

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

**Факультет інженерії та енергетики**

**Кафедра машиновикористання та сервісу технологічних систем**

**Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису**

**СЕРЕДНЮК СЕРГІЙ ОЛЕГОВИЧ**

**УДК 631.31**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**Підвищення зносостійкості робочих органів глибокорозпушувача**

**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 \_\_\_\_\_ С.О. Середнюк

**Керівник роботи**

**Білецький В.Р.**

**кандидат технічних наук, доцент**

**Житомир – 2020**

## АНОТАЦІЯ

**Середнюк Сергій Олегович. Підвищення зносостійкості робочих органів глибокорозпушувача. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.**

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

В магістерській роботі проведено аналіз досліджень процесу зношування робочих органів ґрунтообробних машин. В результаті взаємодії робочих органів глибокорозпушувача з ґрунтом на поверхні тертя відбувається абразивне зношування.

Визначено перспективні способи підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів глибокорозпушувача. Для зменшення інтенсивності зношування необхідно застосовувати нанесення зносостійкого шару на зовнішню поверхню робочих органів. Хімічний склад та структуру зносостійкого шару слід вибирати в залежності від умов та режимів роботи.

В результаті проведених експлуатаційних досліджень встановлено, що нанесення зносостійких матеріалів (Lincor 60 та Teromat 46) дозволяє підвищити довговічність робочих органів глибокорозпушувача приблизно в два рази.

Тверде покриття Lincor 60 з карбідами типу  $M_7C_3$  та матрицею аустеніту нанесеного зі сплаву Fe-Cr-C, має вищу стійкість до абразивного зношування та менші витрати порівняно з покриттями Teromat 46 нанесеного зі сплаву Fe-Cr-C-Nb з карбідами типу  $M_7C_3$  та MC та феритної матриці.

*Ключові слова:* зносостійкість, глибокорозпушувач, твердість, мікроструктура, ґрунт, робочий орган

## ANNOTATION

**Serednyuk Sergey Olegovich. Increasing the wear resistance of the working bodies of the ripper. – Qualification work on the rights of the manuscript.**

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

In the master's thesis the analysis of researches of process of wear of working bodies of tillage machines is carried out. As a result of interaction of working bodies of the deep ripper with soil on a friction surface there is an abrasive wear.

Promising ways to increase durability and wear resistance are identified. To reduce the intensity of wear, it is necessary to apply a wear-resistant layer on the outer surface of the working bodies. The chemical composition and structure of the wear-resistant layer should be chosen depending on the conditions and modes of operation.

As a result of the conducted operational researches it is established that application of wear-resistant materials (Lincor 60 and Teromat 46) allows to increase durability of working bodies of the deep ripper approximately twice.

Lincor 60 hard coating with  $M_7C_3$  carbides and austenite matrix applied from Fe-Cr-C alloy has higher abrasion resistance and lower costs compared to Teromat 46 coatings made from Fe-Cr-C-Nb alloy with  $M_7C_3$  and MC type carbides and ferrite matrix.

*Keywords: wear resistance, deep ripper, harden, microstructure, soil, working body*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ЗНОШУВАННЯ ТА СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГЛИБОКОРОЗПУШУВАЧА.....	8
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	13
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	17
ВИСНОВКИ.....	27
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	28

## ВСТУП

Деталі та робочі органи сільськогосподарських машин працюють в досить складних умовах. В сільському господарстві переважаючим видом зношування деталей машин є абразивний [1]. На абразивний знос припадає приблизно 70% всіх відмов, які виникають в результаті експлуатації сільськогосподарської техніки. Найбільше абразивному зношуванню піддаються робочі органи ґрунтообробних машин, які в процесі виконання технологічної операції взаємодіють з ґрунтовим середовищем. Підвищення їх довговічності та зносостійкості в 90% випадків досягається технологічними методами [2]. Одним з найпоширеніших методів підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин є нанесення зносостійких покриттів. Найбільше для цих цілей підходить використання зварювальних технологій [3, 4], саме тому визначення режимів та способів нанесення зносостійких покриттів за допомогою порошкових електродів є беззаперечно актуальною задачею.

**Мета і задачі дослідження.** Метою магістерської роботи є підвищення зносостійкості робочих органів глибокорозпушувача на основі триботехнічного обґрунтування зміни характеристик поверхневих шарів.

Для реалізації поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- проаналізувати механізм та характер зношування робочих органів глибокорозпушувача;
- визначити перспективні способи підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів глибокорозпушувача;
- провести лабораторні дослідження триботехнічних властивосте запропонованих зносостійких покриттів;
- провести експлуатаційні дослідження зміцнених робочих органів глибокорозпушувача.

**Об'єкт дослідження:** процес зношування робочих органів глибокорозпушувача.

**Предмет дослідження:** закономірності зміни зносостійкості та довговічності робочих органів глибокорозпушувачав залежності від триботехнічних, фізико-механічних та хімічних характеристик поверхонь тертя.

**Методи дослідження.** При проведені досліджень використано методи реології, фізики твердого тіл, трибології та механіки руйнування. Оброку експериментальних даних виконували за допомогою математичної статистики з використанням прикладних комп'ютерних програм.

**Перелік публікацій за темою роботи:**

1. В.Р. Білецький **Сердюк С. О.** Зношування робочих органів глибокорозпушувача. Збірник Тез доповідей VII 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. С. 114-115.

2. **Сердюк С.О.** Зносостійкість робочих органів ґрунтообробних машин. Збірник матеріалів I 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. 119-120.

3. **Сердюк С.О.** Механізм абразивного зношування. Матеріали XXI Міжнародної наукової конференції *„Сучасні проблеми землеробської механіки”* присвяченої 90-річчю Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка та 120-й річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка. 17 – 18 жовтня 2020 року Харків : ХНТУСГ ім. П. Василенка. С. 80.

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати роботи дозволяють підвищити зносостійкість та довговічність робочих органів

грунтообробних машин приблизно в два рази. Результати роботи рекомендується впроваджувати в умовах сільськогосподарських підприємств зони Лісостепу.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 23 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 30 сторінка комп'ютерного тексту містить 1 таблиця і 15 рисунків.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ЗНОШУВАННЯ ТА СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГЛИБОКОРОЗПУШУВАЧА

Знос загалом визначається як втрата або деформація матеріалу тіла, що відбувається в результаті взаємодії з матеріалом, будь то поверхневим або внутрішнім [1 – 5]. Знос відбувається в різних галузях промисловості і варіюється в широких межах залежно від характеристик, пов'язаних з конкретною трибосистемою. Рішення трибологічної проблеми залежить від точного виявлення її природи; аналіз проводиться системно, через знання різних механізмів зносу, які описують енергетичні та речовинні взаємодії між елементами трибо системи [4]. Тип відносного руху та характеристики тіл, що контактують, можуть бути використані для класифікації різних процесів зношування. Трибосистема складається з чотирьох основних елементів: тверде тіло, протитіло, міжфазний елемент та навколишнього середовища рис. 1.1 [2-5].

