

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

**Факультет інженерії та енергетики**

**Кафедра машиновикористання та сервісу технологічних систем**

**Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису**

**СЛИНЬКО ВІКТОР ДМИТРОВИЧ**

**УДК 631.312**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**Підвищення зносостійкості робочих органів плуга для обробітку  
важких ґрунтів**

**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.Д. Слинько

**Керівник роботи**

**Куликівський В.Л.**

**кандидат технічних наук**

**Житомир – 2020**

## АНОТАЦІЯ

**Слинько Віктор Дмитрович. Підвищення зносостійкості робочих органів плуга для обробітку важких ґрунтів. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.**

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

В роботі досліджено вплив нанесення зносостійкого покриття на зносостійкість та довговічність змінного долота лемеша плуга для важких ґрунті ПОН -7-40.

При зношуванні долота лемеша в умовах взаємодії з суглинковими та глинистими ґрунтами переважають процеси полідеформаційного руйнування на відміну ввід експлуатації на супіщаних та піщаних ґрунтах, де переважаючим процесом руйнування металу є мікрорізання.

В результаті експлуатаційних досліджень встановлено, що нанесення зносостійкого порошкового покриття «Арматеш» на деталі плугів для обробітку важких ґрунтів, виготовлених з борвмісної сталі, дозволяю суттєво підвищити їх зносостійкість. Слід відмити, що додавання до порошку «Арматеш» 10% WC/W<sub>2</sub>C дозволяє покращити триботехнічні властивості нанесеного покриття та підвищити зносостійкість робочих органів плугів, в порівнянні зі стандартним нанесенням порошкового покриття «Арматеш».

*Ключові слова: плуг, ґрунту, робочий орган, знос, зносостійкість, сталь порошкове покриття*

## ANNOTATION

**Slinko Victor Dmitrovich. Increase of wear resistance of working bodies of a plow for cultivation of heavy soils.** – 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 influence of wear-resistant coating application on wear resistance and durability of the replaceable plow chisel bit for heavy soils PON -7-40 is investigated.

When the ploughshare chips wear out in the conditions of interaction with loamy and clay soils, the processes of polydeformation destruction prevail in contrast to the commissioning on sandy and loamy soils, where the predominant process of metal destruction is microcutting.

As a result of operational researches it is established that drawing of a wearproof powder covering of "Armatesh" on details of plows for processing of heavy soils made of boron-containing steel allows to increase their wear resistance it is necessary to wash that addition of 10% WC / W2C properties of the applied covering and to increase wear resistance of working bodies of plows, in comparison with standard drawing of a powder covering "Armatesh".

*Keywords: plow, soil, working body, wear, wear resistance, steel powder coating*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ З ПИТАНЬ АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПЛУГІВ.....	8
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	11
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	15
3.1. Умови експлуатації та їх вплив на механізм зношування робочих органів плугів.....	15
3.2. Результати лабораторних досліджень по визначенню відносної зносоустійкості матеріалів в умовах абразивного зношування.....	17
3.3. Результати польових випробувань зносоустійкості змінного долота леміша з нанесеним зносоустійким шаром.....	20
Висновки по розділу 3.....	24
ВИСНОВКИ.....	25
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	26

## ВСТУП

Дослідження питань абразивного зношування в ґрунті та підвищення зносостійкості деталей ґрунтообробних та посівних машин займаються вже більше 70 років [1-19]. Пік досліджень припав на 1955 – 1975 роки коли були сформовані фундаментальні знання в цій галузі. Незважаючи на велику кількість праць з питання абразивного зношування деталей ґрунтообробних машин багато в цьому процесі залишається невизначеним. Втрати в сільському господарстві викликані абразивним зношуванням сягають 8...12% всіх оборотних коштів сільськогосподарських підприємств. Абразивне зношування деталей ґрунтообробних машин призводить до погіршення якості виконання технологічної операції, збільшення тягового опору машини, зростання простоїв техніки через необхідність заміни деталей та в кінцевому результаті може призводити до зменшення урожайності сільськогосподарських культур. Саме тому пошук сучасних способів підвищення зносостійкості деталей машин, які піддаються абразивному зношуванню є беззаперечно актуальною задачею.

**Мета і задачі дослідження.** Мета дослідження підвищення надійності плугів для обробітку важких ґрунтів за рахунок підвищення зносостійкості його робочих органів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз питанні механізму та характеру зношування деталей машин при взаємодії з ґрунтом;
- провести аналіз способів та методів вирішення проблеми низької зносостійкості деталей машин при абразивному зношуванні деталей сільськогосподарських машин;
- провести лабораторні дослідження по визначенню відносної зносостійкості запропонованих матеріалів для підвищення зносостійкості змінного долота лемеша плуга для обробітку важких ґрунтів;

- провести польові випробовування змінного долота лемеша з нанесеним зносостійким покриттям.

**Об'єкт дослідження** – процес втрати працездатного стану робочих органів плугів для обробітку важких ґрунтів

**Предмет дослідження** – взаємозв'язок між фізико-механічними та хімічними властивостями матеріалів з триботехнічними характеристиками в умовах абразивного зношування.

**Методи дослідження.** Дослідження виконано з використання методів електрооптичної мікроскопії, інженерії поверхні, механіки та загальнонаукових методів пізнання (спостереження, порівняння, вимірювання та експеримент). Обробку експериментальних даних виконували за допомогою прикладних програм для ПК.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Слинько В. Д.** Вплив твердості матеріалу на стійкість до абразивного зношування. Збірник матеріалів і Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції *«Теорія і практика сучасної науки очима молоді»* 26 березня 2020 року (проведено он-лайн 30 квітня 2020 року) м. Харків : ХНТУСГ ім. П. Василенка. С. 121.

2. Куликівський В. Л., **Слинько В. Д.** Вплив характеристик ґрунту на інтенсивність зношування робочих органів ґрунтообробних машин Збірник тез доповідей V-ї міжнародної науково-технічної конференції з нагоди 113-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, члена-кореспондента ВАСГНІЛ, віце-президента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) *«Крамаровські читання»* 20-21 лютого 2020 року м. Київ : НУБІП України. С. 115-116.

3. Куликівський В. Л., Мельник В. Л., **Слинько В. Д.**, Лібиховський В. В., Мандра В. В. Стійкість до абразивного зношування покриття на основі порошку Stellite 6IX II Міжнародна науково-практична конференція *«Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі»* (02-

27 листопада 2020 р.). [Електронний ресурс] – URL: <http://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/kulykivskyj-2020.pdf> (Дата звернення 19.11.2020).

**Практичне значення одержаних результатів.** Основні результати роботи можуть бути використанні в умовах сільськогосподарських підприємств для підвищення рівня надійності ґрунтообробної техніки. На основі проведеного дослідження розроблені рекомендації для нанесення зносостійкого шару на робочі органи ґрунтообробних машин.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 24 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 28 сторінок комп'ютерного тексту містить 3 таблиці і 15 рисунків.

