

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

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра машиновикористання та сервісу технологічних систем

Кваліфікаційна робота

на правах рукопису

Лібіховський Вячеслав Володимирович

УДК 621.43-2.004.67/047

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Підвищення довговічності та зносостійкості лемішних
робочих органів**

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 _____ **В. В. Лібіховський**

Керівник роботи

Борак К.В.

Кандидат технічних наук

Житомир – 2020

АНОТАЦІЯ

Лібіховський Вячеслав Володимирович. Підвищення довговічності та зносостійкості лемішних робочих органів. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

В магістерській роботі розглянуто питання процесу зміцнення матеріалу при різних способах відновлення плужних лемешів. Вивчено вплив тертя на характеристики оброблюваного матеріалу робочих органів ґрунтообробних машин.

Дослідженнями встановлено, що основними критеріями відмови лемешів є: величина зносу носка і залишкова товщина стінки лемеша. Величина зносу носка склала 35,5...42,4 мм, що відповідає 55% досліджуваних лемешів. Величина зносу носка у лемешів, відновлених наплавленням сормайттом і вібраційним зміцненням, в 1,2 рази менше, ніж у нових лемешів. Величина зносу по товщині стінки лемешів, відновлених наплавленням сормайттом і вібраційним зміцненням в 1,54 рази менше в порівнянні з новими.

Дослідженнями виявлено, що більш дрібнозерниста і рівномірна структура металу формується при вібраційному деформуванні і характеризується однорідним розподілом фаз на глибину 180...320 мкм, що забезпечує зміцнення матеріалу робочого шару лемешів.

В результаті вібраційного впливу на наплавлений метал на 23...35% зростає твердість обробленої поверхні леза лемеша з 480 Н/мм² до 570 Н/мм². Ці лемеші мають більш низьку 0,003 мм/га швидкість збільшення товщини леза в порівнянні з іншими варіантами лемешів, що можна пояснити наявністю в структурі зміцненого матеріалу включень карбідної фази.

Ключові слова: леміш, ґрунт, зношування, відновлення, довговічність, вібраційне деформування.

ANNOTATION

Libikhovsky Vyacheslav Vladimirovich. Increasing the durability and wear resistance of plowshares. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

The master's thesis considers the process of strengthening the material in different ways of restoring plowshares. The influence of friction on the characteristics of the processed material of the working bodies of tillage machines is studied.

Studies have shown that the main criteria for the rejection of plowshares are: the amount of wear of the sock and the residual wall thickness of the plow. The amount of wear of the sock was 35,5...42,4 mm, which corresponds to 55% of the studied plowshares. The amount of sock wear in plowshares, restored by sormite surfacing and vibration hardening, is 1,2 times less than in new plowshares. The amount of wear on the wall thickness of the plowshares, restored by sormite surfacing and vibration hardening is 1,54 times less compared to the new ones.

Studies have shown that a finer-grained and uniform structure of the metal is formed by vibrational deformation and is characterized by a uniform phase distribution to a depth of 180...320 μm , which provides strengthening of the material of the working layer of plowshares.

As a result of vibration impact on the weld metal by 23...35% increases the hardness of the treated surface of the ploughshare blade from 480 N/mm^2 to 570 N/mm^2 .

These plowshares have a lower rate of 0,003 mm/ha of increasing the thickness of the blade compared to other variants of plowshares, which can be explained by the presence in the structure of the reinforced material inclusions of the carbide phase.

Key words: ploughshare, soil, wear, restoration, durability, vibration deformation.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ РІЖУЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН.....	8
РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	15
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ РІЖУЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН.....	26
ВИСНОВКИ.....	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	39

ВСТУП

Істотна роль в забезпеченні ресурсу ґрунтообробних машин відводиться розробці та застосуванню прогресивних технологічних процесів, що дозволяють значно поліпшити якісні показники відновлюваних серійних лемешів.

Як показує практика ресурс до першого ремонту становить 3,5...8 га, а після кожного з ремонтів знижується на 20...40%, складаючи в цілому наробіток до 15...20 га [3, 4].

Питанням підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин займалися багато вчених, в тому числі І.П. Сичова, М.В. Молодика, А.І. Бойко, М.М. Чорновола, П.М. Заїки, Д.Г. Войтюка, В.В. Аулін та ін.

Однак багато питань забезпечення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин вимагають проведення подальших досліджень.

Мета і завдання досліджень. Мета роботи полягає в підвищенні довговічності робочих органів ґрунтообробних машин шляхом їх відновлення методом вібраційного зміцнення.

Для реалізації поставленої мети в роботі визначено рішення наступних завдань:

- провести аналіз і виявити причини і характер відмов ріжучих робочих органів ґрунтообробних машин;
- дослідити вплив вібраційної обробки на характер зміцнення ріжучих елементів робочих органів ґрунтообробних машин;
- вивчити вплив геометрії профілю лез ґрунтообробних машин на якість оранки і енергоємність;
- розробити технологічний процес відновлення робочих органів ґрунтообробних машин, що забезпечує підвищену довговічність, і впровадити його у виробництво;

- оцінити техніко-економічну ефективність використання розробленої технології.

Мета і задачі дослідження. Мета роботи полягає в підвищенні довговічності робочих органів ґрунтообробних машин шляхом їх відновлення методом вібраційного зміцнення.

Для реалізації поставленої мети в роботі визначено рішення наступних завдань:

- провести аналіз і виявити причини і характер відмов ріжучих робочих органів ґрунтообробних машин;
- вивчити вплив геометрії профілю лез ґрунтообробних машин на якість оранки і енергоємність;
- розробити технологічний процес відновлення робочих органів ґрунтообробних машин, що забезпечує підвищену довговічність, і впровадити його у виробництво;

Об'єкт дослідження: процес зношування лемішно-лапових робочих органів ґрунтообробних машин.

Предмет дослідження: розробка технології відновлення і підвищення надійності лемешів ґрунтообробних машин.

Методи дослідження. Дослідження виконано з використанням загальнонаукових методів пізнання технічних об'єктів, трибології, триботехніки, землеробської механіки та прикладної фізики. Обробку експериментальних даних виконували за допомогою методі математичної статистики.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Лібіховський В. В.** Існуючі технології зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин. Збірник тез V-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»*. 28-29 березня 2019 року м. Житомир. ЖАТК. С. 283.

2. Борак К. В., Левківський О. О., **Лібіховський В. В.**, Менчинський Ю. Б., Коцюба І. І., Соболев А. А., Кравченко Ю. О. Зносостійкість сталі 65Г при абразивному зношуванні. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту: Міжнародна науково-практична інтернет-конференція, Центральноукраїнський національний технічний університет м. Кропивницький, Україна, 18-19 листопада 2020 року: програма конференції. Кропивницький. 2020.*

3. Куликівський В. Л., Мельник В. Л., Слинко В. Д., **Лібіховський В. В.**, Мандра В. В. Стійкість до абразивного зношування покриття на основі порошку Stellite 6. Матеріали II Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі» (Мелітополь, 02-27 листопада 2020 р.). Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 418-421.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено та впроваджено у виробництво технологічний процес відновлення лемешів плугів ПЛН-3-35, ПЛН-5-35 та інших, який передбачає підвищення надійності такої техніки за рахунок збільшення в 1,29 рази їх зносостійкості.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 21 найменування. Загальний обсяг роботи становить 40 сторінок комп'ютерного тексту, містить 6 таблиць і 13 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ РІЗУЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН

Надійність – одна з основних характеристик будь-якої технічної системи: складальної одиниці, агрегату, машини. Під надійністю технічного об'єкта розуміють його властивість зберігати в часі здатність до виконання необхідних функцій за умови, що дотримані правила експлуатації, передбачені нормативно-технічною та експлуатаційною документацією [9]. При цьому поняття експлуатації включає в себе не тільки застосування за призначенням, а й технічне обслуговування, ремонт, зберігання і транспортування.

Можливі два підходи до аналізу оцінки надійності сільськогосподарської техніки: детермінований і імовірнісний. При першому підході вважають, що всі фактори, що впливають на поведінку моделі і параметри навколишнього середовища, є цілком визначеними, детермінованими [2]. Однак висновки, засновані на цьому підході, можуть розходитися з результатами дослідних спостережень в наслідок того, що на об'єкт в процесі експлуатації впливає більшу кількість різноманітних, слабоконтрольованих, складним чином взаємодіючих факторів [3]. Імовірнісний підхід при аналізі надійності враховує також випадкові фактори і дозволяє прогнозувати надійність з включенням імовірнісних оцінок [4].

Надійність сільськогосподарської техніки, в тому числі і ґрунтообробних машин, оцінюється цілою низкою показників, основними з яких є безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність [5-8].

Основний показник безвідмовності – це ймовірність того, що в межах заданого напрацювання не виникне жодної відмови. Імовірність безвідмовної роботи в період напрацювання від 0 до t визначається залежністю:

$$P(t) = P\{\tau > t\}, \quad (1.1)$$

де τ – напрацювання від початкового моменту до виникнення відмови.

Визначення ймовірності безвідмовної роботи, відповідно до даної залежності, відноситься до машин, які повинні функціонувати протягом деякого кінцевого відрізка часу (грунтообробні, посівні машини, збиральна техніка і ін.).

До показників безвідмовної роботи відносять середній наробіток до відмови T_1 , який дорівнює математичному очікуванню відповідної випадкової величини до відмови:

$$T_1 = \int_0^{\infty} tf(t)dt = \int_0^{\infty} [1 - F(t)]dt, \quad (1.2)$$

де $f(t)$ и $F(t)$ – відповідно щільність і функція розподілу напрацювання до відмови.