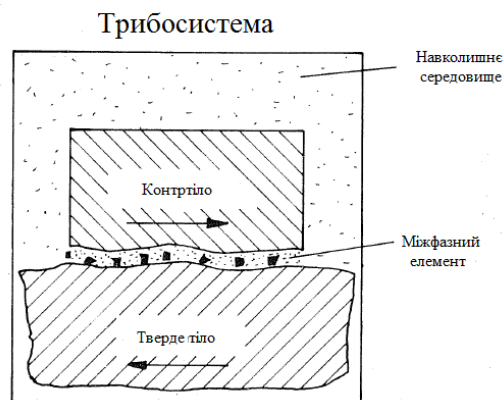


Рис. 1.1. Загальна схема трибосистеми.

При оптимізації системи, спрямованої на підвищення зносостійкості, спочатку слід визначити механізми видалення матеріалу, що діє на поверхні. Існує чотири основних механізми зношування: адгезія, стирання, втома поверхні та трибохімічна реакція. Поєднання їх породжує всі відомі процеси зношування [2 – 5].



Адгезійний знос – це утворення та руйнування міжфазних зв'язків. Стирання – це видалення матеріалу внаслідок подряпин. Втоминість поверхні починається з утворення тріщин у поверхневих і внутрішніх областях через цикли механічних напружень, які призводять до відокремлення матеріалу. Знос трибохімічною реакцією – це утворення продуктів хімічних реакцій в результаті фізико-хімічних взаємодій між елементами трибо системи [2 – 5].

Абразивний знос збільшується пропорційно співвідношенню між твердістю абразиву ( $H_a$ ) та твердістю матеріалу ( $H_m$ ) у багатофазному матеріалі, коли  $H_a/H_m$  становить від 0,8 до 1,4. Для значень більше 1,4 знос, як правило, залишається на високому і постійному рівнях; коефіцієнти менше 0,8 гарантують низький абразивний знос [1].

Робочі органи глибокорозпушувачів (долота) піддаються зносу, переважно абразивного типу і в меншій мірі за рахунок удару та трибохімічної дії (рис. 1.2).



а)



б)

Рис. 1.2. Робочий орган глибокорозпушувача: а – новий; б – зношений.

Зношений робочий орган, як правило, менш ефективний для обробітку ґрунту, може призвести до збільшення питомого опору знаряддя, зменшити робочу глибину, зменшити подрібнення [6 – 15].

Сільськогосподарські машини піддаються абразивному зношуванню з малим зусиллям у більшості умов обробітку ґрунту. За таких обставин метал зношується багаторазовою дією тертя частинок по поверхні, не руйнуючи абразивів. В екстремальних ситуаціях, при обробітку, дуже твердих або компактних ґрунтів може виникати стирання з високим напруженням, руйнуючи абразивні частинки. Найважливішою абразивною складовою ґрунтів

та багатьох типів гірських порід є кварц та інші форми кремнезему з приблизною твердістю 1100 HV [1].

Абразивне зношування ґрунтообробних інструментів характеризується великими канавками, утвореними гірськими породами або абразивними фрагментами, які вирізають або «проорюють» велику частину металевої поверхні робочого органу [8].

Встановлено, що зношування ґрунтообробних інструментів в основному обумовлено типом ґрунту, вмістом вологи, часом та глибиною роботи, характером питомих навантажень, твердістю інструменту та ґрунту. Збільшення зносу пропорційне розміру абразивних частинок, за винятком випадків, коли більш дрібні частинки мають форму з гострими кутами. Знос збільшується при ущільненні ґрунту і зменшується при більш високому вмісту вологи, за винятком піщаних ґрунтів, які у вологих умовах підвищують їх абразивність [1].

Виходячи з вище зазначеного для підвищення зносостійкості робочих органів глибокорозпушувачів необхідно шукати сучасні методи підвищення поверхневої твердості.

З останні роки досліджено різні методи підвищення зносостійкості робочих органів сільськогосподарських машин, які взаємодіють з ґрунтом. Різні дослідження вимірювали знос через різницю в масі або лінійних розмірах, виміряні на початку та в кінці польових або лабораторних досліджень. Ці дослідження дають якісну інформацію про відносну ефективність вивчених матеріалів. Однак неможливо здійснити кількісне порівняння між ними, завдяки унікальним умовам кожного випробування, з точки зору характеристик інструменту, абразиву та експлуатації.

Оцінюючи стійкість матеріалів до абразивного зношування 10 груп твердих покриттів (карбіди вольфраму, аустенітні та мартенситні сталі, аустенітні та мартенситні лиття, кераміка, нікелеві основи, кобальтова основа, та інших) використовуючи різні методи нанесення (SMAW, тепла проекція,

електроосадження) [6]. Проведені польові випробування (втрата маси, кожні 200 м) та лабораторні (втрата маси стиранням, наждачним папером зерно 40 і 180). Автор порівняв знос кожної групи з контрольним матеріалом, зробивши висновок, що аустенітна ливарна група (3,5% С, 33% Cr), що складається з мікроструктури первинних карбідів в аустенітній матриці виявилася найбільш стійкою до абразивного зносу, як у польових так і в лабораторних умовах [6].

Виходячи з бібліографічного огляду та інших можна зробити висновок що схема нанесення зносостійкого покриття повинна наноситися на лицьову сторону робочого органу, в залежності від розміру піску або наявності кам'янистих фрагментів в ґрунті (пісок: частинки ґрунту розмірами від 0,05 мм до 2 мм та кам'яністі фрагменти: частинки ґрунту розміром від 2 до 600 мм. USDA). Результати досліджень слід доповнити схемами нанесення покриття на бічних гранях, що використовується для самозаточування інструменту в машинах гірничої галузі (рис. 1.3) [7]. Різні дослідники рекомендують підбирати хімічний склад зносостійкого покриття, залежно від типу інструменту та інтенсивності зношування. У випадку з плугами, які працюють на ущільнених піщаних ґрунтах, пропонує застосувати дугового наплавлення 30% Cr, 3,5% С, 1,6% Мо – мікроструктура сплаву гіперевтектична, але покриття доволі дороге через вміст молібдену.

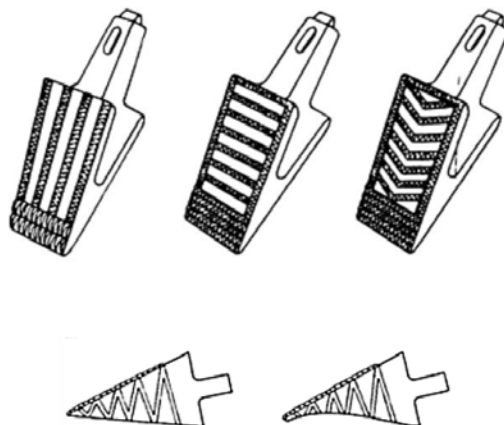


Рис. 1.3 Схеми нанесення зносостійкого покриття для досягнення ефекту самозагострювання [16]

## **Висновки по розділу 1.**

В результаті взаємодії робочих органів глибокорозпушувача з ґрунтом на поверхні тертя відбувається абразивне зношування. Для зменшення інтенсивності зношування необхідно застосовувати нанесення зносостійкого шару на зовнішню поверхню робочих органів. Хімічний склад та структуру зносостійкого шару слід вибирати в залежності від умов та режимів роботи.