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ З ПИТАНЬ АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПЛУГІВ

В сільському господарстві деталі машин піддаються трьом основним видам зношування [1, 8]:

- абразивному;
- адгезійному;
- ерозійному та втомлю вальному.

Різні механізми зношування спричиняють різний ступінь впливу на втрату працездатного стану деталей сільськогосподарських машин. Основна частина, більше 60% припадає на абразивний знос (рис. 1.1). Даний розподіл є умовний, оскільки при реальному зношуванні в зоні фрикційного контакту відбуваються декілька видів зношування [1 – 7].

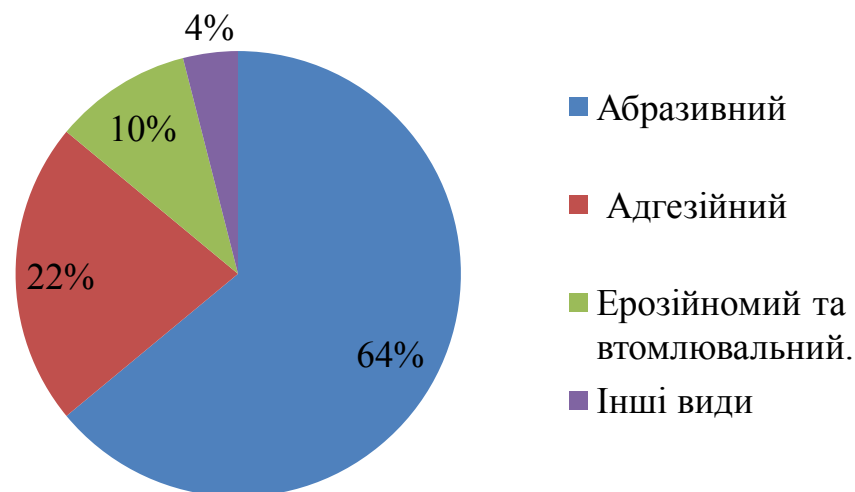


Рис. 1.1. Розподіл видів зношування деталей сільськогосподарських машин (%).

Втрата працездатного стану робочими органами ґрунтообробних машин в більшості випадків відбувається в результаті абразивного зношування гострими кутами абразивних частинок, які наявні у верхньому шарі ґрунту [9 –



13]. Можливе виникнення ударних навантажень, але як показує практика і попередні дослідження, що такий вид пошкоджень не являється домінуючим.

В ранніх дослідженнях вважалося, що об'єктивним критерієм зносостійкості матеріалу є його поверхнева твердість. На даний час це твердження повністю спростовано, оскільки матеріали зоднаковою твердістю можуть мати різно стійкість до абразивного зношування. Стійкість матеріалу до зношування визначає комплекс характеристик матеріалу: твердість, хімічний склад, мікроструктура, наявність боридів/карбідів та ін. [15 – 19].

Фізико-механічні характеристики ґрунту є головним фактором, що визначає термін служби робочих органів сільськогосподарських машин, які взаємодіють з ґрунтовим середовищем. Властивості ґрунту можуть впливати не тільки на швидкість зношування робочих органів, а також на форму зношування робочих органів. Наприклад, доведено, що вологі ґрунти більш інтенсивніше зношують внутрішню сторону робочих органів порівняно з сухими ґрунтами. Цілий ряд факторів пов'язаний з механізмом та інтенсивністю абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин [7]:

- *Властивості ґрунту*: твердість, розмір та форма абразивних частинок впливатимуть на інтенсивність та механізм зношування.

- *Абразивна поведінка*: поведінка абразивної частинки після контакту з поверхнею робочого органу: руйнується, залишається на поверхні, округлюється, деформується або притупляється поверхня.

- *Твердість ґрунту*: питомі навантаження можуть бути збільшені через каміння у ґрунтах та/або зміни значення вологості ґрунту.

- *Умови роботи ґрунтообробної машини*: тип робочого органу та швидкість роботи визначає навантаження на поверхню яка піддається абразивному зношуванню.

Хоча ґрунти суттєво відрізняються по всьому світу, найбільше на інтенсивність зношування робочих органів ґрунтообробних машин впливає

наявність діоксиду кремнію. Різні механізми і швидкість зношування, що спостерігаються на різних ґрунтах обумовлені такими факторами як співвідношення кам'янистості та абразивних частинок, розміром і формою абразивних частинок та вмістом вологи.

При роботі на твердих ґрунтах слабкі або великі абразивні частинки під ударами, створюючи додаткові грані на частинках, які можуть прискорювати абразивне зношування робочих органів. На не твердих ґрунтах сильні або дрібні абразивні частинки притупляються пластичним потоком після удару по поверхні робочих органів, тому ймовірність видалення матеріалу з поверхні тертя знижується.

В результаті проведення великої кількості досліджень встановлено, що ґрунт – це складна абразивна система з безліччю змінних. Розміри, форма та твердість абразивних частинок впливають на інтенсивність зношування робочих органів ґрунтообробних машин, а також на вологість ґрунту та його кам'янистість. На сьогоднішній день відсутнє повне розуміння процесів тертя та зношування, які протікають на поверхні робочих органів ґрунтообробних машин в зв'язку зі складністю будови абразивного середовища.

Встановлено, що виникнення негативних явищ в процесі абразивного зношування деталей сільськогосподарських машин залежить від багатьох факторів таких як: форма твердих частинок ґрунту їх розмір, швидкості відносно переміщення, вологості, твердості абразивних частинок та ін. [7].

**Висновки.** Підвищення зносостійкості деталей ґрунтообробних машин можливо досягнути за рахунок збільшення твердості поверхні, покращення хімічного складу матеріалу та мікроструктури матеріалу. Застосування високоякісних дорогих сталей для виробництва робочих органів плугів з економічної точки зору є недоцільним. Саме тому для підвищення зносостійкості деталей плугів слід шукати сучасні способи нанесення зносостійкого покриття з кращими триботехнічними властивостями, в порівнянні з матеріалом основи.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В результаті проведеного аналізу літературних джерел встановлено, що суттєво підвищити зносостійкість плугів можливо нанесення зносостійкого матеріалу на поверхню тертя. Одним із перспективним способів нанесення є напікання порошкових матеріалів.

Для підвищення зносостійкості робочих органів плугів для обробки важких ґрунтів запропоновано використовувати нанесення порошкового покриття на основі порошку «Арматеш». Для нанесення порошку виготовляли водну суспензію з додаванням 12% дистильованої води. Процес нанесення порошкового покриття складався з: сушки при температурі 85 °С, спікання при температур 1100 °С, водяне охолодження до температури 50 °С. Після спікання покриття з матеріалом основи здійснюється гартування при температурі 920 °С з подальшим охолодженням в мастильному матеріалі, а потім здійснюється відпуск при температурі 240 °С протягом 6 годин. В результаті такої термічної обробки твердість матеріалу основи (сталі 27MnCrB5) складає 48...53 HRC. Термічна обробка не впливає на властивості зносостійкого покриття.

В результаті нанесення покриття його товщина складала 1...3 мм.