При високих вимогах до надійності машини використовують такий показник безвідмовності, як гамма-процентний наробіток до відмови t_γ , який визначається з рівняння

$$P(t_\gamma) = \frac{\gamma}{100}, \quad (1.3)$$

де $P(t_\gamma)$ – ймовірність безвідмовної роботи.

Експлуатація будь-якої сільськогосподарської машини може бути описана наступним чином: в початковий момент часу від початку роботи і до першої відмови; після відмови виконують відновлення працездатності і вона знову працює до наступної відмови. На осі часу t моменти відмов утворюють їх потік, а моменти відновлень – оцінюють їх число. Повний математичний опис експлуатації об'єкта (машини) за цією схемою побудовано на основі теорії відновлення [5, 6].

У міжнародній практиці поняття «параметр потоку відмов» відповідає термін «failure intensity», в той час як поняття «інтенсивність відмов» відповідає термін «failure rate» [6].

Розрізняють дві групи показників ремонтпридатності [3]. До першої групи належить тривалість відновлення працездатного стану об'єкта. Інша

група показників ремонтпридатності характеризують витрати по підтримці працездатного стану об'єкта (трудомісткості обслуговування, ремонту, діагностування і т.п.).

У роботах [5, 6] передбачається оцінювати надійність техніки показником – «сумарна вартість життєвого циклу», що включає в себе витрати на забезпечення і підтримування надійності об'єкта на всіх етапах життєвого циклу, починаючи з проектування і закінчуючи ліквідацією (списанням).

Деякі автори [3, 7] пропонують визначати показники надійності за такою методикою:

- встановлення закону розподілу випадкової величини;
- точкова оцінка впливу показників;
- інтервальна оцінка показників при прийнятій довірчій ймовірності;
- комплексна оцінка показників.

Існуючі методи підвищення надійності [8, 9] можна розділити на три групи: конструкторські, технологічні та експлуатаційні (рис. 1.1).

В якості оцінки надійності ґрунтообробних машин були обрані показники: якість оранки; напрацювання за сезон; коефіцієнт технічного використання.

На основі аналізу літературних даних поставлено завдання: розробити методику оцінки надійності робочих органів ґрунтообробних машин в процесі стендових випробувань і визначити значення обраних показників, що впливають на цю характеристику.

Основне завдання при відновленні робочих органів ґрунтообробних машин полягає у виборі ефективного технологічного процесу, що дозволяє відновити не тільки задані геометричні параметри, але і забезпечити їх високу зносостійкість.

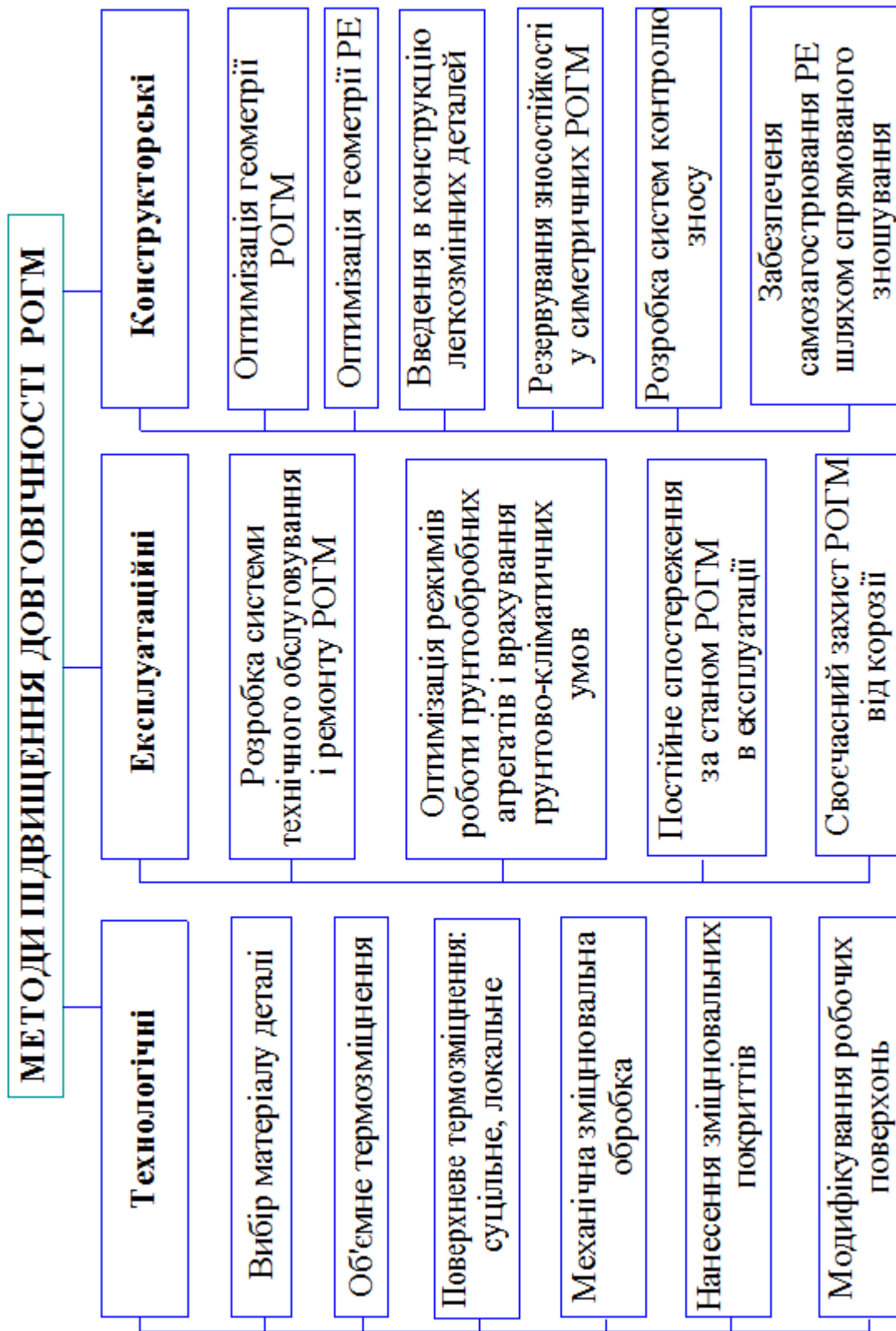


Рис.1. 1. Методи підвищення довговічності РОГМ

Працездатність лемеші залежить від швидкості затуплення і міцності леза. Ширина потиличної сторони фаски на ньому не менше 2,5 мм є головною причиною передчасного вибракування. У посушливі роки на важких ґрунтах

загартовані лемеші часто ламаються, а наплавлені сормайтом гнуться в місці переходу носка в остов.

Відомо кілька способів зміцнення та відновлення ґрунтообробних робочих органів: відтяжка, заточка, гарт, наплавлення сормайтом, газополуменеве наплавлення зносостійкими порошками і ін.

У таблиці 1.1 представлені результати аналізу способів відновлення і зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин [3].

Таблиця 1.1 – Існуючі способи відновлення лемешів

Спосіб відновлення	Матеріал, який застосовується	Недолік
1. Заміна ріжучої частини		Низька зносостійкість
2. Дугове и плазмове наплавлення	«Сормайт 1», Т-590, Т-620	Високий процент неякісних покриттів
3. Індукційне наплавлення	«Сормайт 1», ПС-6 ПГ-С27М, ПГ-УС25,	Висока собівартість
4. Наплавлення порошковими дротами	ПП-АН-123, ПП-АН-125, ПГ-С27	Виникнення термічної деформації
5. Газополуменеве наплавлення	ПГ-ФБХ-6-2, ПС-14-60	Низька зносостійкість
6. Наморожування	ПГ-С27, ПС- С1, ПГ-4С25	Погана адгезія
7. Наклейка керамічних пластин	ТК-Г, «ЛунаТ-2»	Низька стійкість в умовах ударного впливу

Зазначені способи в зв'язку з недостатньо високою якістю відновлення робочих органів ґрунтообробних машин, через високу складність і вартість обробки не знайшли поки належного застосування в сільськогосподарському виробництві.

Провідні зарубіжні фірми [6] використовують при виготовленні і відновленні робочих органів ґрунтообробних машин високоефективний

твердий сплав «Елкефем», який підвищує зносостійкість лемешів в 2...3 рази в порівнянні з «сормайт», однак і коштує набагато більше.

Приклеювання твердосплавних пластин на леза робочих органів пов'язано з високою вартістю і трудомісткістю, тому широкого поширення в даний час не отримало [7].

Технічними умовами на виготовлення лемеша П-702 зі сталі Л-53 передбачена твердість HRC = 50, ударна в'язкість не більше 10 Дж/см², що недостатньо навіть при швидкості оранки 7 км/год. При швидкості оранки 8...10 км/год ударна в'язкість повинна бути вище і досягати 37,3 ... 122,2 Дж/см² [8]. У цій роботі автори розглядають метод зміцнення лише дослідного зразка лемеша наплавленням вугільним електродом.

У Брянській ГСХА на кафедрі технології металів і ремонту машин запропонована технологія відновлення лемеші [9], що складається з двошарового наплавлення маловуглецевими електродами. Дана технологія, на думку авторів, дозволяє трохи підвищити зносостійкість до абразивного зношування. Однак, валики необхідно наносити паралельно один одному на відстані, яка визначається зоною термічного впливу, бо в іншому випадку зміцнюючий ефект знижується.

В літературі наводяться лазерні технології зміцнення ріжучих поверхонь ґрунтообробних органів [2], що дозволяють проводити безперервну імпульсну обробку поверхні. Однак автори відзначають, що вплив лазерної обробки на робочі поверхні ґрунтообробних органів, що використовують локальний характер обробки, вимагає проведення істотних теоретичних і експериментальних досліджень.