## РОЗДІЛ 2

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для проведення дослідження було виготовлено чотири типи зразків, з одним і двома шарами нанесеного матеріалу, для кожного обраного електрода (матеріали: Lincore та Teromates), товщиною 4 мм.

При нанесенні зносостійкого матеріалу електродами (дуговим способом) притримувались рекомендацій попередніх досліджень та виробників електродів знайдених у літературі, прагнучи досягнути однорідності нанесеного матеріалу, зменшення кількості тріщин та високу твердість поверхні.

На рис. 2.1. наведені етапи виробничого процесу нанесення зносостійкого шару на робочі органи.



а)



б)



в)



г)

Рис. 2.1 Етапи нанесення зносостійкого покриття: а – встановлення заготовки, б – попередній підігрів; в – нанесення, г – охолодження.

Обладнання, що використовувалось для нанесення зносостійкого шару представлено на рис. 2.2.



а)



б)



в)



г)

Рис. 2.2. Обладнання, яке використовувалось в процесі дослідження для нанесення зносостійких покриттів: а – живильник дроту, б – джерело живлення, в – технологічний пістолет; г – обладнання для автоматизації процесу

Для аналізу триботехнічних властивостей досліджували мікроструктуру нанесених покриттів та серійних робочих органів.

Зображення мікроструктури отримували при різному збільшенні за допомогою оптичної та скануючої електронної мікроскопії, за допомогою якої можна було ідентифікувати фази та присутні домішки у твердих покриттях. За допомогою цифрового аналізу зображень було визначено: орієнтацію, розмір, розподіл і частку площі твердих включень.

Поперечний та поздовжній зрізи були зроблені в центральній частині покриттів, які наносились на пластину товщиною 12 мм. Зразки готували шляхом ручного сухого полірування абразивним папером з карбїду кремнію номер ASTM 240, 320, 400, 600 та 1000, а також тонкого полірування на полотнах з абразивними частинками 12,5 мкм глинозему та 1 мкм алмазу. Після того, як зразки відшліфували, їх обробляли реагентом Каллінга №2 (100 мл етанолу, 100 мл HCl, 5 г CuCl<sub>2</sub>), приблизно 20 секунд.

Зображення аналізували зі збільшенням 100x та/або 200x у репрезентативних областях твердих покриттів біля поверхні. Обробку зображень проводили за допомогою безкоштовного програмного забезпечення

Вимірювання твердості проводили на зразках з твердим покриттям та інструментах, що використовуються в польових умовах. Вимірювання проводили після ручного сухого полірування абразивними паперами з карбїду кремнію номерами ASTM 240, 320, 400 та 600.

Для вимірювання твердості використовували ультразвуковий твердомір. Для кожного зразка було проведено 5 вимірювань в районі, найбільш схильному до абразивного зносу.

Експериментальні дослідження були проведені в умовах Лісостепової зони Житомирської області. Переважаючі ґрунти – суглинкові.

Для польових досліджень використовували п'ять зразків робочих органів глибокорозпушувача:

- Зразок 1 – стандартний робочий орган (позначимо 1);
- Зразок 2 – покриття Lincor 60 в один шар (позначимо 2);
- Зразок 3 – покриття Lincor 60 у два шари (позначимо 3);
- Зразок 4 – покриття Teromat 46 в один шар (позначимо 4);
- Зразок 5 – покриття Teromat 46 у два шари (позначимо 5).

Заміряли втрату ваги після проходження 120 метрів з точністю до 0,01г.

Розташування та встановлення інструменту в процесі дослідження представлено на рис. 2.3.



Рис. 2.3. Робочі органи глибокорозпушувача при встановленні на агрегат та під час експлуатації.

Планування експерименту та обробку експериментальних даних виконували згідно методик представлених в роботах [19 -23].

### **Висновки по розділу 2.**

В другому розділі магістерської роботи розроблено методика дослідження триботехнічних властивостей запропонованих зносостійких покриттів та методика експлуатаційних досліджень по випробовуванню зносостійкості робочих органів глибокорозпушувача.



### РОЗДІЛ 3

## РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для підвищення зносостійкості робочих органів глибокорозпушувача запропоновано нанесення одного та двох шарів вибраних електродів на робочий орган виготовленого зі сталі 65Г. Нанесення другого шару провидили для зменшення розведення матеріалу покриття з матеріалом основи. Нанесення декількох шарів є основною стратегією для досягнення хімічного складу на поверхні покриття, наближеного до складу нанесеного електрода. Нанесення третього шару не виконували, оскільки за висновками виробників електродів третій шар може збільшити кількість і розмір тріщин в покритті, спричинених внутрішніми силами при утворенні карбідних фаз під час охолодження, що призведе до їх відшарування. Нанесення ще одного шару призведе до збільшення витрати електродів на 33%, що призведе до росту вартості робочих органів.

Вибір параметрів зварювання це доволі складне завдання з багатьма факторами. Якісним вважається покриття без пор, підривів, з мінімальною кількістю тріщин та однорідним по всьому об'єму нанесеного покриття. Для рівного та правильного по конфігурації шару нанесеного покриття застосовували перекриття попереднього проходу на рівні 40%. Нанесення обох видів електродів виконували на одних і тих же режимах.

Нанесення зносостійкого шару виконували двома видами електродів Lincog 60 та Teromat 46 (рис. 3.1 та рис. 3.2). Нанесення виконували порошковими дротами діаметром 1,6 мм, виготовлених зовні з низьковуглецевої сталі, а серцевина наповнена порошками та флюсами (рис. 3.1 та 3.2). При нанесенні одного шару його товщина складала 4 мм, а при нанесенні двох шарів – 8 мм. Загалом геометричні розміри покриття на лицьовій стороні інструменту складала: довжина 115 мм та 65 мм ширина.