Твердість матеріалу основи та нанесеного покриття визначали за методом Роквелла за допомогою приладу представленого на рис. 2.1 (а). Хоча твердість і є основною характеристикою, яка визначає стійкість до абразивного зношування, але вона не здатна об'єктивно і повній мірі спрогнозувати зносостійкість матеріалу. Для об'єктивної оцінки стійкості до абразивного зношування матеріалу основи та зносостійкого покриття необхідно визначити мікроструктуру та фазовий склад. Дослідження мікроструктури виконували за допомогою металографічного мікроскопу МИМ-7 (рис. 2.1, б). За допомогою металографічних досліджень визначали вплив режиму термічної обробки

борвмісної сталі на мікроструктуру та вплив легуючих елементів на утворення твердих фаз в зносостійкому покритті.



а)



б)

Рис. 2.1. Твердомір Роквелла (а) та металографічний мікроскоп МИМ-7 (б).

Лабораторні дослідження проводили в лабораторній установці для дослідження відносної зносотійкості матеріалів при зношуванні в середовищі незакріпленого абразиву розробленій на кафедрі машиновикористання та сервісу технологічних систем. В якості абразивного середовища використовувався кварцовий пісок фракцією 0,75...1,00 мм. Швидкість відносного переміщення дослідних зразків складала 9...10 км/год (2,5...2,28 м/с). При проведенні лабораторних досліджень абразивна маса змінювалась кожні 2 години проведення досліджень. Вологість абразивної маси складала приблизно 0%.

Експлуатаційні випробовування проводили в умовах Бердичівського району Житомирської області на вітчизняному плугу ПОН 7-40 (рис. 2.2,

виробник Велес-Агро). Швидкість руху ґрунтообробного агрегату John Deere 7230 R+ ПОН 7-40 варіювалася в межах 8...10 км/год. Ґрунти в переважній більшості були важкі чорноземи.

Заміри величини зношування проводили після напрацювання 2,5 га на кожний робочий орган.



Рис. 2.2. Плуг ПОН 7-40 під час проведення досліджень.

Визначення впливу нанесеного покриття на зносостійкість робочих органів проводили на прикладі змінного долота (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Робочі органи плуга ПОН 7-40

В результаті спрацювання долота леміша визначали зміну його геометричних параметрів та втрату ваги. Зміну геометричних параметрів визначали за рахунок вимальовування контуру, а втрату ваги за допомогою вагів ANZ160C.

Планування та проведення експерименту виконували у відповідності до загальновідомих методик [20 – 24]. Обробку експериментальних даних проводили за допомогою прикладних комп'ютерних програм.

## Висновки по розділу 2

В даному розділі магістерської роботи розроблена:

- методика лабораторних досліджень фізико-механічних та триботехнічних властивостей зносотійких матеріалів;
- методика експлуатаційних досліджень.

## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Умови експлуатації та їх вплив на механізм зношування робочих органів плугів

Різноманітність ґрунтів України і різні властивості абразивних частинок ґрунтів призводять до досить великого варіювання інтенсивності зношування деталей машин, що взаємодіють з ґрунтом. В сільськогосподарському виробництві, ресурс деталей плугів не регламентується і визначається оператором агрегату самостійно. В 98% випадків втрата працездатного стану призводить до заміни деталей ґрунтообробних машин (рис. 3.1).

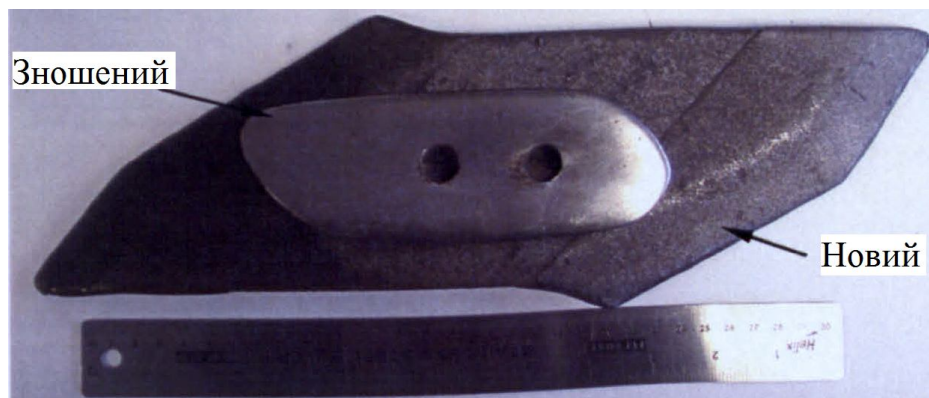


Рис. 3.1. Робочий орган (змінне долото лемеша) плуга, який використовували в процесі дослідження

Для оцінки механізму абразивного зношування були проаналізовані зношені 41 долота, які працювали на важких ґрунтах (суглинкових та глинистих) та більш абразивних піщаних та супіщаних ґрунтах. Всі долота були виготовлені з борвмісної сталі 27MnCrB5.

Для деталей, які працювали в умовах піщаних та супіщаних ґрунтів, спостерігалось наявність канавок різної ширини і глибини в напрямку руху деталі (позначено пунктирною жовтою лінією). Що свідчить про наявність процесів мікрорізання. Очевидно, що присутні також сліди мікроконтактної корозії (рис. 3.2) позначені жовтими стрілочками.