Є й інші методи відновлення, які, в основному, застосовують в машинобудуванні. Вони знаходяться в стадії експериментальних досліджень і вимагають використання дорогого технологічного обладнання.

Застосування технології зміцнення забезпечує створення запасу надійності технологічного процесу відновлення, оскільки введенням

спеціальних операцій досягаються більш високі експлуатаційні властивості відновлюваних деталей сільськогосподарських машин. У цьому плані становлять особливий інтерес розробки по зміцненню методом вібраційного деформування.

На підставі аналізу літературних джерел поставлена задача: провести оцінку зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин при різних способах їх відновлення.

Висновки по розділу 1

Вивчення літературних джерел і аналіз їх даних дозволяють зробити наступні висновки:

Єдина думка про фактори, що найбільш інтенсивно впливають на процес затуплення робочих органів ґрунтообробних машин, а також конкретні рекомендації щодо вибору режимів і параметрів обробки при їх відновленні, відсутня.

На підставі аналізу літературних джерел з'ясовано, що необхідно провести оцінку зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин при різних способах їх відновлення.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналіз публікацій щодо підвищення зносостійкості деталей ґрунтообробних машин дозволив виявити наступні напрямки досліджень:

- розробка і використання високоефективних технологічних процесів відновлення зношених поверхонь робочих органів ґрунтообробних машин;

Вибір технології відновлення пояснювався з урахуванням характеру дефектів і величини зносу робочих поверхонь ріжучих елементів, їх твердості, матеріалу, геометричних розмірів, точності обробки і собівартості ремонтних робіт.

Результати аналізу зносу вказаних деталей, що надійшли в ремонт, дозволили встановити характерні вимоги до технологічного процесу відновлення зношених поверхонь.

При оцінці надійності в якості розрахункових залежностей використовували формули, прийняті в теорії надійності.

Кількісну та якісну оцінку надійності, відновлених різними способами ріжучих елементів лемешів робочих органів ґрунтообробних машин, виконували порівнянням з такими ж показниками нових деталей.

Аналіз стану відновлених і нових лемешів проводили по їх зносу в процесі проведення лабораторних і експлуатаційних випробувань.

Важливим фактором при виборі технологічного процесу відновлення робочих органів ґрунтообробних машин є визначення параметрів їх обробки, що знижують величину зносу їх ріжучого елемента.

Мікрометраж товщини різальної крайки лемешів виконували мікрометром МКЦ-25 з цифровим відліковим пристроєм з точністю відліку 0,001 мм (ГОСТ 6507), а вимірювання кута ріжучої кромки лемеша здійснювали цифровим кутоміром з точністю відліку 5' (ГОСТ 5378).

Геометричні параметри лемешів заміряли штангенциркулем ШЦЦ-1000 с цифровим відліковим пристроєм з точністю відліку 0,01 мм (ГОСТ 166).

Статистичну обробку отриманих експериментальних даних здійснювали за допомогою програми Microsoft Excel.

Експериментальна установка для зміцнення лемешів. Дослідження по зміцненню робочих органів – лемешів методом вібраційного деформування виконували на спеціальній установці (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Загальний вигляд установки: 1 – обладнання основне і допоміжне; 2 – система гідравлічна; 3 – віброзбудник.

Експериментальна установка дозволяє виконувати зміцнення поверхонь різних деталей з необхідними параметрами обробки.

Вібраційна установка складається з підстави (1) з допоміжним обладнанням; гідравлічної системи (2) для підйому і опускання віброзбудника (3) із закріпленим оброблювальним інструментом.

Зміна амплітуди коливань і вимушених коливань здійснюється шляхом перестановки дисбалансів щодо вертикальної осі вала електродвигуна вібратора ІВ-105. Діапазон зміни вимушених коливань становить 9,4...24,5 кН.

Принципова схема установки показана на рис. 2.2. На плиті (9) звареної конструкції кріпиться вібробудник (10) з дисбалансним механізмом.

До нижньої частини плити вібробудника кріпиться затискний пристрій (11) для кріплення обробного інструменту (13). Між чотирма напрямляючими (12) переміщається вібраційний вузол. Напрявні прикріплені до стійок (14), які кріпляться до двох опорних плит (20), встановленим на дерев'яних брусах (21), що грають роль підстави установки і одночасно знежоджувачів вібраційних коливань. Віброізоляція експериментальної установки забезпечується гумовими амортизаторами (22).

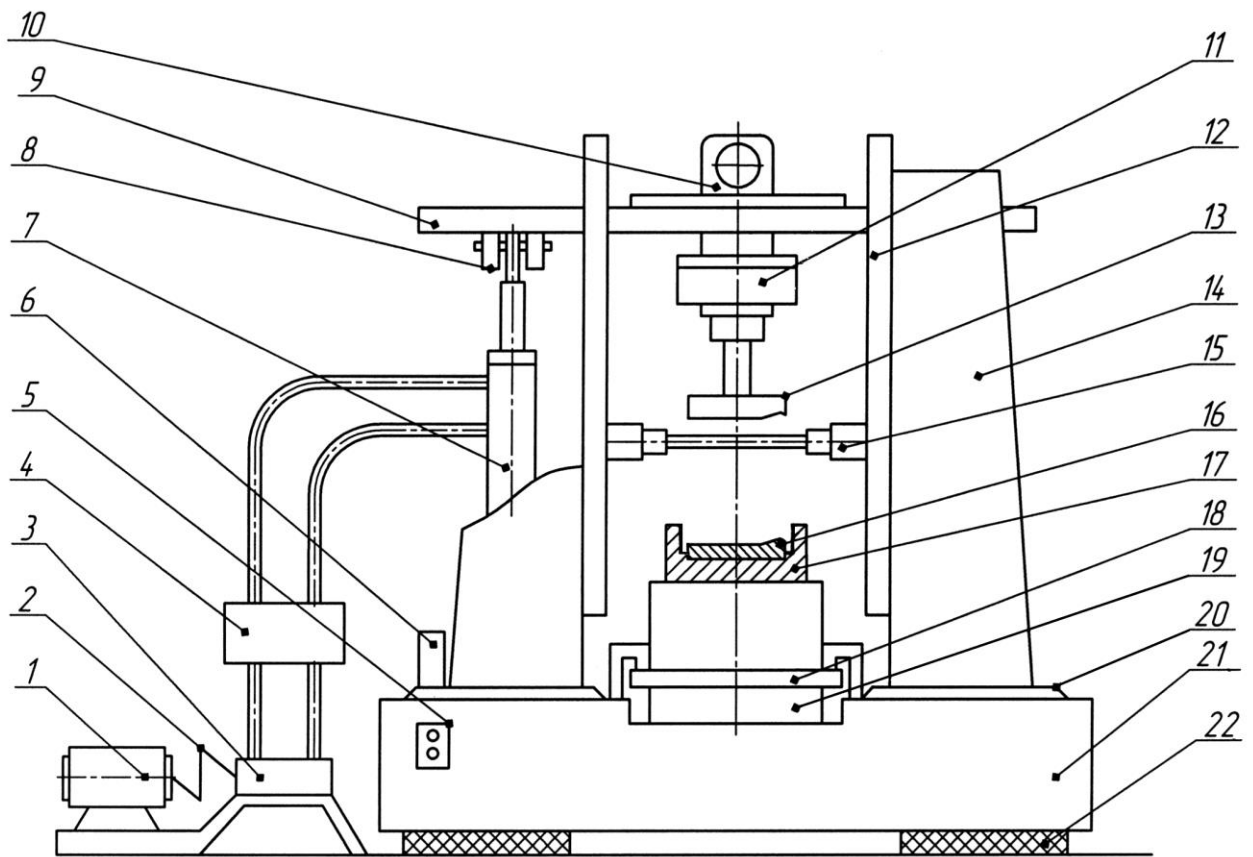


Рис. 2.2. Схема установки: 1 – електричний двигун; 2 – муфта; 3 – гідронасос; 4 – розподільник; 5 – пускач; 6 – бачок; 7 – гідроциліндр; 8 – амортизатори гумові; 9 – плита вібробудника; 10 – вібробудник; 11 – пристрій зажимний; 12 – напрямляюча; 13 – інструмент; 14 – стійки; 15 – стяжки; 16 – деталь; 17 – матриця; 18 – підставка; 19 – плита; 20 – плита опорна; 21 – брус; 22 – амортизатор гумовий

За допомогою гідравлічного насоса (3), з'єднаного з електродвигуном (1), масло подається в розподільник Р-75 (4), а потім по шлангах – в гідроциліндри ЦС-100 (7), забезпечуючи пересування вібраційного вузла з інструментом назустріч деталі.

Зміна швидкості переміщення штоків гідроциліндрів здійснюється за допомогою варіатора приводу з клинпасовою передачею від електродвигуна (1) до гідронасосу (3).

Фіксування величини зусилля обробки здійснюється манометром і пристосуванням для стабілізації його рівня.

Для вивчення впливу звичайного і вібраційного виду навантаження на характеристики міцності оброблюваного матеріалу дослідження проводили на зразках-моделях, а потім на деталях. Зразками служили нові лемеші, експериментальні дослідження на яких забезпечували ідентичність характеру протікання зношування ріжучих елементів.

Дослідження, виконані на зношених лемешах, дозволили уточнити і скорегувати основні параметри технологічного процесу зміцнення, необхідні для розробки і впровадження технології їх відновлення.

Товщина леза лемешів в процесі їх випробувань змінювалася в межах $2,0 \pm 0,5$ мм, а кут загострювання становив 25° , 30° і 35° .

Амплітуда коливань інструменту становила $0,25 \dots 0,75$ мм, частота коливань – $700 \dots 2100$ хв⁻¹, час зміцнення – $10 \dots 30$ с.