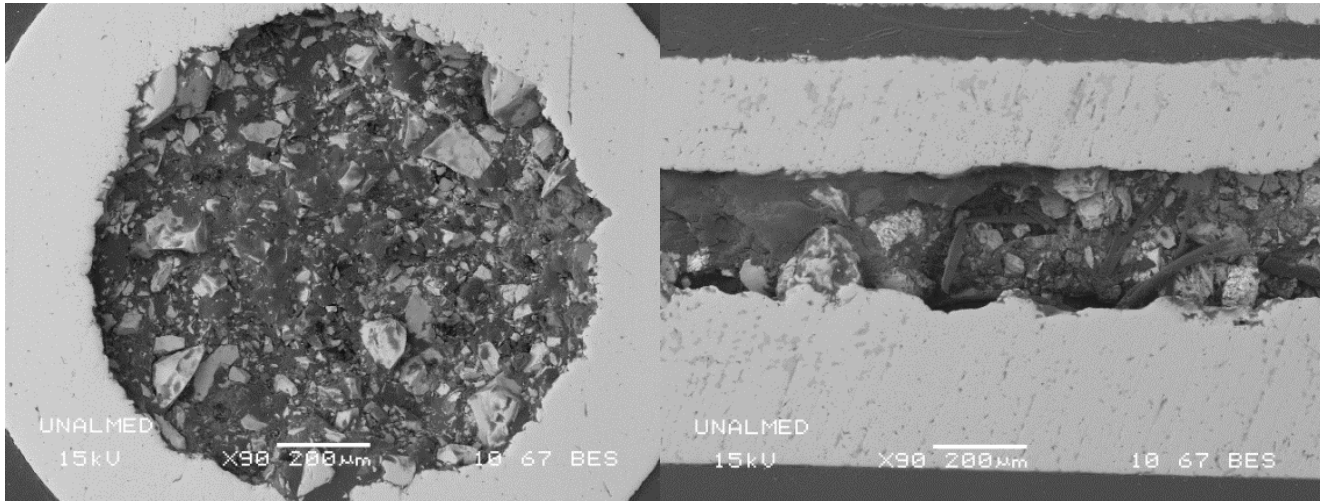


Рис. 3.1. Переріз електроду Lincor 60.

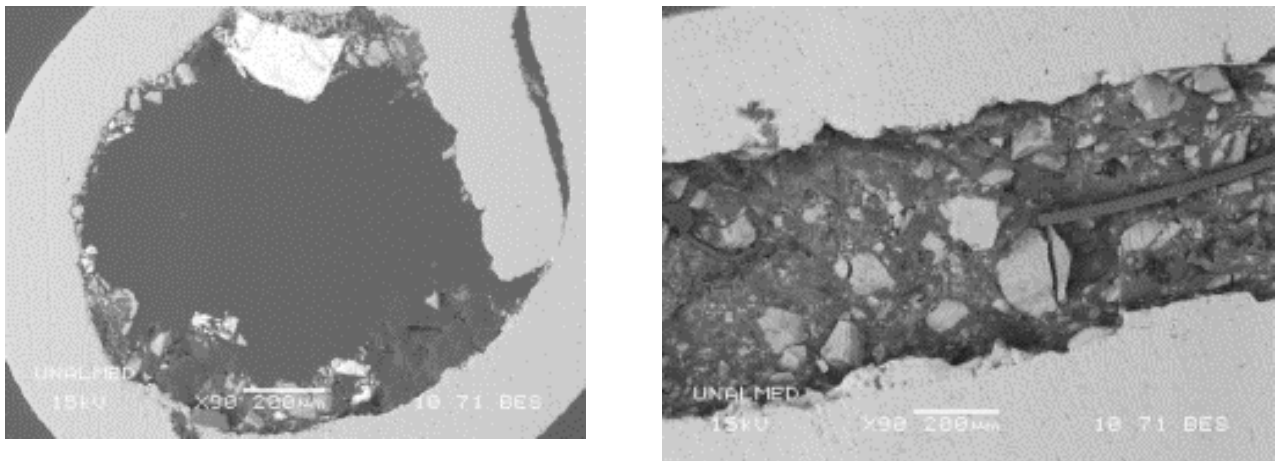


Рис. 3.2. Переріз електроду Teromat 46.

При нанесенні покриття відбувається змішування матеріалу основи з матеріалом електроду, так для електроду Lincor 60 цей показник склав 26%, а для електроду Teromat 46 – 24% (рис. 3.3. та 3.4).