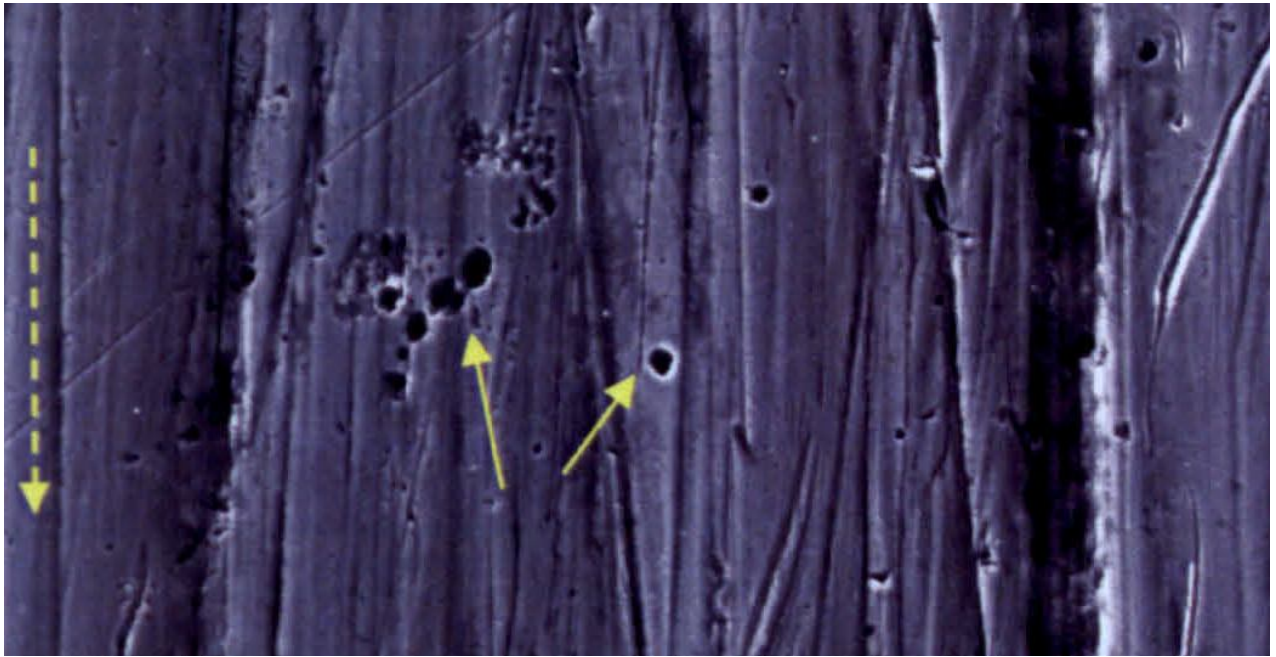


Рис. 3.2. Поверхня долота, яка зношувалась в умовах піщаного та супіщаного ґрунту.

На поверхні робочих органів плугів, які працювали на суглинкових та глинистих ґрунтах були відсутні сліди зняття стружки, що свідчить про перевагу полідеформаційного руйнування поверхні (рис. 3.3).



Рис. 3.3. Поверхня долота, яка зношувалась в умовах суглинкових та глинистих ґрунтів.



### 3.2 Результати лабораторних досліджень по визначенню відносної зносостійкості матеріалів в умовах абразивного зношування

Для визначення відносної зносостійкості матеріалів для виготовлення змінного долота лемеша плуга були випробувані наступні матеріали: сталь 27MnCrB5; сталь 27MnCrB5 з покриттям «Арматеш» та сталь 27MnCrB5 з покриттям «Арматеш» + 10% WC/W<sub>2</sub>C.

Результати визначення поверхневої твердості за методом Роквелла (шкала C) представлено на рис. 3.4.

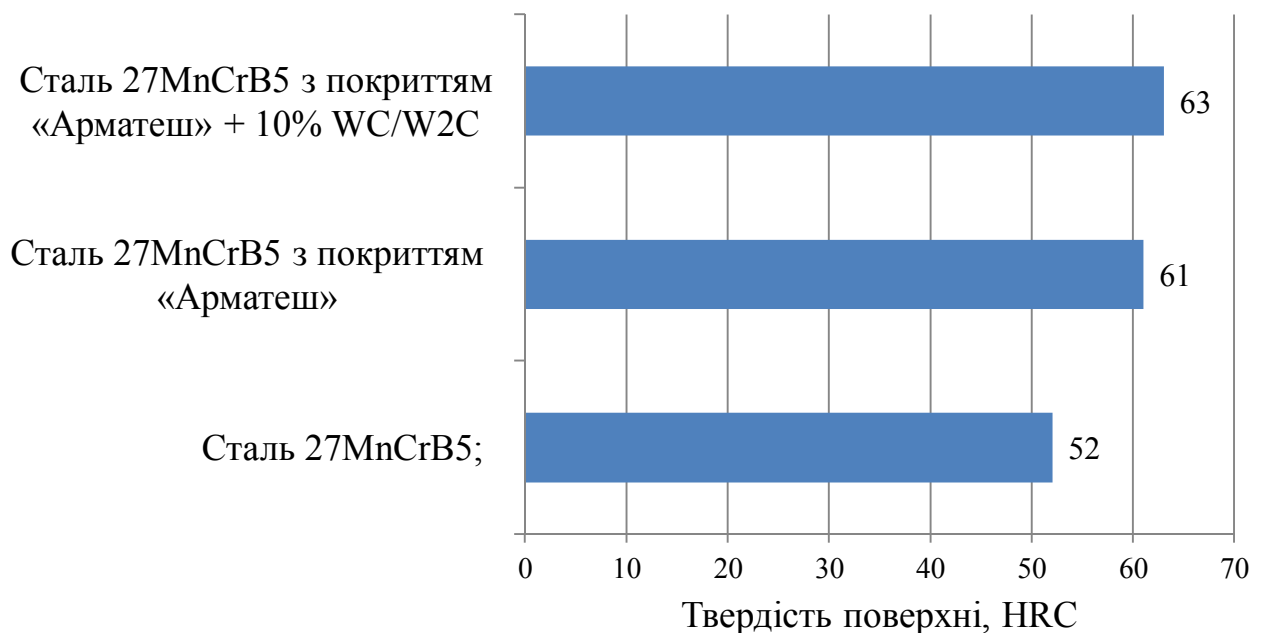


Рис. 3.4. Твердість поверхні дослідних зразків.

Нанесення зносостійкого покриття «Арматеш» на сталь 27MnCrB5 призводить до підвищення поверхневої твердості на 15...21%. Додавання до стандартного порошку «Арматеш» 10% WC/W<sub>2</sub>C призводить до зростання поверхневої твердості на 3,2% в порівнянні з нанесенням стандартного порошку «Арматеш».

В результаті зміцнення сталі 27MnCrB5 нанесенням зносостійкого шару «Арматеш» дозволяє підвищити зносостійкі на 80%, а нанесення зносостійкого покриття «Арматеш» з додаванням 10% WC/W<sub>2</sub>C на 140%.