. Складання матриці багатофакторного експерименту. У завдання оцінки ґрунтообробних робочих органів (лемешів) входило вибір об'єктивних показників, які враховують специфіку умов експлуатації та їх визначення за даними експерименту. До таких показників відносяться: частота і амплітуда коливань інструменту, час зміцнення ріжучої кромки леза лемеша. Тому величина зносу ріжучих елементів ґрунтообробних робочих органів може бути описана функцією:

$$I = f(A, n, t). \quad (2.1)$$

Реалізація багатофакторного експерименту 2^3 дозволяє отримати математичну залежність зносу від перерахованих факторів.

Перевірку однорідності регресії здійснювали за критерієм Кохрена:

$$G = \frac{D_{j\max}^2}{\sum_{j=1}^N D_{j\max}^2}, \quad (2.2)$$

де $N = 27$ – число дослідів (рядків матриці) планування; D_j – дисперсія функції відгуку в n -му паралельному досвіді j -го рядка матриці.

За допомогою критерію Стьюдента встановлювали значимість коефіцієнта регресії. Коефіцієнт значущий, якщо його розрахункове значення t_p буде більше табличного t_T для прийнятого рівня значущості $\alpha = 0,05$ і числа ступенів свободи, рівним 27.

Перевірку гіпотези адекватності знайденої моделі проводили за критерієм Фішера F :

$$F_p = \frac{D_{ad}^2}{D_y^2}. \quad (2.3)$$

Якщо розрахункове значення F_p менше табличного F_T для прийнятого рівня значущості і відповідних чисел ступенів свободи, то модель адекватна [9].

Моделювання процесу обробки. Параметри технологічного процесу обробки тиском в деяких випадках можуть бути визначені експериментально в виробничих умовах. Однак проведення цих експериментів пов'язане з великими витратами. При розробці нових технологічних процесів обробки неможлива постановка експерименту в виробничих умовах. Тому поставлені завдання попередньо експериментально досліджували в лабораторних умовах на зразках (моделях), а потім отримані дані перераховували з моделі на конкретні деталі.

Такий шлях дослідження застосовували при визначенні зміни розмірів, форми, властивостей і структури матеріалу деталей.

Щоб отримані в лабораторних умовах закономірності і кількісні дані можна було поширити на конкретні деталі, здійснювали дотримання закону подібності (закону Кирпичова-Кіка) [97]. Згідно з цим законом моделі повинні бути геометрично подібні і фізично однакові, [97] тобто .:

$$\frac{l_{\delta}}{l_m} = \frac{R_{\delta}}{R_m} = n, \quad (2.4)$$

де n – масштаб моделювання; δ і m - відповідно індекси деталі і моделі.

Для дотримання однакових умов протікання процесів зміцнення при рівних ступенях деформації $\varepsilon_m = \varepsilon_{\delta}$ регулювали тривалість деформування.

Вимога однакових фізичних властивостей моделі та деталі необхідно дотримуватися при багатofакторному дослідженні, включаючи вплив умов деформації на властивості при розробці технологічних процесів.

Розробка ефективного технологічного процесу відновлення робочих органів ґрунтообробних машин відрізняється певною складністю в зв'язку з різноманітністю їх конструктивних рішень та особливостями експлуатації. Технології відновлення, що застосовують викликають, як правило, зміну структури оброблюваного матеріалу деталі і властивостей. Для аналізу процесів, що відбуваються в оброблюваному матеріалі необхідні адекватні математичні моделі.

Використання сучасної комп'ютерної техніки для комплексного аналізу технологічних процесів відновлення шляхом моделювання всіх протікаючих взаємодій в металі дозволяє значно спростити і знизити трудомісткість процесу розробок.

Комп'ютерне моделювання застосовується для дослідження і проектування оптимального технологічного процесу відновлення робочих органів ґрунтообробних машин. Можна виділити наступні етапи цього процесу:

- встановлення оцінок ефективності функціонування об'єкта;
- відбір даних для побудови моделі, розробка алгоритму моделювання та програми для ПК;

- оцінка адекватності моделі;
- планування обчислювального експерименту і визначення способу проведення кожної його серії;
- експериментування – процес здійснення імітації для отримання даних;
- реалізація – практичне використання моделі та результатів моделювання;

Використання моделі дозволяє проводити аналіз і знаходити рішення найбільш складних технологічних проблем, що виникають при відновленні зношених деталей, для підвищення їх надійності.

Для визначення впливу виду обробки на властивості матеріалу робочих органів ґрунтообробних машин були проведені мікроструктурні дослідження для вибору режимів технології їх відновлення [10, 11].

Дослідження мікроструктури проводили на шліфах, виготовлених із зразків, вирізаних з лемешів ґрунтообробних машин, за такою методикою: груба шліфовка на абразивному колі; тонка шліфовка в п'ять прийомів на алмазних колах зернистістю 80 – 1 мкм; полірування на сукні протягом 15...20 хв до появи дзеркальної поверхні шліфа.

Для виявлення мікроструктури поверхню виготовленого шліфа протирали спиртом, проводили її травлення 4%-ним розчином азотної кислоти в етиловому спирті. Після травлення шліф промивали в проточній воді, сушили фільтрувальном папером і досліджували на мікроскопі «Neophot-21» при збільшеннях 100...900 разів.

Величину зерен досліджуваних зразків визначали шляхом їх порівняння під мікроскопом з еталонною шкалою і оцінювали відповідним балом [2].

Твердість визначали методом Роквелла на твердомірі ТК-2М по всій довжині ріжучого елемента лемеша (ГОСТ 13407). Число твердості визначали за такою залежністю:

$$HRC = 100 - \frac{h}{0,002}, \quad (2.5)$$

де перша цифра – число поділок по шкалі приладу; h - глибина проникнення наконечника; 0,002 – точність відліку вимірювальної шкали.

Вимірювання мікротвердості виконували на приладі ПМТ-3 за методикою з навантаженням Н-50 [8].

Початковий контур леза знімали з нового робочого органу за допомогою планиметрії, що представляє собою підставку, на якій закріплюється міліметровий папір. Планиметр фіксується на робочому органі відповідно до спеціально передбаченими маркерними відмітками. Контур леза окреслювали і переносили на папір за допомогою гостро заточеного олівця.

Дослідження зміни форми леза в перерізах перпендикулярних горизонтальній площині тобто те, що утворює леза проводили методом зняття відбитків (реплік) з досліджуваних ділянок за допомогою пристосування, схема якого представлена на рис. 2.3.

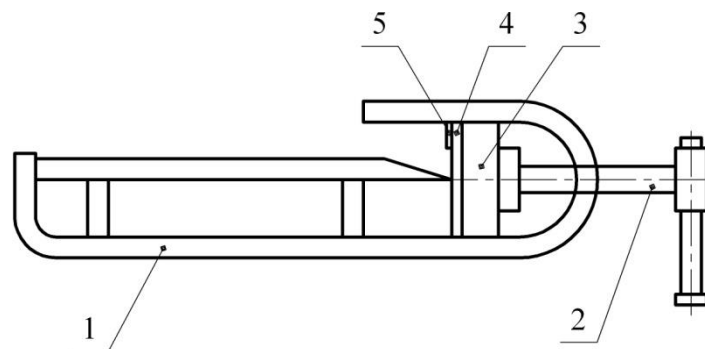


Рис. 2.3. Схема пристосування

Пристрій складається з підставки (1), в якій за допомогою гвинта (2) переміщається каретка (3). У каретку встановлюється пластина (4), виготовлена з м'якого матеріалу (свинець, олово). Скоба (5) служить для утримання і правильної орієнтації пластини щодо ріжучого елемента.

Зняття відбитків з робочих органів здійснювали наступним чином. У рухливу каретку встановлювали заготовлену пластину для отримання відбитків. Пристосування фіксували на робочому органі; за допомогою гвинта каретку разом з пластиною подавали до ріжучої кромці леза; пластину вдавлювали на певну глибину в лезо до отримання чіткого відбитка досліджуваної ділянки профілю ріжучої кромки.

Зняття відбитків виконували в трьох характерних перетинах (навпроти отворів кріплень) через рівні значення напрацювання (рис. 2.4).

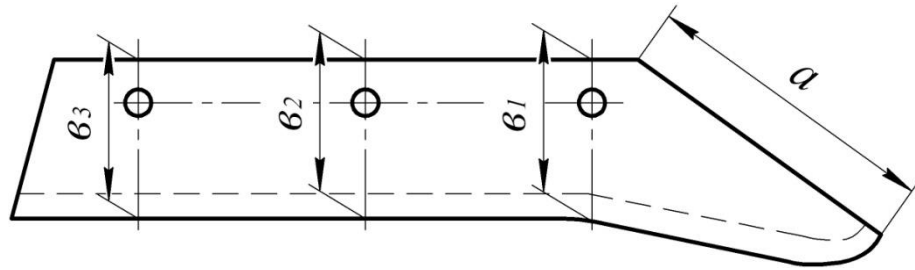


Рис. 2.4. Схема вимірювання зносу лемеша: a – лінійний знос носка; v_1, v_2, v_3 – знос лемеша по ширині в перетинах

Вимірювання параметрів леза (товщини різальної кромки h , кута загострювання β , довжини l_T , кута нахилу γ_T тильної ділянки, лінійного зносу I_L леза (рис. 2.5) в певних перерізах виконували зі знятих профілів проектора.

За результатами вимірювань будували графічні залежності, на підставі аналізу яких оцінювали ефективність методу відновлення робочих органів.