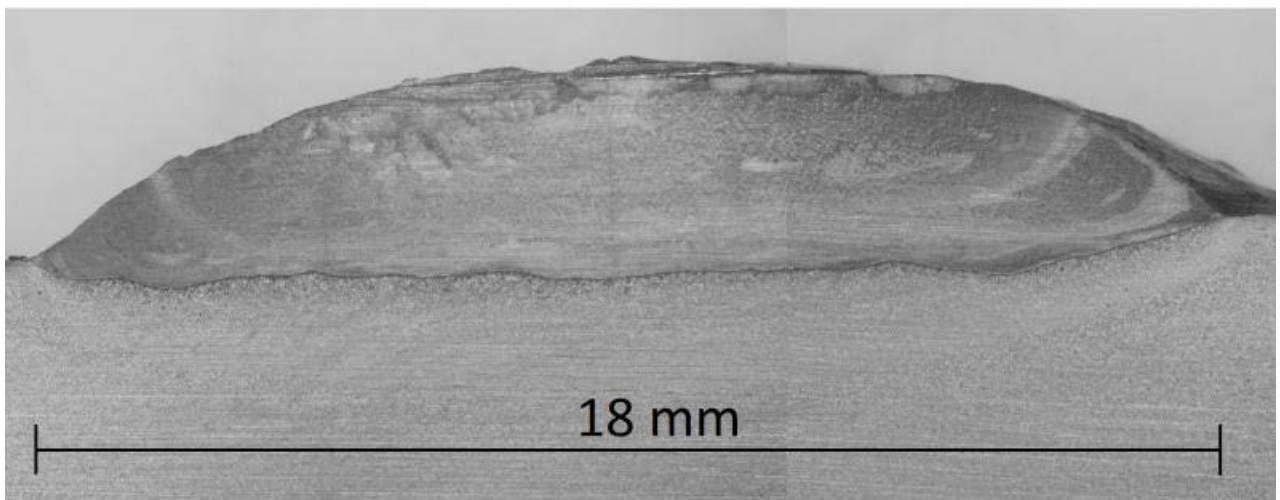


Рис. 3.3. Нанесення електроду Lincor 60 на поверхню сталі 65Г

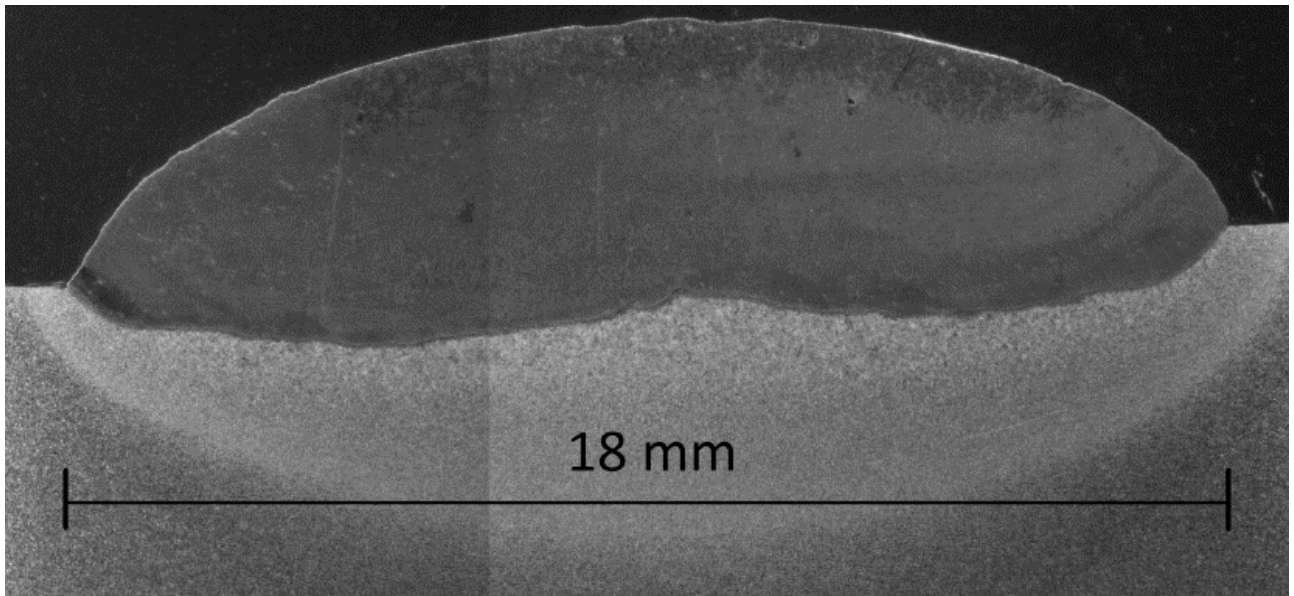


Рис. 3.4. Нанесення електроду Teromat 46 на поверхню сталі 65Г

Мікроструктура нанесеного зносостійкого покриття представлена на рис. 3.5 та 3.6

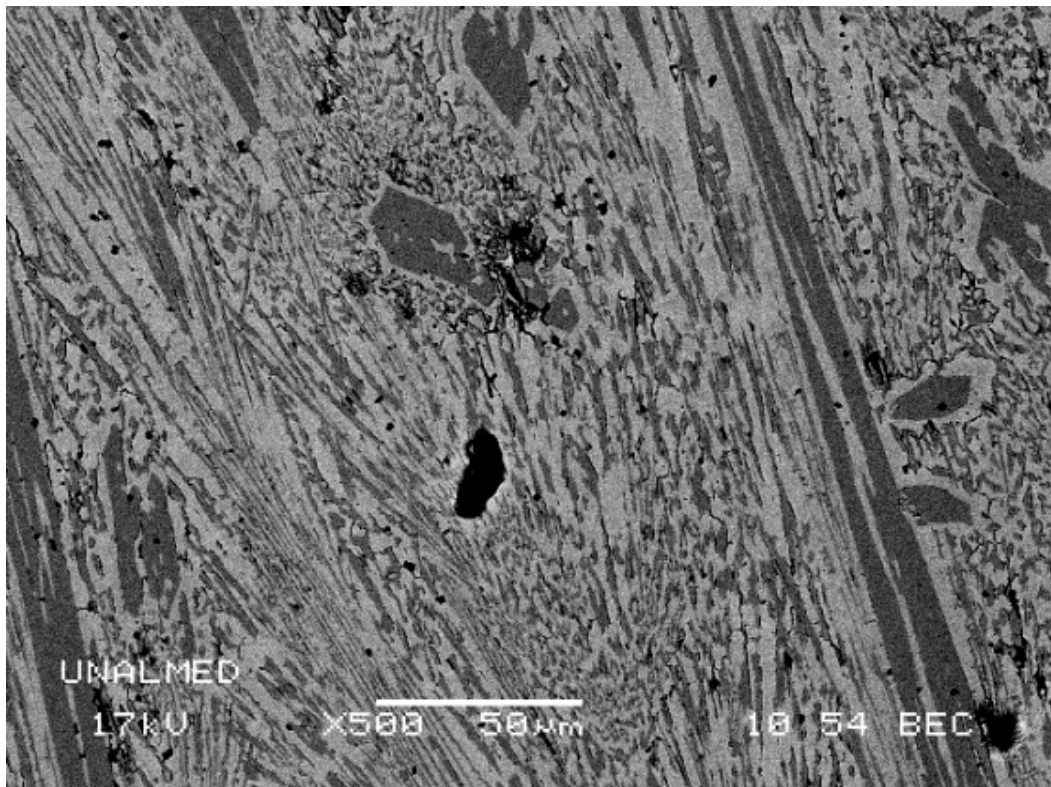


Рис. 3.5 Мікроструктура нанесеного зносостійкого покриття електродом Lincor 60.

В загальному область біля межі розподілу можна визначити гіповтектичну структуру, проміжну область як евтектичну, а площу поверхні як

гіперевтектичну. Дана закономірність обумовлена розведенням зносостійкого шару нанесеного електродом Lincor 60 металом основи. У випадку наенесення зноостійкого шару електродою Lincor 60 можна стверджувати про розведення 26%, що призведе до дифундування у сталь у цій пропорції хімічних елементів сталі 65Г.

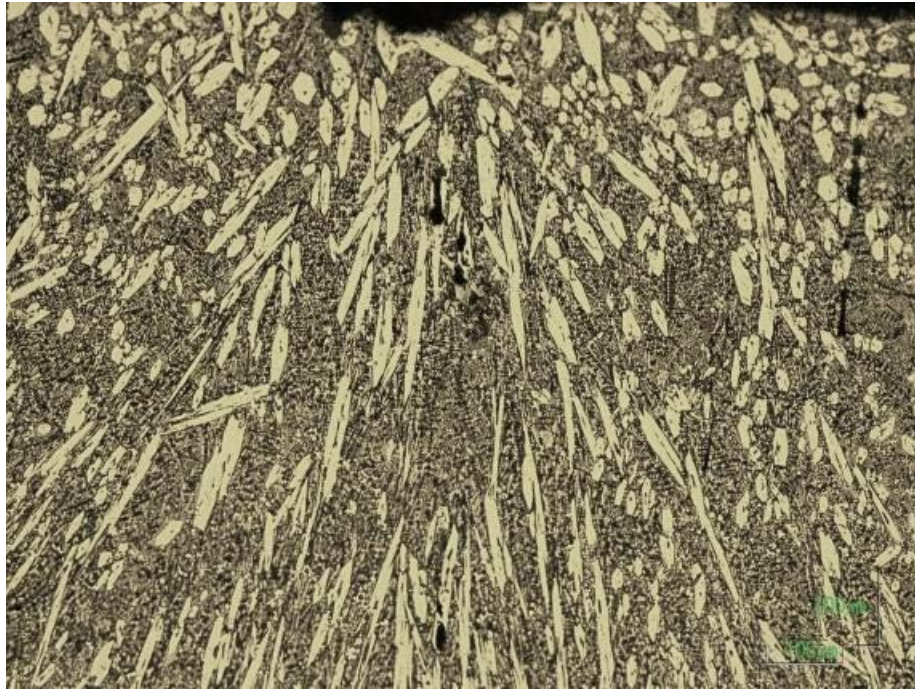


Рис. 3.5 Мікроструктура нанесеного зносостійкого покриття електродом Teromat 46.