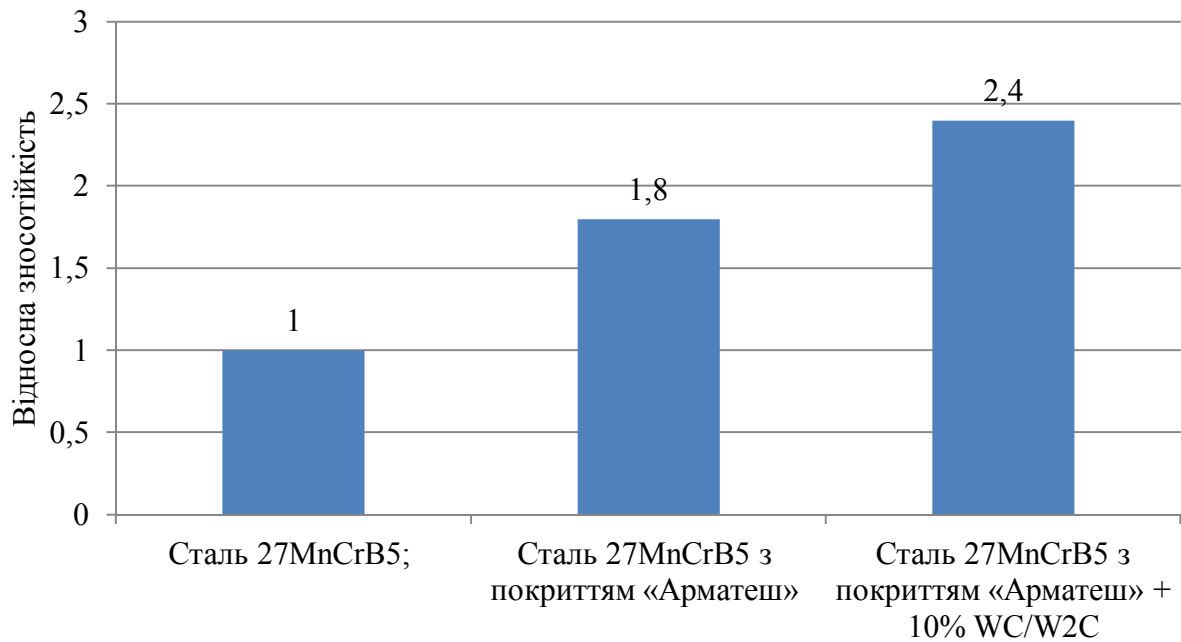


Рис. 3.5. Відносна зносостійкість матеріалів

Для повного розуміння властивостей зносостійкого шару після нанесення порошкового матеріалу «Арматеш» та визначення напрямків підвищення його стійкості до абразивного зношування досліджували мікроструктуру нанесеного покриття (рис. 3.6)

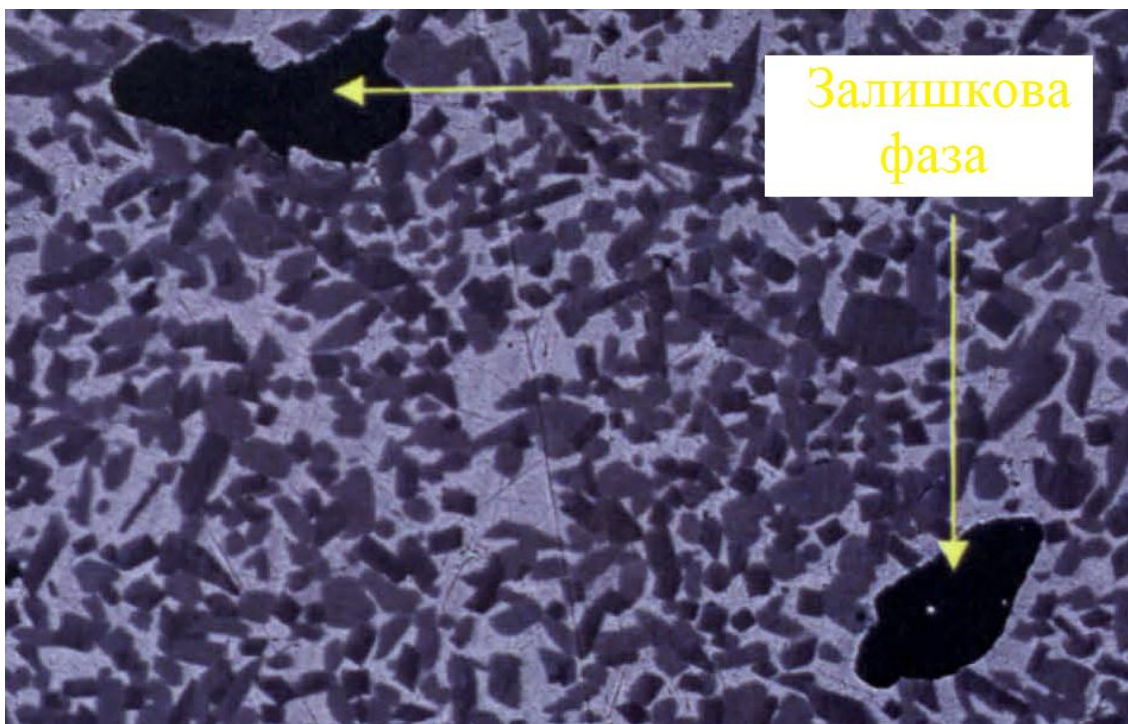


Рис. 3.6. Мікроструктура зносостійкого шару утвореного за рахунок нанесення порошкового матеріалу «Арматеш».

Наявні чорні ділянки (рис. 3.6) являють собою залишкову фазу монтморилонітової натрієво-бентонітової глини. Відстань між зносостійкими фазами не велика, що унеможливить зношування «несучої фази» утвореного шару.

В результаті спікання утворюється якісне адгезійне з'єднання між матеріалом основи та зносостійким покриттям (рис. 3.7)

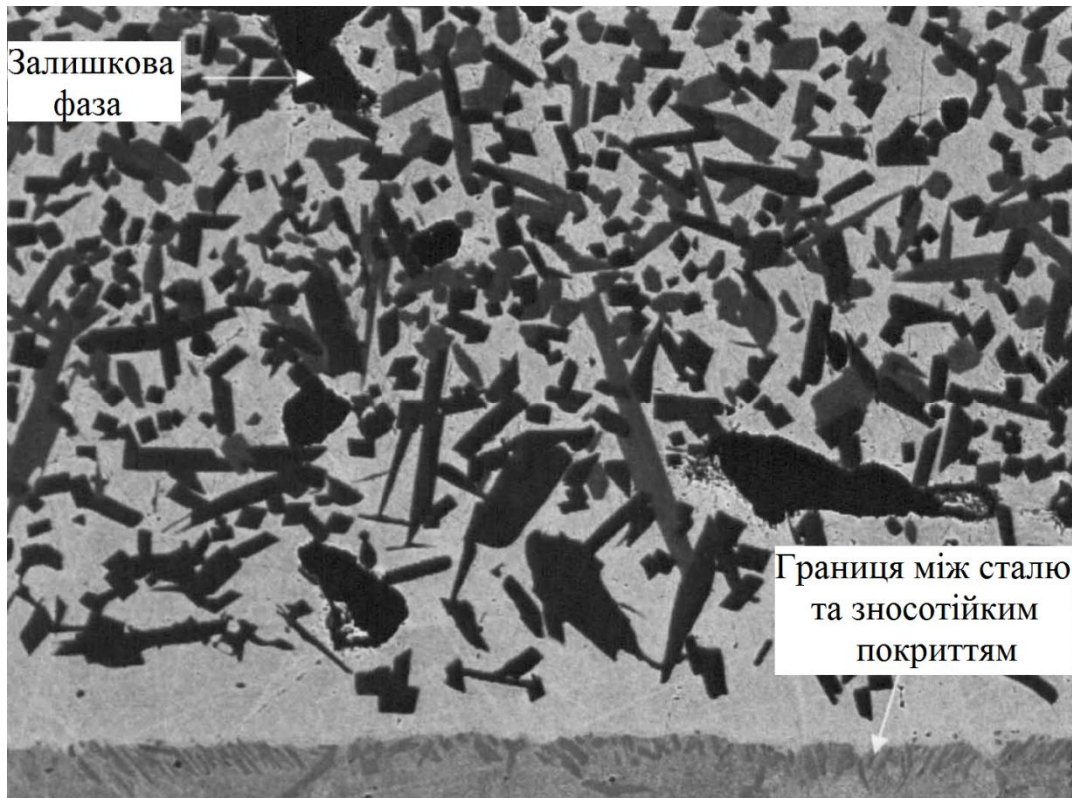


Рис. 3.7. Поперечний переріз зносостійкого шару утвореного спіканням порошкового матеріалу «Арматеш» і матеріалу основи в місці утворення адгезійного зв'язку.