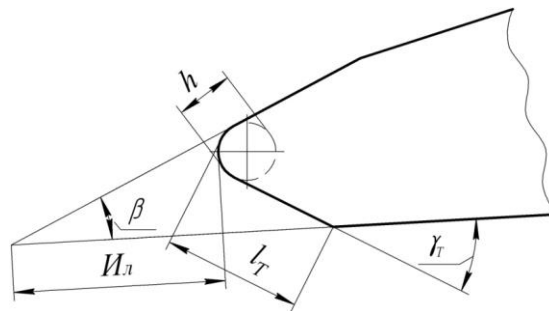


Рис. 2.5. Вимірювані параметри профілю леза: h – товщина ріжучої кромки; β – кут загострювання; I_L – лінійний знос леза; l_T – ширина потиличної фаски; γ_T – кут нахилу потиличної фаски

Експериментальні дослідження зносостійкості лемешів, відновлених різними методами, проводили на стенді, загальний вигляд і схема якого представлені на рис. 2.6.

Навколо ґрунтового каналу на висоті 0,5 м над рівнем підлоги викладена бетонна бігова доріжка. В середині ґрунтового каналу розміщена колона, навколо якої рухаються приводні візки, з'єднані з колоною за допомогою рами. Привід візка має ступінчасте регулювання швидкостей за допомогою встановленого редуктора зі змінним передавальним відношенням.

Технічна характеристика стенду наведена в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічна характеристика стенду

Параметри стенда	Значення
1. Зовнішній діаметр ґрунтового каналу, м	10
2. Глибина шару ґрунту в каналі, м.	0,3
3. Швидкість руху візка, м/с.	1,0...3,0
4. Потужність електродвигуна, кВт.	7,0
5. Частота обертання двигуна, мин^{-1} .	1440

За допомогою спеціального пристосування, закріпленого на рамі, підтримували вологість ґрунту в межах 10...18%.

Для досліджень на раму ґрунтового каналу встановлювали робочі органи – лемеші, відновлені різними способами.

В якості робочої суміші застосовувався чорнозем (25% глини і 75% піску) грудкуватої структури.

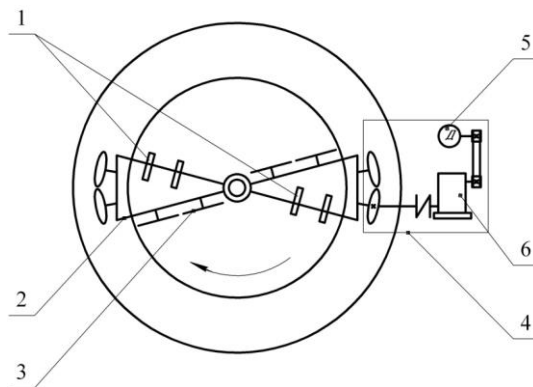


Рис. 2.6. Схема стенду: 1 – досліджувані деталі; 2 – рама для кріплення деталей; 3 – катки для ущільнення ґрунту; 4 – візок; 5 – електродвигун; 6 – редуктор

При проведенні стендових випробувань визначали товщину, кут ріжучої кромки лемеша, величину зносу лемеша по ширині.

Стендові випробування дозволяють змінювати параметри впливу і, тим самим, в порівняно короткий час оцінити різні досліджувані варіанти і вибрати найбільш ефективний.

Експлуатаційні випробування були заключним етапом досліджень при визначенні ефективності різних методів відновлення робочих органів ґрунтообробних машин.

На випробування були поставлені лемеші чотирьох варіантів:

- нові сталь 65Г;
- відновлені сталь 45 з наплавленням сормайтотом та вібраційним впливом;
- нові сталь Л-53, з вібраційним впливом;
- нові сталь 65Г, з вібраційним впливом.

Експлуатаційні випробування проводили в господарствах Житомирської області на плугах ПЛН-5-35.

Висновки

1. Для підвищення довговічності ґрунтообробних машин проведеним аналізом встановлено причини передчасного виходу їх деталей в процесі експлуатації. Досліджено ряд методів, що використовувалися для відновлення деталей робочих органів ґрунтообробних машин. Однак єдиної думки про найбільш ефективні технології не існує. Тому для вирішення цього завдання розроблена методика проведення порівняльних досліджень з оцінкою властивостей і зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин.

2. При виборі технологічного процесу відновлення робочих органів ґрунтообробних машин запропоновано нове обладнання та тех. процес

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Надійність роботи робочих органів ґрунтообробних машин залежить не тільки від умов експлуатації та конструктивних їх рішень, а й від стану робочої поверхні, яка повинна відповідати таким умовам: мати високу зносостійкість, достатні залишкові напруження стиску, рівномірну дрібнозернисту структуру, відповідати технічним умовам шорсткості [9].

Для розробки технологічного процесу відновлення робочих органів ґрунтообробних машин були досліджені і визначені оптимальні значення наступних параметрів: частоти коливань обробного інструменту, його амплітуди коливань, часу зміцнення, а також обґрунтовані товщина ріжучої кромки і кут загострювання леза.

Дослідженню піддавали зразки-лемеші розміром $615 \times 470 \times 123$ мм, товщиною 2,5 мм і кутом загострення 30° .

Амплітуду коливань інструменту змінювали від 0,25 до 0,75 мм. Час обробки склав 10...30 с. Повторюваність вимірів зразків-лемешів була п'ятикратною.

В розмічених точках зразків проводили вимірювання розмірів як середнє арифметичне повторних їх значень до і після закінчення обробки.

Величину деформації по висоті лемеша і товщині його леза, як функцію амплітуди і часу, визначали за середнім арифметичним значенням величини деформації, отриманої на підставі вимірювання трьох зразків після обробки.

Крім режимів обробки на геометрію лемеша впливає форма інструменту. Визначення оптимальної схеми деформування відновлюваної поверхні є дуже важливим в забезпеченні ефективності роботи і довговічності лемешів.

Вирішення цього завдання безпосередньо взаємопов'язане з можливостями технології вібраційного зміцнення, а також способами і засобами її автоматизації.

На глибину зміцнення істотно впливає амплітуда коливань обробного інструменту A і час протікання технологічного процесу обробки. У меншій мірі, але все ж впливає на параметри зміцнення форма обробного інструменту.

На величину деформації леза лемеша по його ширині і товщині впливає метод нанесення коливань на його поверхню. Дослідження показали, що найкращі результати зміцнення досягаються, коли інструмент має форму, ідентичну з формою лемеші.

Важливе значення на ступінь деформації матеріалу лемешів надає послідовність нанесення вібраційних коливань на поверхню ріжучого елемента. В цьому випадку для лінійної ділянки експериментально лемеша визначена послідовність нанесення коливань обробного інструменту (рис. 3.1). При такій послідовності нанесення вібраційних коливань на ріжучу поверхню практично виключається викривлення лемешів. При послідовному нанесенні ударів обробного інструменту викривлення в кромці леза лемеша досягає 1,2...4,5 мм.

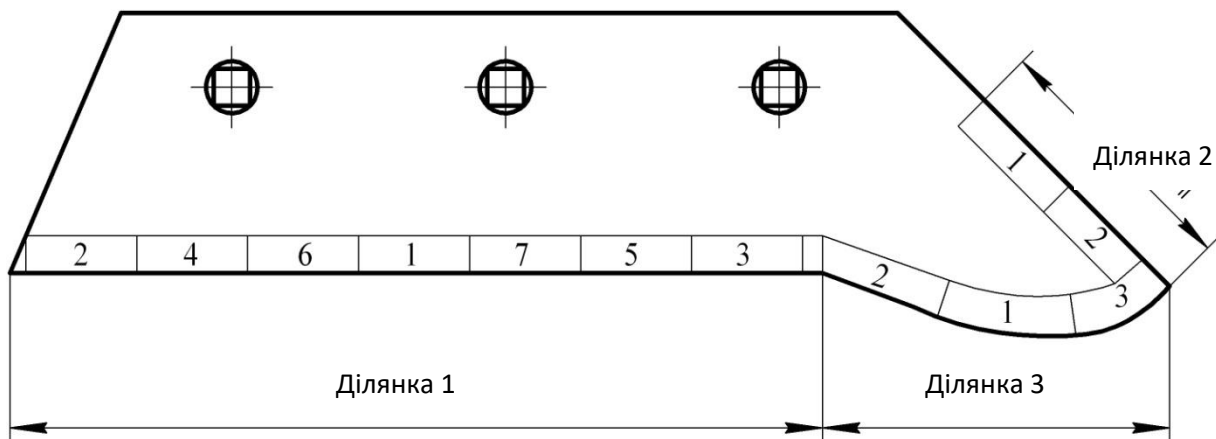


Рис. 3.1. Послідовність обробки ріжучої кромки леза при зміцненні лемеші

При зміцненні ріжучої частини поверхні зразка робочим інструментом, що має форму лемеша, як показали дослідження, інтенсивність приросту ширини леза лемеша в 2,36 рази більше в порівнянні з технологією обробки показаної на рис. 3.1.

Нерівномірність деформації по ширині кромки леза лемеша при цьому знижується в 2,9...3,4 рази, а величина зміцнення матеріалу леза лемеша в 1,75...2,3 рази більше.

На підставі отриманих експериментальних даних були побудовані графічні залежності зміни величини деформації $\Delta h'$ ширини леза лемеша і його товщини Δa від амплітуди колювання обробного інструмента, що має форму лемеша, і часу обробки при вібраційному деформуванні дослідних зразків (рис. 3.2 і рис. 3.3).

