2. Втрати маси при абразивному зношуванні зменшуються у 2,8–3,2 рази, а коефіцієнт тертя - на 15–20 %.
3. Вартість відновлення у 3–4 рази нижча за виготовлення нової деталі.

Висновки до розділу 3

Технологія дугового наплавлення дротами Fe–Cr–C та Fe–Cr–B–C ефективно підвищує зносостійкість і працездатність деталей культиваторів.

Хром забезпечує твердість і корозійну стійкість, вуглець і бор - формування твердих фаз, що підвищують опір зношуванню.

Найкращі результати отримано при використанні Fe–Cr–B–C, який формує шар з мікротвердістю до HV 850–950.

Метод економічно доцільний для масового відновлення робочих органів сільськогосподарської техніки.

ВИСНОВКИ

У результаті дослідження встановлено, що довговічність і ефективність культиваторів безпосередньо залежать від стану їхніх робочих органів, які зазнають інтенсивного зношування під дією абразивного ґрунту. Втрата форми лемешів і лап знижує якість обробітку ґрунту, підвищує енергоспоживання та скорочує термін служби агрегатів.

Аналіз існуючих методів відновлення показав обмежену ефективність традиційних технологій, тому доцільним є застосування сучасних способів зміцнення — зокрема дугового наплавлення порошковими дротами систем Fe–Cr–C та Fe–Cr–B–C.

Доведено, що легування хромом, бором і вуглецем формує тверді карбідні та боридні фази, які забезпечують високу твердість (до HV 850–950) і підвищують зносостійкість у 2,5–4 рази. Запропонована технологічна схема - підготовка поверхні, наплавлення з контролем температури, шліфування й перевірка твердості - гарантує стабільну якість покриття та ремонтпридатність деталей.

Застосування розробленої технології:

- знижує витрати на ремонт і заміну деталей;
- підвищує продуктивність культиваторів;
- забезпечує економію матеріалів та можливість масового впровадження у сільськогосподарських підприємствах.

Отже, дугове наплавлення порошковими дротами Fe–Cr–C / Fe–Cr–B–C є найбільш ефективним і економічно доцільним методом відновлення робочих органів культиваторів, що значно підвищує їхню зносостійкість, довговічність і надійність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://www.0532.ua/news/3234235/kultivatori-vidi-ta-ih-priznacenna>
2. Семеняка І., Андрієнко А., Григор'єва О. Цариця полів// Агробізнес сьогодні. - №10 (185), травень 2010. – с. 28-29.
3. Зінченко В.Н. Рослинництво. - К.: Урожай, 2001.
4. Кобець А.С., Іщенко Т.Д., Волик Б.А., Демидов О.А. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2009. – 84 с.
5. Сільськогосподарські машини: підручник/ Д.Г. Войтюк, Л.В. Аніскевич, В.В. Іщенко та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: «Агросвіт», 2015. – 679 с.
6. Борак К.В. Аналіз процесу зношування робочих органів ґрунтообробних машин. Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Технічний прогрес в АПВ», 2023 р.
7. Парфенюк Є. В. Аналіз зношування робочих частин культиваторів і створення технологічних рішень для їх відновлення. Наукові читання – 2025: збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 23 квітня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С.74-76.
8. Головчук А.Ф., Марченко В., Орлов В.Ф.;: Експлуатація та ремонт сільськогосподарської техніки. Підручник: УЗ кн./ за ред. А.Ф. Головчука – К.: «Грамота», 2005. – Кн. 3: Машини сільськогосподарські. – 576с.
9. Парфенюк Є. В. Аналіз дефектів культиваторних лап, що виникають у процесі їх експлуатації. *Студентські читання – 2025*: збірник тез доповідей науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників та здобувачів освіти факультету інженерії та енергетики Поліського національного університету. 30 жовтня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 51-52.

10. Механізація процесу зміцнення культиваторних лап диференційним індукційним наплавленням / О.Д. Саїнсус, М.І. Черновол, В.М.Кропивний [та ін.] // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград : КНТУ, 2005. – Вип. 35.

11. Денисенко М.І. Самозаточуючі робочі органи ґрунтообробної та бурякозбиральної техніки / М.І. Денисенко, В.Д. Войтюк // II Міжнародна виставка сільського господарства. – К. : Інтер-АГРО, 2006.

12. Солових Є.К. Аналіз характеру зношування лез ґрунторіжучих деталей та підвищення їх ресурсу лазерними технологіями / Є.К. Солових, В.В. Аулін, В.М. Бобрицький // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград : КНТУ, 2005. – Вип. 35.

13. Аулін В.В. Вплив зміцнюючі композиційних покриттів на зносостійкість робочих органів ґрунтообробних машин / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, Т.М. Ауліна // Динаміка, міцність і надійність сільськогосподарських машин DSRAM-I : зб. наук. праць I Міжнар. науково-техн. конф. / ТДТУ ім. І. Пулюя. – Тернопіль, 2004. – С. 303–307.

14. Аулін В.В. Стан питання теорії зносу композиційних матеріалів і покриттів / В.В. Аулін // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. – Харків : ХНТУ, 2005. – Вип. 40.

15. Бобрицький В.П. Підвищення зносостійкості різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / В.П. Бобрицький. – К., 2007. – 21 с.

16. Парфенюк Є., Тимощук М., Сироїд Є. Застосування інноваційних методів у технічному сервісі ґрунтообробної техніки. *Сучасні технології та технічний сервіс: виклики та можливості*: I міжнародна науково-практична конференція. 16 жовтня 2025 р. Кам'янець-Подільськ: Подільський державний університет, 2025. С. 38-42.

17. Саїнсус О.Д. Підвищення довговічності лап культиваторів композиційними покриттями перемінного складу : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / О.Д. Саїнсус. – Кіровоград, 2008. – 21 с.

18. Скобло Т.С., Рибалко І.М., Тіхонов О.В, Мартиненко О.Д. / «Аналіз способів виготовлення, зміцнення і відновлення стрільчатих лап культиваторів».

19. Соколов Г. Н., Зорін І. В., Цуріхін С. Н., Лисак В. І. Особливості процесу ЕШН композиційним стрижнем у малогабаритному секційному кристалізаторі. Автоматичне зварювання. № 10. 2004. С. 26-30.

20. Походня І. К. Металургія зварювання, стан і проблеми. Зварювання та споріднені технології у ХХІ столітті: Зб. наук. тр. міжнар. наук. техн. конф. Київ: ІЕЗ ім. Е. О. Патона, 1998. С. 245.

21. Мазель Ю. А., Кусков Ю. В., Поліщук Г. М. Класифікація сплавів на основі заліза для відновлювальної та зміцнюючої наплавки. Зварювальне виробництво. № 4. 1999. С. 35-38.