На границі між матеріалом основи і зносостійким шаром відсутні пори і мікротріщини (рис. 3.7). По всій границі відсутні відшарування зносостійкого покриття. Слід відмітити, що тверді фази покриття зазнають змін біля матеріалу основи, вони стають більш крупніші.

Додавання 10% WC/W<sub>2</sub>C до порошкового матеріалу «Арматеш» не впливає на якість утворення адгезійного зв'язку між зносостійким шаром і матеріалом основи (рис. 3.8). Додавання покращує форму і розмір карбідів і боридів поблизу поверхні розподілу.

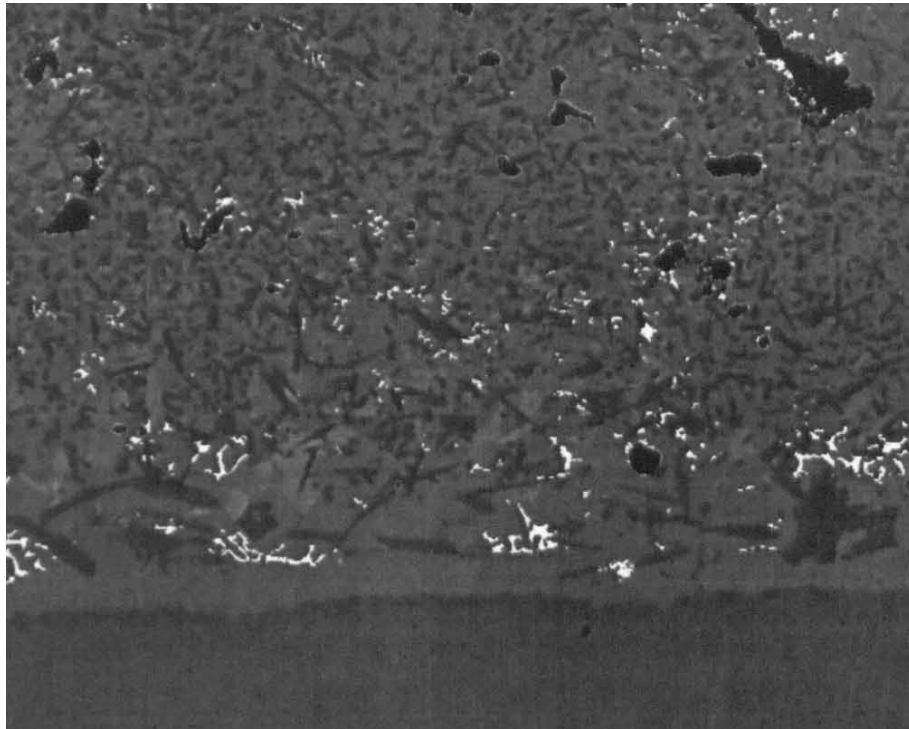


Рис. 3.8. Поперечний переріз зносостійкого шару утвореного спіканням порошкового матеріалу «Арматеш» + 10% WC/W<sub>2</sub>C і матеріалу основи в місці утворення адгезійного зв'язку.

### 3.3. Результати польових випробувань зносостійкості змінного долота леміша з нанесеним зносостійким шаром

Для експлуатаційних досліджень були виготовлені 15 дослідних зразків: 5 зразків зі сталі 27MnCrB5; 5 – сталь 27MnCrB5 + «Арматеш» та 5 – сталь 27MnCrB5 + «Арматеш»+ 10% WC/W<sub>2</sub>C.

Деталі виготовленні з борвмісної сталі 27MnCrB5 це серіні робочі органи, хімічний склад сталі представлено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад сталі 27MnCrB5

Хімічний елемент	C	Si	Mn	P	S	Cr	B	Fe
27MnCrB5	0,24	<0,4	1,1-1,4	<0,025	<0,035	0,3-0,6	0,0008-0,005	ін.

Додавання бору до сталі покращує її загартування, уповільнює утворення фериту та перліту, дозволяє утворенню мартенситу. Додавання бору в кількості 0, 002...0,003 % від маси має такий самий вплив на підвищення абразивної стійкості сталі, як додавання 0,8 % Cr або 1,1% Ni. Перевага бору заключається також і в тому, що він найдешевший. Однак цей ефект може бути загальмований зі збільшенням вмісту вуглецю в сталі, найбільший ефект спостерігається при рівні вуглецю нижче 0,25 %, також позитивний ефект спостерігається при вмісті вуглецю в межах 0,4%.

Покриття «Арматеш» дозволяє суттєво підвищити зносостійкість деталей машин, які працюють в середовищі ґрунту. Зазвичай його наносять на основу виготовленої з вуглецевої конструкційної сталі підвищеної якості або борвмісної сталі. Оскільки покриття має товщину всього 1...3 мм тоді його зносостійкість повинна бути в 5 разів вище за зносостійкість матеріалу основи.

Покриття «Арматеш» являє собою сплав порошкової металургії, що містить в своєму складі Fe-Ni-Cr-C-B в якості основних компонентів. Хімічний склад порошку «Арматеш» представлено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Хімічний склад порошкового матеріалу «Арматеш»

Хімічний елемент	C	Si	Ni	V	Mn	Cr	S	B
«Арматеш»	1,8- 2,1	2,8- 3,1	10,0- 12,0	0,08- 0,12	0,3- 0,5	11,5- 14,5	0,04 max	2,75- 3,75

При нанесенні порошку на поверхню робочих органів ґрунтообробних машин необхідно додавати монтморилонітову натрієво-бентонітову глину (1%). Вона виступає для покращення процесу спікання порошкового матеріалу з матеріалом основи також вона виступає в ролі суспензії, яка дозволяє залишатися порошку на поверхні деталей під час спікання. Хімічний склад монтморилонітової натрієвої бентонітової глини представлено в табл. 3.3.

Для ущільнення та покращення спікання додають також метаборат натрію ( $\text{NaBO}_2$ ) або флюс в розмірі 0,4% від маси. Флюс застосовують для розщеплення будь-яких наявних оксидів а також знижує температуру плавлення оксиду заліза.

Таблиця 3.3 – Хімічний склад монтморилонітової натрієво-бентонітової глини

Речовина	% (мас.)	Речовина	% (мас.)	Речовина	% (мас.)
$\text{SiO}_2$	50,8	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1,7	$\text{TiO}_2$	0,2
$\text{Al}_2\text{O}_3$	20,2	$\text{CaO}$	1,6	$\text{BaO}$	0,1
$\text{Na}_2\text{O}$	3,7	$\text{K}_2\text{O}$	1,0	$\text{P}_2\text{O}_5$	0,02
$\text{MgO}$	2,4	$\text{SO}_3$	0,3	-	-

Результати експлуатаційних досліджень по визначенню зносостійкості змінних доліт лемешів плуга ПОН-7-40 представлено на рис. 3.9.