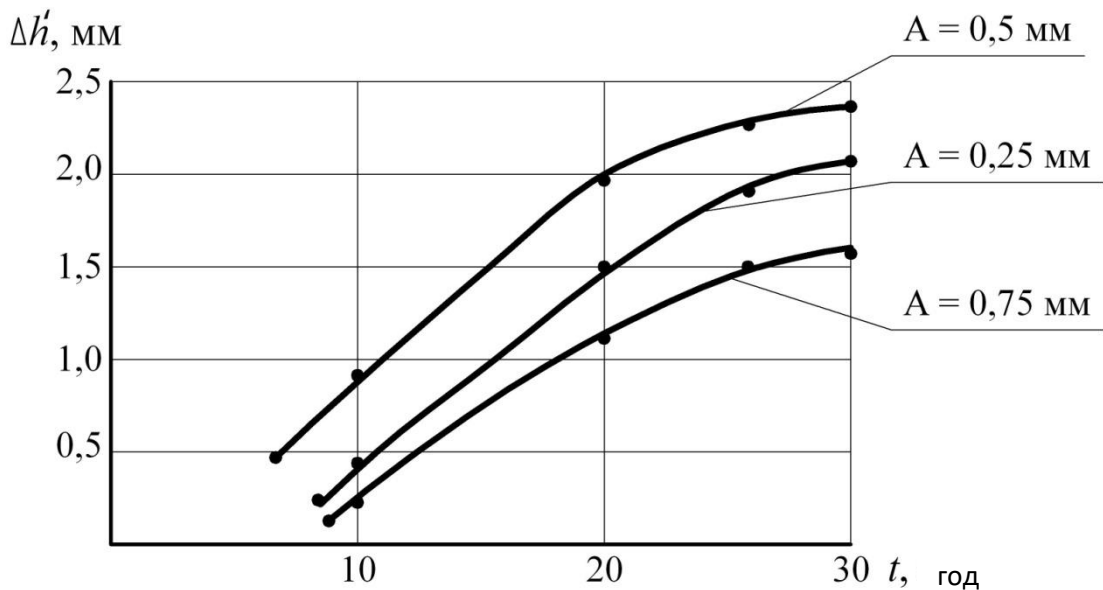


Рис. 3.2. Зміна деформації Δh ширини леза лемеша

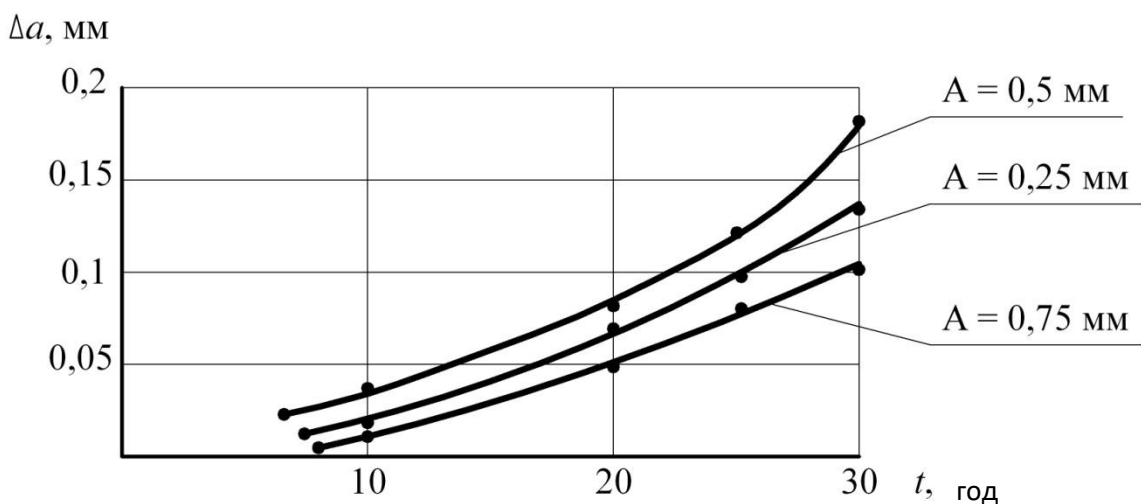


Рис. 3.3. Зміна деформації Δa по товщині леза лемеша

Як видно з побудованих залежностей, характер збільшення ширини леза і зменшення його товщини при зазначених значеннях амплітуди коливань

обробного інструменту ідентичний. Найбільше значення зазначених величин спостерігається при амплітуді коливання $A = 0,5$ мм. Найменше значення цих величин має місце при амплітуді обробного інструменту $A = 0,75$ мм.

Такий характер зміни ширини і товщини леза лемеша при вібраційному деформуванні з використанням амплітуди $A=0,25$ мм можна пояснити слабким проявом властивостей вібраційних коливань обробного інструменту. При амплітуді коливань $A=0,75$ мм відбувається менший контакт обробного інструменту з оброблюваною поверхнею в результаті більшого його відриву від поверхні. При цьому навантаження на матеріал оброблюваної деталі (зразка) носить ударний характер, що сприяє зменшенню його деформації. Так, при амплітуді $A=0,5$ мм величина приросту ширини леза лемеша в 1,13 рази більше, ніж при $A=0,25$ мм і в 1,51 – при $A=0,75$ мм. Зменшення товщини леза лемеша склало відповідно в 1,29 і 1,74 рази. Це можна пояснити спільною дією на матеріал статичних і циклічних напружень, які сприяють переміщенню ліній ковзання і збільшення величини деформації по ширині і товщині леза.

На основі проведених лабораторних досліджень можна зробити наступні висновки:

- при вібраційному зміцненні амплітуда $A=0,5$ мм є оптимальним;
- інтенсивність збільшення ширини леза лемеша зміцненого вібраційним впливом, амплітуда $A=0,5$ мм і $t = 20$ має прямолінійний характер;
- збільшення ширини леза лемеша при амплітуді $A=0,5$ мм і часу обробки $t=20$ с в 1,87 більше, ніж при $t=30$ с.

Дослідження процесу динаміки зношування ріжучих елементів проводили на стенді відповідно до методики, викладеної в другому розділі, для наступних робочих органів:

- відновлених зі сталі 45 з наплавленими сормайтотом і вібраційним зміцненням шинами;
- нових лемешів зі сталі Л-53, підданих вібраційному деформуванню;
- нових лемешів зі сталі 65Г, зміцнених вібраційною деформацією;

- нових лемешів зі сталі 65Г.

Дослідження характеру зношування проводили через кожні 2 год напрацювання виміром товщини, кута ріжучої кромки, величини зносу лемеша по ширині.

Дослідження динаміки зношування леза лемешів проводили при вологості робочої суміші 10...18%. Глибина загортання лемеші становила 22...27 см, а швидкість руху 1,4 м/с.

Вивченням динаміки зношування зазначених лемешів встановлена нерівномірність зміни їх форми по контакту ріжучої кромки. Епюра характерного зношування контуру лез лемеші в залежності від напрацювання представлена на рис. 3.4.

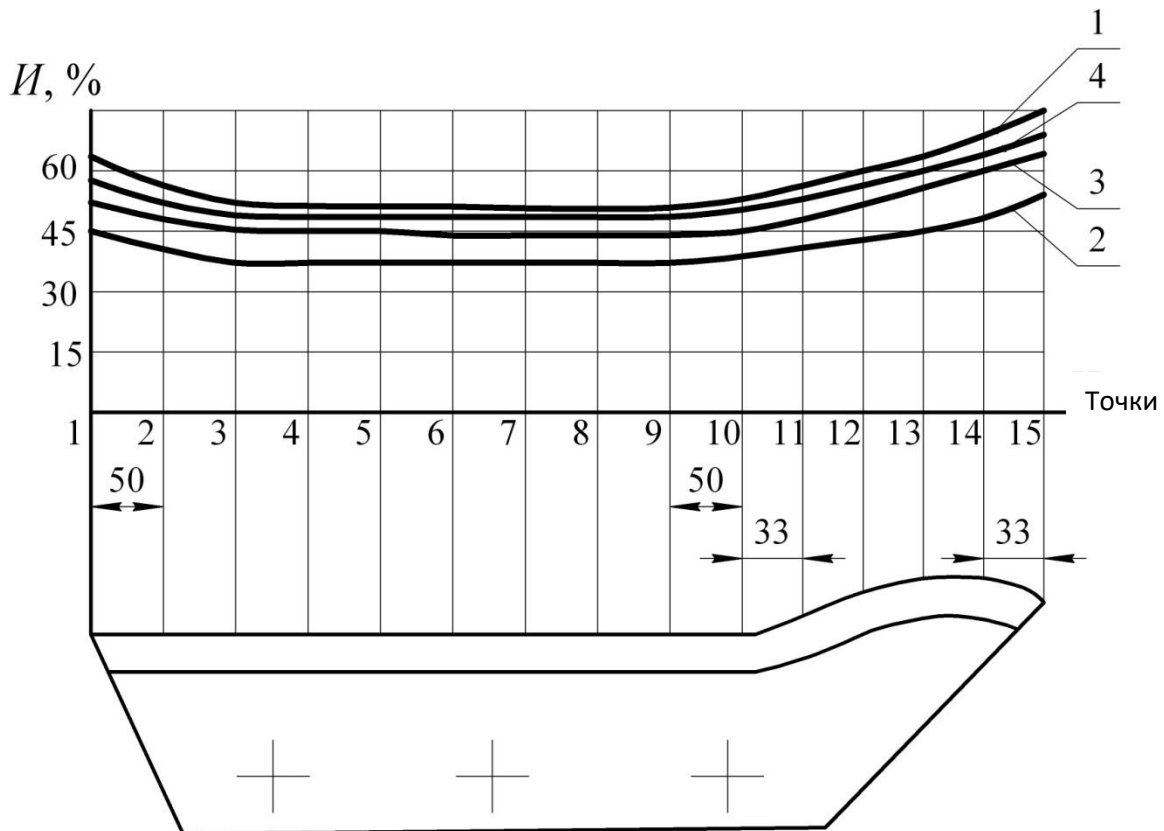


Рис. 3.4. Розподіл зносу по довжині ріжучої кромки лемеша: 1 – зі сталі 65Г без зміцнення; 2 – відновлених за запропонованою технологією; 3 – нових зі сталі Л-53, підданих вібраційному зміцненню; 4 – нових зі сталі 65Г

Проведені дослідження показали, що можна виділити три характерні ділянки зношування лез лемешів в залежності від часу роботи: зношування

носка, зношування середньої частини і зношування п'яти. Носок лемеша за інтенсивністю зношування випереджає зношування інших його частин.