На рис. 3.5 видно, що з віддаленням від матеріалу основи спостерігається зближення гексоганальних карбідів. Крім того на додаток до карбідів  $M_7C_3$  з'являються також і  $NbC$ , які виглядають яскравішими, завдяки більшій атомній масі.

Слід також відмітити, що покриття нанесене електродою Lincor 60 має значно менше тріщин в порівнянні з покриттям нанесеним електродом Teromat 46.

Для проведення досліджень були виготовлені 15 дослідних зразків (по три кожного виду: стандартний робочий орган (1-3); покриття Lincor 60 в один шар (4-6); покриття Lincor 60 у два шари (7-9); покриття Teromat 46 в один шар (10-12); покриття Teromat 46 у два шари (13-15) (рис. 3.6).



Зразки 1-3



Зразки 4-6



Зразки 7-9



Зразки 10-12



Зразки 13-15

Рис. 3.6 Дослідні зразки для проведення польових випробовувань.

Як видно з рис. 3.6 зносостійкий матеріал наносили лише на лицьову сторону, яка найбільше піддається абразивному зношуванню. Решта поверхні

робочого органу: бічні грані, нижня грань та верхня частина передньої грані залишаються без захисного покриття.

Вимірювання твердості проводили на відстані 5-10 мм від ріжучої кромки. Результати представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Твердість дослідних зразків

Матеріал	Зразок	Середню твердість за шкалою HV	Стандартне відхилення	Середня твердість трьох зразків
Сталь 65Г	1	244	8	284
	2	258	13	
	3	351	12	
Lincor 60 у один шар	4	733	22	726
	5	707	27	
	6	738	38	
Lincor 60 у два шари	7	765	65	799
	8	796	43	
	9	836	49	
Teromat 46 у один шар	10	925	27	938
	11	965	29	
	12	918	30	
Teromat 46 у два шари	13	946	24	944
	14	972	52	
	15	913	70	

В середньому покриття на основі Teromat 46 були твердіші за покриття на основі Lincor 60 в середньому на 18...30%. Наочно різницю в твердості можна спостерігати на рис. 3.7.

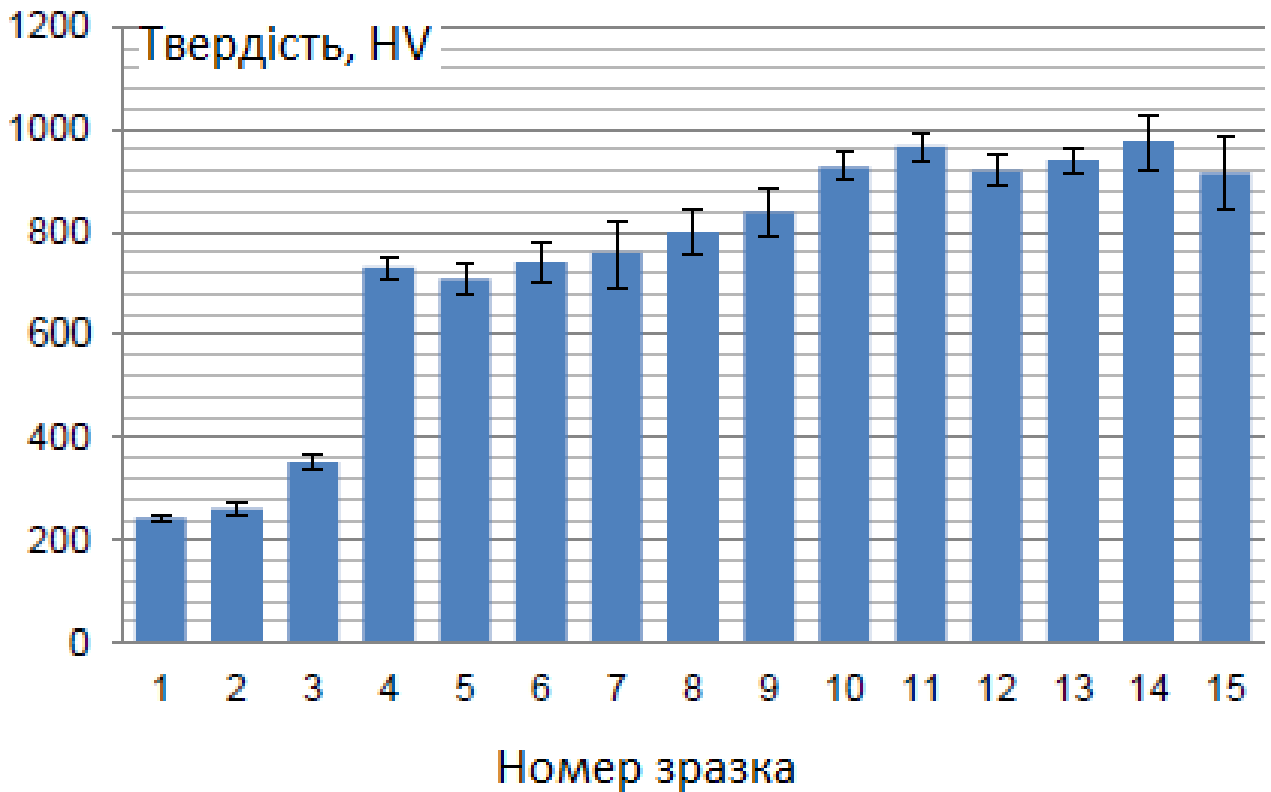


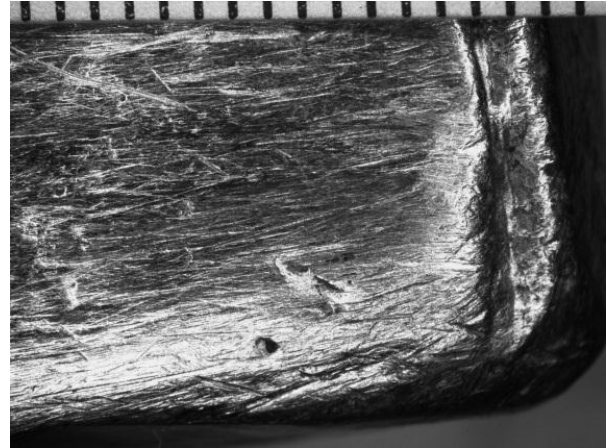
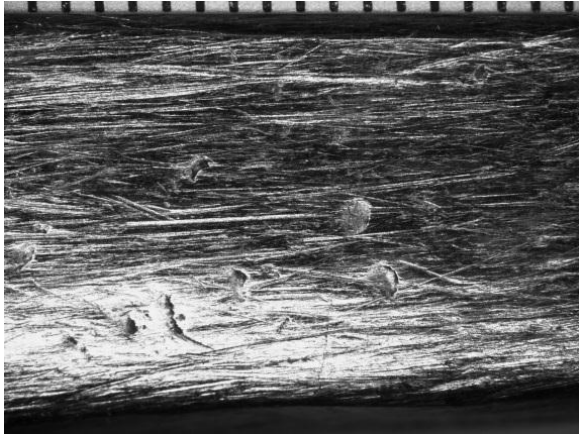
Рис. 3.7. Поверхнева твердість дослідних зразків.