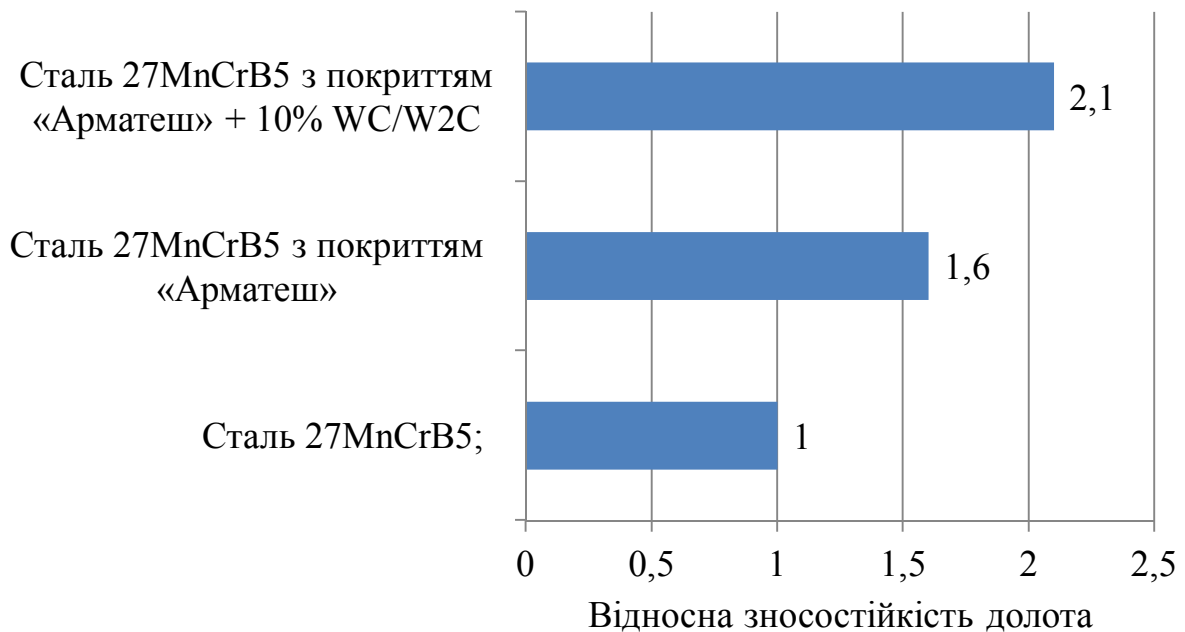


Рис. 3.9. Відносна зносостійкість змінного долота лемеша плуга ПОН-7-40 виготовленого з різного матеріалу

Результати експлуатаційних випробовувань підтверджують результати лабораторних досліджень по визначенню відносної зносостійкості матеріалів в умовах абразивного зношування.

Зносостійкість не являється об'єктивним критерієм надійності машин, саме тому були проведені ресурсні випробовування змінних доліт лемешів плуга по визначенню їх довговічності.

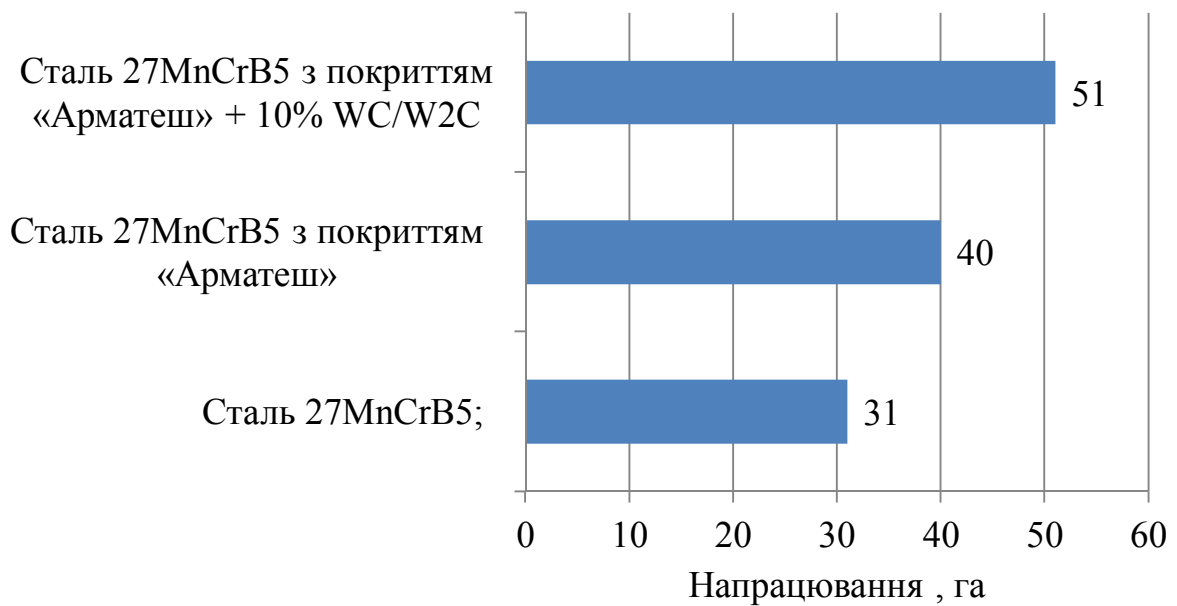


Рис. 3.10. Довговічність змінних доліт лемеша плуга ПОН-7-40 при роботі на важких ґрунтах.

Як бачимо з рис. 3.10 застосування порошкового матеріалу «Арматеш» та «Арматеш» + 10% WC/W<sub>2</sub>C для зміцнення поверхні тертя робочих органів плугів дозволяє підвищити їх довговічність в 1,29 та 1,65 разів відповідно. Порівняно менше відносне підвищення довговічності, в порівнянні зі зносостійкістю пов'язано зі зростанням інтенсивності зношування після стирання зносостійкого покриття (рис.3.11).

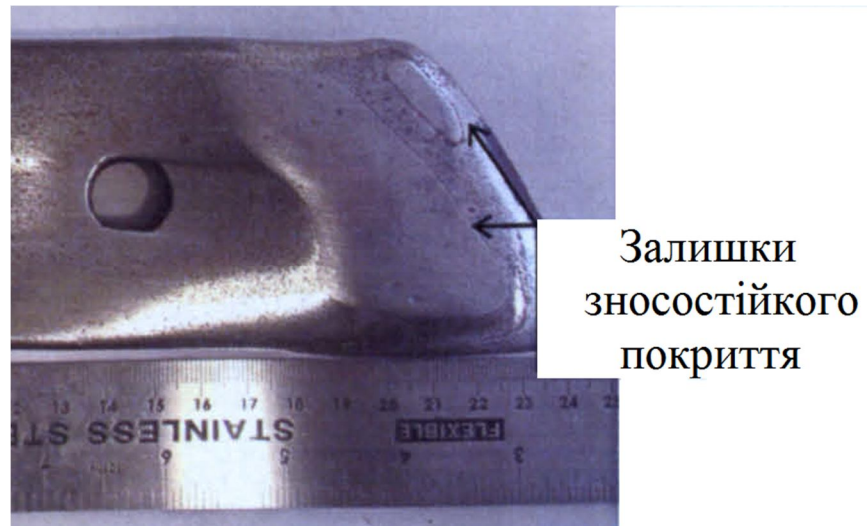


Рис. 3.11. Долото леміша зміцнене порошковим матеріалом «Арматеш» після напрацювання 37 га.