Розподіл зносу по довжині лемешів має нерівномірний характер, який обумовлений, на нашу думку, наступними двома основними факторами: різною зносостійкістю окремих ділянок леза і дією зовнішнього середовища, тобто складу оброблюваного ґрунту. Інтенсивність зношування носової частини в 1,43...1,48 рази більше в порівнянні з інтенсивністю зношування інших ділянок. Внаслідок цього носок поступово втрачає свою виступаючу форму.

Втрата форми носка викликає погіршення якості оранки оскільки саме носок забезпечує необхідне заглиблення лемешів і стійкість роботи плуга.

Результати стендових випробувань зразків ріжучих елементів на зношування представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Зміна зношування по ширині ріжучого елемента в залежності від методу зміцнення і часу роботи

Варіант лемеша	Знос по ширині Інтенсивність зношування мм			
	6год	12год	18год	24год
1	2	3	4	5
1. Нові зі сталі 65Г без зміцнення	$\frac{0,46}{0,076}$	$\frac{0,90}{0,075}$	$\frac{1,25}{0,069}$	$\frac{1,65}{0,068}$
2. Відновлених за запропонованою технологією	$\frac{0,28}{0,046}$	$\frac{0,54}{0,045}$	$\frac{0,61}{0,033}$	$\frac{0,82}{0,034}$
3. Нові зі сталі Л-53 і вібраційним зміцненням	$\frac{0,25}{0,042}$	$\frac{0,53}{0,044}$	$\frac{0,75}{0,042}$	$\frac{0,98}{0,041}$
4. Нові зі сталі 65Г і вібраційним зміцненням	$\frac{0,30}{0,050}$	$\frac{0,61}{0,051}$	$\frac{0,83}{0,046}$	$\frac{1,11}{0,047}$

Аналіз отриманих даних показує, що знос по ширині робочого елемента при різних методах зміцнення зростає зі збільшенням часу роботи, що перш за все залежить від виду обробки, матеріалу і технологічних режимів.

Так, для лемешів зі сталі 65Г, підданих вібраційному зміцненню, величина зносу після 6 год. роботи в 1,74 менше в порівнянні з новими зразками зі сталі 65Г.

Лемеші, відновленні за запропонованою технологією, мали знос в 1,1 рази менше, ніж нові лемеші зі сталі 65Г.

Зменшення величини зносу лемешів, підданих вібраційному зміцненню можна пояснити зміцненням (уцільненням) металу внаслідок зміни його структури при вібраційному навантаженні, а також зниженням залишкових напружень і поліпшенням властивостей зміцненого матеріалу.

Зношування носка лемеша викликає погіршення якості оранки, оскільки саме він забезпечує заглиблення лемешів. Оцінку впливу втрати форми носка на якість оранки виконували зі зміни коефіцієнта форми, що визначається за такою залежністю [3]:

$$K_{\phi} = \frac{a_x \cos \alpha_{об}}{e_x}, \quad (3.1)$$

де α_x – поточне значення довжини носка лемеша; $\alpha_{об}$ – кут між нормаллю до леза і лінією польового обрізу лемеша; e_x – поточне значення ширини лемеша.

Зміна коефіцієнта форми лемешів представлено на рис. 3.5.

Леміш, відновлений за запропонованою технологією, досягає граничного зносу, коли коефіцієнт форми дорівнює 0,955. Граничне значення коефіцієнта форми для нового лемеша зі сталі 65Г без зміцнення його ріжучої кромки, склало 0,952.

Виходячи з отриманих даних, можна констатувати, що довговічність лемешів, відновлених запропонованою технологією в 1,3 рази вище в порівнянні з новим лемешем зі сталі 65Г без зміцнення. Довговічність нового

лемеша зі сталі 65Г, підданого вібраційному зміцненню в 2,4 рази вище в порівнянні з серійним лемешем без зміцнення.

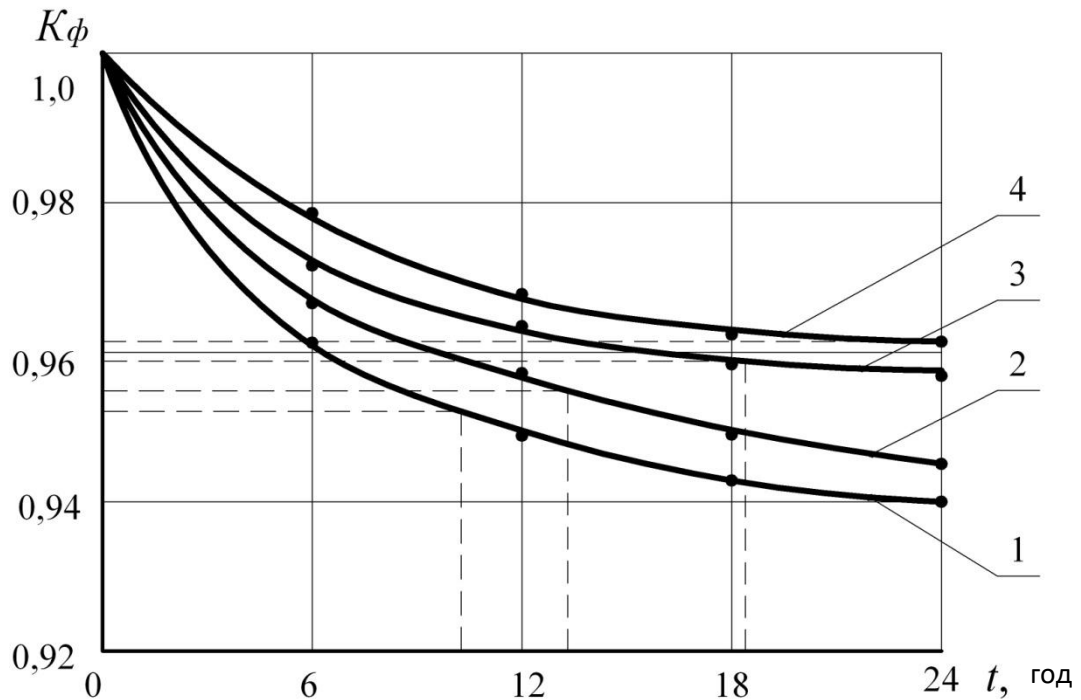


Рис. 3.5. Характер зміни коефіцієнта форми лемешів в залежності від часу випробувань: 1 – новий леміш зі сталі 65Г без зміцнення; 2 – відновлений за запропонованою технологією; 3 – новий зі сталі Л-53, підданий вібраційному зміцненню; 4 – новий зі сталі 65Г, підданий вібраційному зміцненню

В процесі стендових випробувань в результаті дії абразивних частинок внаслідок зношування леза відбувається збільшення товщини різальної кромки лемешів, що знижує його ріжучі властивості і збільшує тягове зусилля при оранці.

Визначення товщини різальної кромки леза проводили за методом Рабиновича [4].

Результати зміни товщини різальної кромки лемешів плуга в умовах стендових випробувань наведені на рис. 3.6.

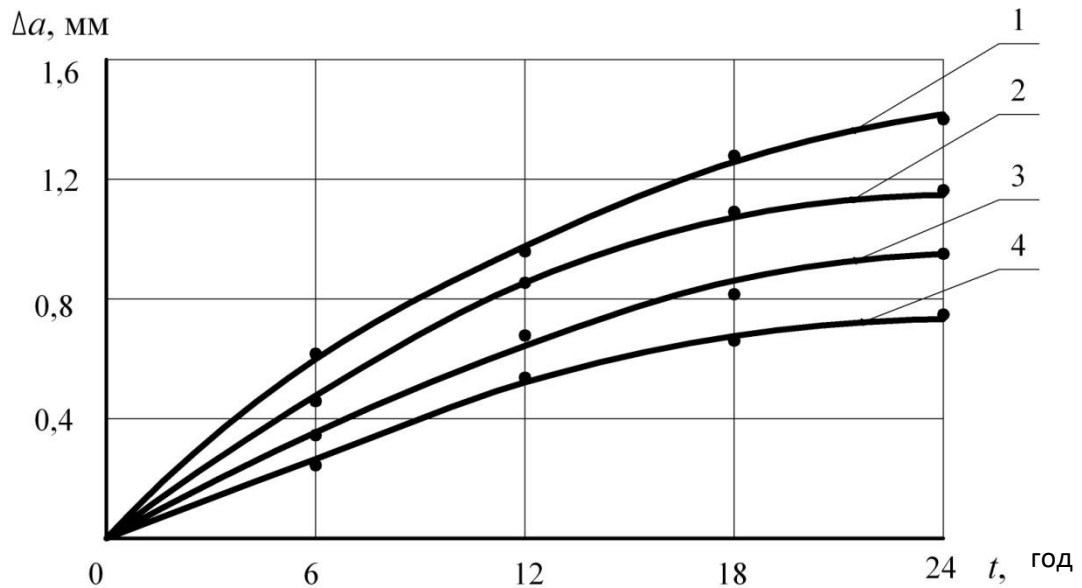


Рис. 3.6. Зміна товщини Δa ріжучої кромки леза лемеша в умовах стендових випробувань: 1 – нові лемеші сталі 65Г; 2 – відновлені приварюванням; 3 – нові сталі Л-53, вібраційне зміцнення; 4 – нові сталі 65Г, вібраційне зміцнення

Як показали дослідження, інтенсивність затуплення товщини різальної кромки леза в перші години випробувань вище для всіх варіантів лемешів. Інтенсивність зміни товщини різальної кромки леза лемешів, відновлених за запропонованою технологією, в 1,17 рази менше в порівнянні з новими лемешами зі сталі 65Г. Зміна величини затуплення леза лемешів зі сталі 65Г, підданих вібраційному зміцненню, в 2,06 менше в порівнянні з новими зі сталі 65Г без зміцнення.