В процесі експлуатації на поверхні тертя виникають сліди негативного явища абразивного зношування – мікрорізання. Слід відмітити, що з ростом твердості матеріалу зменшувалась глибина канавок (рис. 3.8).

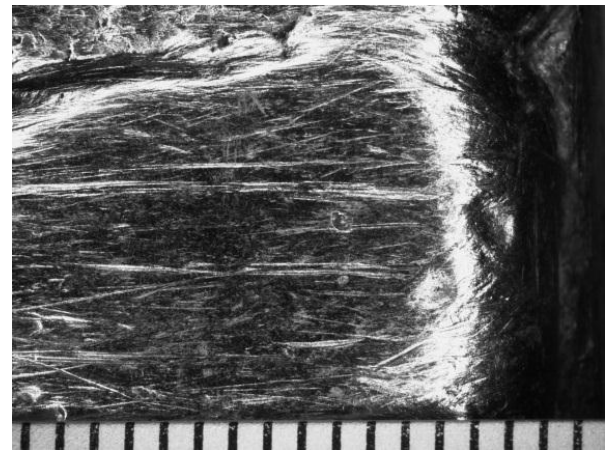
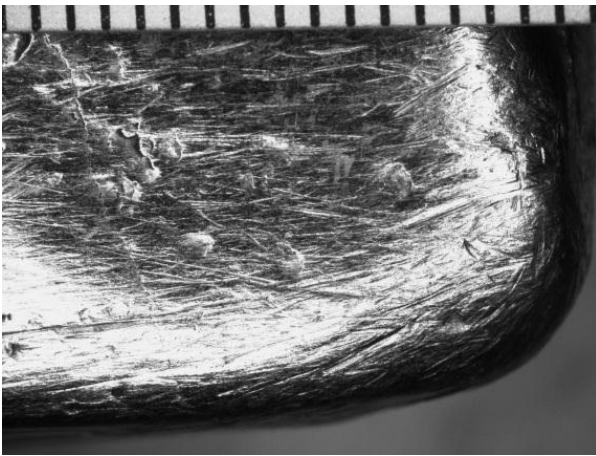
Площа полірованої поверхні на всіх робочих органах була незначна, що свідчить про досить агресивний процес абразивного зношування робочих органів глибокорозпушувачів.

На поверхнях зносостійкого покриття Teromat 46 канавки були найменші, але в результаті наявності дефектів при нанесенні покриття інтенсифікувався процес зношування в результаті утворення каверн. Крім того спостерігається відшарування зносостійкого покриття (рис. 3.8.зразок 14).

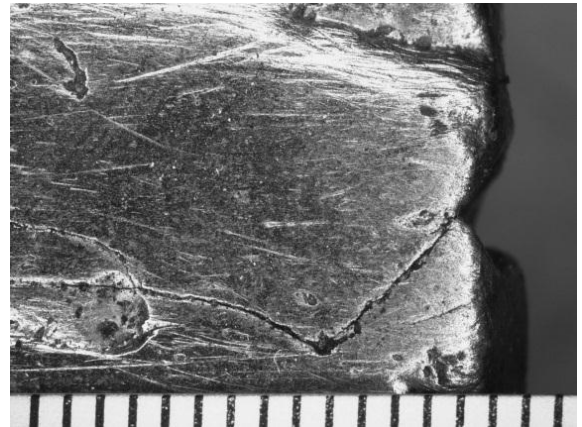
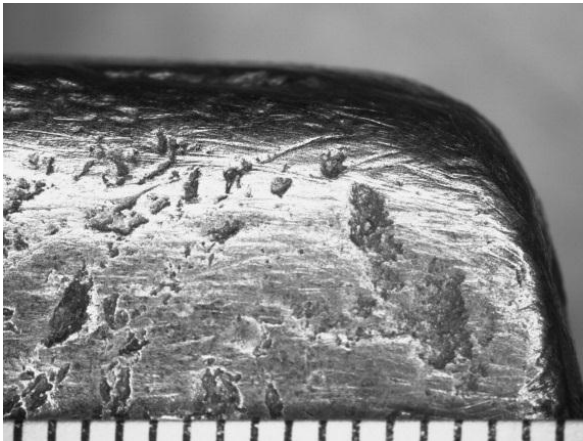
Результати вивчення поверхонь тертя дозволяють зробити висновок, що процес мікрорізання є основний механізм абразивного зношування робочих органів глибокорозпушувачів.



Зразок 4



Зразок 8



Зразок 14

Рис. 3.8. Поверхня тертя робочих органів глибокорозпушувачів.



Результати експлуатаційних випробувань робочих органів глибокорозпушувача з різними фізико-механічними та триботехнічними властивостями фрикційної поверхні представлено на рис. 3.9.