### Висновки по розділу 3

Використання зносостійких покриттів дозволяє суттєво підвищити довговічність та зносостійкість робочих органів плугів для обробки важких ґрунтів. Застосування порошкового матеріалу «Арматеш» та «Арматеш» + 10% WC/W<sub>2</sub>C для зміцнення змінного долота леміша плугів дозволяє підвищити їх довговічність в 1,29 та 1,65 разів відповідно. Більш суттєво, данні матеріали впливають на зносостійкість в початкових етапах експлуатації ґрунтообробної техніки, так застосування порошкового матеріалу «Арматеш» дозволяє підвищити зносостійкість змінного долота леміша в 1,6 рази, а «Арматеш» + 10% WC/W<sub>2</sub>C в 2,1 рази.



## ВИСНОВКИ

В результаті проведених експлуатаційних досліджень встановлено, що:

Процес зношування робочих органів плугів для обробітку важких ґрунтів визначається фізико-механічними, хімічними та триботехнічними властивостями поверхні, яка безпосередньо взаємодіє з ґрунтом та властивостями ґрунтового середовища.

Нанесення зносостійкого порошкового покриття «Арматеш» на деталі плугів для обробітку важких ґрунтів, виготовлених з борвмісної сталі, дозволяють суттєво підвищити їх зносостійкість. Слід відмітити, що додавання до порошку «Арматеш» 10% WC/W<sub>2</sub>C дозволяє покращити триботехнічні властивості нанесеного покриття та підвищити зносостійкість робочих органів плугів, в порівнянні зі стандартним нанесенням порошкового покриття «Арматеш».

Проведенні дослідження підтвердили можливість застосування розробленої на кафедрі Машиновикористання та сервісу технологічних систем Поліського національного університету лабораторної установки для визначення зносостійкості матеріалів за методом «крильчатки», які працюють в ґрунтовому середовищі.

Результати проведених досліджень можливо застосовувати при експлуатації плугів важких ґрунтами (глинистих та суглинкових). Для встановлення можливості застосування розробленого способу підвищення зносостійкості робочих органів плугів на легких ґрунтах (піщаних та супіщаних), які мають вищу зношувальну здатність необхідно проводити відповідні дослідження.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Хрущёв М. М., Бабичев М. А. Абразивное изнашивание. Москва : «Наука», 1970. 272 с.
2. Волков Ю. В., Волкова З. А., Кайгородцев Л. М., Долговечность машин, работающих в абразивной среде. Москва : Машиностроение. 1964. 116 с.
3. Бернштейн Д.Б. Абразивное изнашивание лемешного лезвия и работоспособность плуга. *Тракторы и сельхозмашины*. 2002. №6. С.40-45.
4. Мударисов С.Г. Моделирование процесса износа корпуса плуга. *Достижения науки и техники АПК*. 2006. № 5. С. 42-43.
5. Фаюршин А.Ф. Повышение долговечности лезвийных рабочих органов. *Ремонт, восстановление, модернизация*. 2007. №8. С. 17-19.
6. Василенко, Н.А. Перспективы применения локального упрочнения при изготовлении и восстановлении рабочих органов. *Техника АПК*. 2008. Вып. 1. С. 29–31.
7. Ткачев В. Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин. Москва : Машиностроение, 1971. 264 с.
8. Гаркунов Д. Н., Корник П. И. Виды трения и износа. Эксплуатационные повреждения деталей машин : монография. Москва : Издательство МСХА, 2003. 343
9. Войнов Б. А. Износостойкие сплавы и покрытия. Москва : Машиностроение, 1980. 120 с.
10. Mohapatra G., Sahay S.S. Wear and Tribology in Agricultural Machinery. Friction, Lubrication, and Wear Technology. 2017. Vol. 18. <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v18.9781627081924>.
11. Eremeev A. V. Wear Factors of Tillage Machines Working Tools. *Applied Mechanics and Materials*. 2013. Vol. 379. P. 32-35.

12. Fielke J. M., Riley T. W., Slattery M. G. Fitzpatrick Comparison of tillage forces and wear rates of pressed and cast cultivator shares. *Soil and Tillage Research*. January 1993. № 25. P. 317-328.
13. Lebedev A., Lebedev P., Zakharin A., Maryin N., Zhevora Y. Improving the reliability and efficiency of tillage machines. *XII International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2019. doi:10.1088/1755-1315/403/1/012059.
14. Torrence A. A. A new approach to the mechanics of abrasion. *Wear*. 1981. P. 233-257.
15. A.M.Mouazen, H. Ramon, A numerical-statistical hybrid modeling scheme for evaluation of draught requirements of subsoiler cutting a sandy loam soil, as affected by moisture content, bulk density and depth. *Soil & Tillage Research*. 2012. Vol. 63. P. 155-165.
16. Бакижанова Д. С., Жусин Б. Т., Канаев А. Т. Плазменное упрочнение сменных деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин. *Materialy VIII Mezinarodni vedecko-prakticka konference "VZNiKMODERNI VEDECKE - 2012", Praha Publishing House "Education and Science" s.r.o.* 2012, p. 83-87.
17. Михальченков А. М., Тюрева А. А., Михальченкова М. А. Новые способы упрочнения плужных лемехов. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2007. №7. С. 39-40.
18. Винокуров, В.Н. Исследование, разработка и внедрение в производствосамозатачивающихся рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий : монография. Москва : ГОУ ВПО МГУЛ, 2009. 311 с.
19. Сидоров С. А., Миронов Д. А. Обоснование повышения эксплуатационно-ресурсных характеристик лемехов плугов. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013. № 6. С. 14-17.
20. Antony J. *Design of Experiments for Engineers and Scientists*. Elsevier. 2014. 190 p.

21. Bell G. H., Ledolter, J., Swersey AJ. Experimental design on the front lines of marketing: testing new ideas to increase direct mail sales, *International Journal of Research in Marketing*. Vol. 23, № 3. P. 309-319.
22. Адлер Ю. П. Введение в планирование эксперимента. Москва : Металлургия, 1968. 158 с.
23. Allen T. T. Introduction to Engineering Statistics and Lean Sigma, Statistical Quality Control and Design of Experiments and Systems. Springer. 2010. 600 p.
24. Fisher R. A. The Design of Experiments. Hafner Press. 1971. 256 p.