Проведені дослідження при стендових випробуваннях дозволили визначити характер зміни форми лемешів і товщини ріжучої його кромки, а також вибрати більш ефективний технологічний процес його відновлення.

Дослідження довговічності робочих органів ґрунтообробних машин проводили для наступних варіантів плужних лемешів: нових зі сталі 65Г без зміцнення; відновлених за запропонованою технологією нових зі сталі Л-53, підданих вібраційному зміцненню; нових зі сталі 65Г, підданих вібраційному зміцненню.

Оцінка ресурсу T зводилася до визначення показників, що характеризують робочий орган з точки зору напрацювання між його відновленнями при 90% -му ресурсі, тобто $\gamma = 0,9$.

Важливим показником роботи ґрунтообробної машини є надійність робочого органу (лемеша), що визначається зносом ширини і товщини леза ножа, і представляє собою ресурс робочого органу до відновлення.

Імовірність безвідмовної роботи лемешів, тобто ймовірність невиходу ширини його ріжучої кромки за граничні значення, визначали залежністю:

$$P(t) = 1 - \frac{1 - \Phi\left(\frac{a_n - v - kt}{\sigma_v + \sigma_k t}\right)}{\Phi\left(\frac{v + kt}{\sigma_v + \sigma_k t}\right)}, \quad (3.2)$$

де Φ – функція Лапласа; v , k , σ_v , σ_k – постійні коефіцієнти, що визначаються за експериментальними даними методом найменших квадратів; a_n – граничне значення ширини леза; t – час безвідмовної роботи.

Значення вказаних коефіцієнтів, а також \bar{t} ; \bar{T} ; t_γ ; T_γ наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Показники напрацювання плужних лемешів

Варіанти лемеша	v , мм	v_l , мм	c , мм	c_l , мм/га	\bar{t} , га	\bar{T} , га	t_γ , га	T_γ , га
1. Нові зі сталі 65Г без зміцнення	0,35	0,18	0,07	0,011	28,8	38	4,2	48
2. Відновлених за запропонованою технологією	0,29	0,15	0,05	0,003	31,2	40	3,9	64
3. Нові зі сталі Л-53, з вібраційним зміцненням	0,31	0,16	0,07	0,008	35,7	46	4,5	52
4. Нові зі сталі 65Г, вібраційним зміцненням	0,33	0,17	0,08	0,006	48,5	48	4,8	57

Як показують отримані дані, метод допустимої ймовірності, дає найбільш прийнятне збіг з фактичними даними по ресурсу і дозволяє більш точно враховувати розкид експериментальних даних, що видно на прикладі лемеша, відновленого за запропонованою технологією. Ці лемеші мають більш низьку

0,003 мм/га швидкість збільшення товщини леза в порівнянні з іншими варіантами.

Висновки по розділу

Дослідженнями встановлено, що основними критеріями відмови лемешів є: величина зносу носка і залишкова товщина стінки лемеша. Величина зносу носка склала 35,5...42,4 мм, що відповідає 55% досліджуваних лемешів. Величина зносу носка у лемешів, відновлених наплавленням сормайттом і вібраційним зміцненням, в 1,2 рази менше, ніж у нових лемешів. Величина зносу по товщині стінки лемешів, відновлених наплавленням сормайттом і вібраційним зміцненням в 1,54 рази менше в порівнянні з новими.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Дослідженнями встановлено, що основними критеріями відмови лемешів є: величина зносу носка і залишкова товщина стінки лемеша. Величина зносу носка склала 35,5...42,4 мм, що відповідає 55% досліджуваних лемешів. Величина зносу носка у лемешів, відновлених наплавленням сормайтотом і вібраційним зміцненням, в 1,2 рази менше, ніж у нових лемешів. Величина зносу по товщині стінки лемешів, відновлених наплавленням сормайтотом і вібраційним зміцненням в 1,54 рази менше в порівнянні з новими.

2. Дослідженнями виявлено, що більш дрібнозерниста і рівномірна структура металу формується при вібраційному деформуванні і характеризується однорідним розподілом фаз на глибину 180...320 мкм, що забезпечує зміцнення матеріалу робочого шару лемешів.

3. В результаті вібраційного впливу на наплавлений метал на 23...35% зростає твердість обробленої поверхні леза лемеша з 480 Н/мм² до 570 Н/мм².

4. Амплітуда коливання інструменту робить істотний вплив на величину напружень стиску, що сприяє підвищенню одночасно твердості і міцності матеріалу. При відновленні лемешів приваркою шин зі сталі 45 з подальшим наплавленням сормайтотом і вібраційним зміцненням з амплітудою 0,5 мм на глибині 0,08...0,15 мм напруження стиску в 1,34 рази більше, ніж при амплітуді 0,75 мм. Встановлено, що амплітуда коливань інструменту 0,5 мм є оптимальною.

5. При вібраційному деформуванні формуються максимальні напруження стиску, що викликають перебудову дислокаційної структури. Цим можна пояснити більше значення залишкових напружень стиску, що виникають в матеріалі лез лемешів ґрунтообробних машин, які сприяють підвищенню зносостійкості при вібраційному зміцненні.

6. Час обробки поверхні леза лемеша має суттєвий вплив на збільшення його ширини. Показано, що інтенсивність збільшення цієї зони при

вібраційному зміцненні з амплітудою $A = 0,5$ мм при $t = 20$ с в 1,87 рази більше, ніж при $t = 30$ с.

7. Метод допустимої ймовірності, що використовується при оцінці довговічності робочих органів ґрунтообробних машин, дозволяє більш точно враховувати розкид експериментальних даних, що видно на прикладі лемеша, за запропонованою технологією. Ці лемеші мають більш низьку $0,003$ мм/га швидкість збільшення товщини леза в порівнянні з іншими варіантами лемешів, що можна пояснити наявністю в структурі зміцненого матеріалу включень карбідної фази.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Черновол М. І. Характер зміни напружено-деформованого стану ґрунту під час його взаємодії з робочим органом. *Вісник інженерної академії України*. 2011. №1. С. 232-237.
2. Черновол М. І. Обґрунтування методів зниження сил тертя ковзання РОГМ в ґрунтовому середовищі. *Вісник інженерної академії України*. 2009. №3-4. С. 231-235.
3. Черновол М. І. Закономірності взаємодії різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин з ґрунтом. *Вісник інженерної академії України*. 2008. №3-4. С. 196-203.
4. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / под общ. ред. А.В. Чичинадзе. Москва : Машиностроение, 2003. 576с.
5. Тененбаум М. М. Износостойкость и долговечность сельскохозяйственных машин. Нукус: Каракалпакстан, 1986.–150 с.
6. Сорокин Г. М. Трибология сталей и сплавов. Москва : ОАО"Недра", 2000. 317с.
7. Сисолин П. В. Почвообрабатывающие и посевные машины: история, машиностроение, конструирование. Київ : Феникс, 2005. 264с.
8. Савуляк В. І. Наукові засади формування на сплавах заліза композиційних металокарбідних шарів зі стабільними структурами та підвищеними триботехнічними характеристиками: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.02.01 / В.І. Савуляк; НАН України. Ін-т проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича. Київ , 2004. 39 с.
9. Мишин П. В. Адаптивное использование почвообрабатывающих агрегатов. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2001. №5. С.24-25
10. Костецкий Б. И. Управление изнашиванием машин. Киев : Знание, 1984. – 20 с.

11. Износ и коррозия сельскохозяйственных машин / под ред. М. М. Севернева. Минск: Беларус. навука, 2011. 333 с.
12. Добровольский А. Г. Абразивная износостойкость материалов. Киев : Техника, 1989. 128 с.
13. Гаркунов Д. Н. Триботехника (износ и безызносность). Москва : МСХП, 2001. 616 с.
14. Боуден Ф. Р. Трение и смазка твердых тел. Москва : Машиностроение, 1968. 544с.
15. Беркович И.И. Теоретические основы фрикционного взаимодействия дисперсных материалов с твердой поверхностью : монография.Тверь: ТвГТУ, 2012. 92 с.
16. Ахметшин Т. Ф. Повышение износостойкости и долговечности стрельчатых лап культиваторов: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.20.03 "Технологии и средства техн. обслуживания в сельском хозяйстве" / Т.Ф. Ахметшин. НПО ВИСХОМ, Москва , 1988. 20 с.
17. Аулін В. В. Фізичні основи процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах : монографія.Кіровоград: Вид. Лисенко В.Ф., 2014. 370 с.
18. Аулін В. В. Стан самоорганізації середовища ґрунту та закономірності зносу робочих органів ґрунтообробних машин. Проблеми трибології (Problems of tribology). 2013. №1 С.114-119.
19. Аулін В. В. Підвищення надійності трибосистем реалізацією процесів самоорганізації. М-ли III міжнар. наук.-техн. конф.: *"Сучасні проблеми триботехніки"*, 7-9 жовтня 2009р. Миколаїв: НУК, 2009.С 15-17