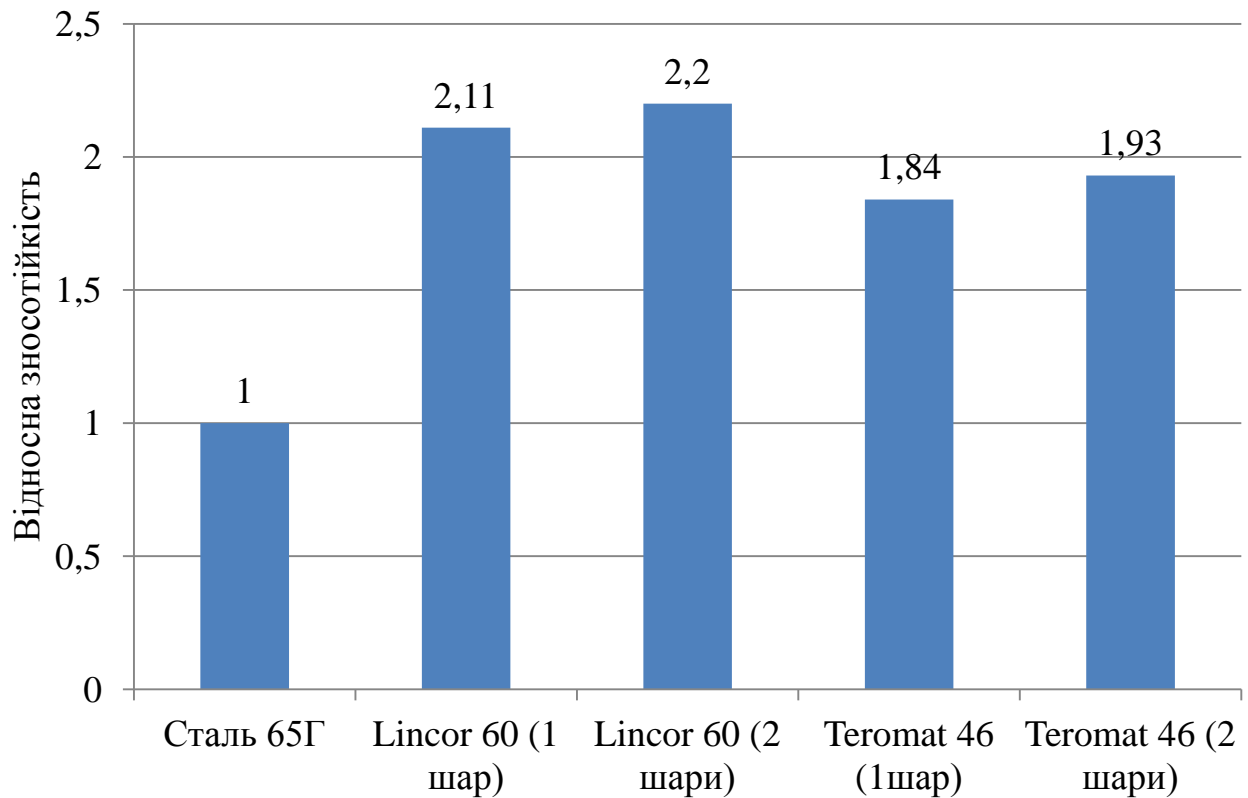


Рис. 3.9. Відносна довговічність робочих органів глибокорозпушувача.

Найвищою зносостійкістю та довговічністю володіли робочі органи глибокорозпушувача виготовлених зі сталі 65 Г та нанесеним зносостійким покриттям Lincor 60 (в два шари).

### Висновок по розділу 3

Нанесення покриття електродами Lincor 60 та Teromat 46 дозволяє суттєво покращити триботехнічні, фізико-механічні та хімічні властивості поверхневих шарів.

В результаті проведених експлуатаційних досліджень встановлено, що нанесення зносостійких матеріалів (Lincor 60 та Teromat 46) дозволяє підвищити довговічність робочих органів глибокорозпушувача приблизно в два рази.

## ВИСНОВКИ

При нанесенні зносостійкого покриття (Lincor 60 та Teromat 46) на сталь 65Г відбувається розведення матеріалів електрода матеріалом основи приблизно на 25%, що дозволяє отримати якісні і мікроструктурні та триботехнічні характеристики. Досягнення покращення можливо досягнути нанесенням одного шару, що дозволить забезпечити високу стійкість проти абразивного зносу. Підвищення твердості покриття забезпечується стійкість до абразивного зносу та ударів завдяки поєднанню міцних матриць, посилені твердими карбідами.

В результаті проведених експлуатаційних досліджень встановлено, що нанесення зносостійких матеріалів (Lincor 60 та Teromat 46) дозволяє підвищити довговічність робочих органів глибокорозпушувача приблизно в два рази.

Лабораторні дослідження дозволяють передбачити, що реальна стійкість покриттів проти абразивного зношування вища. При польових випробовуваннях покриття наносилося тільки на 20% поверхні робочого органу, яка піддається зношуванню.

Тверде покриття Lincor 60 з карбідами типу  $M_7C_3$  та матрицею аустеніту нанесеного зі сплаву Fe-Cr-C, має вищу стійкість до абразивного зношування та менші витрати порівняно з покриттями Teromat 46 нанесеного зі сплаву Fe-Cr-C-Nb з карбідами типу  $M_7C_3$  та MC та феритної матриці.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аулін В. В. Фізичні основи процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах: монографія. Кіровоград : ФОП «Лисенко В.Ф.», 2014. 370 с.
2. Гаркунов Д. Н. Триботехника. Конструирование, изготовление, эксплуатация машин. Москва : Машиностроение, 2002. 632 с.
3. Закалов О. В. Триботехніка і підвищення надійності машин. Тернопіль : ТДТУ, 2000. 354 с.
4. Кіндрачук М. В. Трибологія : підручник. Київ : НАУ, 2009. 392 с.
5. Ющенко К. А. Інженерія поверхні. Київ : НВП Видавництво «Наукова думка України», 2007. 557 с.
6. Булавин, С. А. Повышение долговечности культиваторных лап при наплавке. *Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. Сборник научных работ.* 2002. С. 181-185.
7. Дорожкин, Н.Н. Импульсные методы нанесения порошковых покрытий. Минск : Наука и техника, 1985. 215 с.
8. Костецкий, Б.И. Трение, смазка и износ в машинах / Б.И.Костецкий. - Киев: Техника, 1970. 396 с.
9. Михальченков А. М., Феськов С. А. Изнашивание стрелчатых лап посевного комплекса Morris, восстановленных способом термоупрочненных «компенсирующих элементов». *Тракторы и сельхозмашины.* 2013, №12. С. 50-52.
10. Мышкин Н.К., Петроковец М.И. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. 368 с.
11. Лялякин В. П., Соловьев С.А, Аулов А.В. Состояние и перспективы упрочнения и восстановления деталей почвообрабатывающих машин сварочнонаплавочными методами. *Сварочное производство.* 2014. №7. С. 32-36.

12. Козаченко О.В., Шкрегаль О.М., Каденко В.С. Зміна форми леза ґрунтообробних знарядь при зношуванні. *Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, випробування та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2015. Вип. 45, ч. 1. С.21- 27.

13. Износ и коррозия сельскохозяйственных машин / под. ред. М.М. Севернева. Минск: Белару. наука, 2011. 333 с.

14. Козаченко А. Влияние параметров лезвия на долговечность лап культиватора. *Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2013. Vol. 15. № 7 С. 61-66.

15. Kalacska A. Abrasive wear behaviour of 27MnB5 steel used in agricultural tines. *Wear*. 2020. Vol. 442-443.

16. Lemecha M., Napiórkowski J. Konat L. Analysis of wear and tear of working elements with a replaceable cutting edge in an abrasive soil mass. *Tribologia*. 2017. 273 (3). 101-109. DOI: 10.5604/01.3001.0010.6144.

17. Hrabě P., Kolář V., Kabutey, A., Sedláček A. Welding materials used to increase service life of agricultural machinery processing soil. *MATEC Web of Conferences*. 2018. № 244. 01002. doi:10.1051/matecconf/201824401002.

18. Malvajerdi S. S., Malvajerdi A. S., Ghanaatshoar M., Habibi M., Jahdi H.. TiCrN-TiAlN-TiAlSiN-TiAlSiCN multi-layers utilized to increase tillage tools useful lifetime. *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. P. 1-9. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-55677-8>.

19. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных русловий. Москва : Наука, 1976. 279 с.

20. Веденянин, Г.В. Общая методика экспериментальных исследований и обработка опытных даннях. Москва : Колос, 1973. 199 с.

21. Ачкасов А. Є., Плакіда В. Т., Воронков О. О., Воронкова Т. Б. Теорія імовірностей і математична статистика. Харків : ХНАМГ, 2008. 247 с.

22. Балдин К. В., Башлыков В. Н., Рукосуев А. В. Теория вероятностей и математическая статистика. Москва : Дашков и К, 2016. 472 с.

23. Брушковський О.Л. Вища математика. Ряди. Основи теорії ймовірностей та математичної статистики. Рівне : НУВГП, 2010. 246 с.