

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

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра машиновикористання та сервісу технологічних систем

Кваліфікаційна робота

на правах рукопису

САМЧУК ДМИТРО СЕРГІЙОВИЧ

УДК 631.313

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДОЛОТА
ГЛИБОКОРОЗПУШУВАЧА ҐРУНТУ**

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

_____ Д.С. Самчук

Керівник роботи

Борак К.В.

кандидат технічних наук

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Самчук Дмитро Сергійович. Підвищення зносостійкості долота глибокорозпушувача ґрунту. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

В магістерській роботі запропоновано застосування нової технології та технологічного оснащення для плазмового наплавлення порошків на основі карбіду вольфраму на поверхню тертя робочих органів глибокорозпушувачів.

Для проведення лабораторних експериментів використовувалося розроблене обладнання: установка для плазмового наплавлення та установка для дослідження процесів зношування деталей машин. У процесі лабораторних випробувань визначено: оптимальні режимні параметри наплавлення зносостійких покриттів з метою одержання покриттів із підвищеною твердістю (швидкість наплавлення – 5,0 м/год.; вміст карбіду вольфраму в порошковій суміші – 50%; напруга дуги – 35 В) при яких отримуємо шар, що має найвищу твердість 73,2 HRC і має найменший знос – 0,01 г тоді, як зразок, що володіє найменшою твердістю – 52,5 HRC, зносився найбільше – 0,0223 г.

При експлуатаційних дослідженнях було розроблено технологію відновлення доліт глибокорозпушувачів, що включає зміцнення робочої поверхні плазмовим наплавленням. Встановлено, що зміцнювальний шар відновлених доліт стирається до основного металу в середньому при напрацюванні 150 га, тоді як у серійних за 32 га, загальний ресурс відновлених доліт становить у середньому 207 га, серійних – 73 га. Таким чином, відновлені плазмовим наплавленням долота мають ресурс у 2,84 рази більше, ніж серійні робочі органи.

Ключові слова: зміцнення, долото, знос, глибокорозпушувач, твердість, плазмове наплавлення.

ANNOTATION

Samchuk Dmitry Sergeevich. Increasing the wear resistance of the deep cultivator bit. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

The master's thesis proposes the use of new technology and technological equipment for plasma surfacing of powders based on tungsten carbide on the friction surface of the working bodies of deep rippers.

The developed equipment was used for laboratory experiments: an installation for plasma surfacing and an installation for the study of wear processes of machine parts. In the course of laboratory tests it was determined: optimal mode parameters of surfacing of wear-resistant coatings in order to obtain coatings with high hardness (surfacing speed – 5.0 m/h; tungsten carbide content in the powder mixture – 50%; arc voltage – 35 V) at which we obtain the layer having the highest hardness of 73.2 HPC and having the lowest wear – 0.01 g, while the sample with the lowest hardness – 52.5 HPC, was worn the most – 0.0223 g

During operational researches the technology of restoration of chisels of deep rippers which includes strengthening of a working surface by plasma surfacing was developed. It is established that the reinforcing layer of restored chips is erased to the base metal on average at 150 ha, while in serial for 32 ha, the total resource of restored chisels is on average 207 ha, serial – 73 ha. Thus, restored by plasma surfacing bits have a resource of 2.84 times more than serial working bodies.

Key words: hardening, bit, wear, deep ripper, hardness, plasma surfacing.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	8
РОЗДІЛ 2. ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТВЕРДОСТІ ТА ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОКРИТТЯ НАНЕСЕНОГО ПЛАЗМОВИМ НАПЛАВЛЕННЯМ.....	18
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	27
ВИСНОВКИ.....	35
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	37

ВСТУП

Актуальність роботи. Останнім часом класичне землеробство конкурує із системою нульової обробки ґрунту, яка відома як технологія No-till. Ця система виключає застосування оранки. Основним ключовим моментом відмови від оранки є ерозійні процеси, що призводять до вивітрювання родючого шару ґрунту. При використанні технології No-till відбувається збереження структури ґрунту, не порушується водний баланс.

При застосуванні цього методу класична оранка замінюється глибоким розпушуванням.

Таким чином зростає застосування глибокорозпушувачів, а отже, підвищуються витрати на відновлення зношених робочих органів та придбання нових.

Якість виконання операції розпушування залежить від параметрів та стану робочих органів – доліт, які експлуатуються в умовах постійного абразивного та ударно-абразивного зношування.

У той же час відновленням доліт ніхто не займається, хоча існує безліч різних способів, серед яких широкого поширення набула наплавлення зносостійких матеріалів. Однак ці способи наплавлення не повною мірою забезпечують отримання якісного зносостійкого покриття і внаслідок цього, ресурс відремонтованих доліт буде не високим, тому розробка заходів, що забезпечують підвищення довговічності доліт глибокорозпушувачів, формуванням зносостійкого покриття представляє практичний інтерес, а дослідження цих питань є актуальними.

Мета роботи: підвищення ефективності процесу відновлення долот глибокорозпушувачів.

Для досягнення мети дослідження необхідно вирішити такі **завдання:**

- виконати огляд та обґрунтувати напрями підвищення післяремонтного ресурсу долот глибокорозпушувачів;

– обґрунтувати параметри плазмового наплавлення для отримання якісних зносостійких покриттів та розробити технологічне оснащення для відновлення долот глибокорозпушувачів;

– провести лабораторні дослідження на зношування та виробничі випробування з оцінки післяремонтного ресурсу долот глибокорозпушувачів із встановленням оптимальних режимів плазмового наплавлення при нанесенні покриттів.

Об'єкт дослідження: процес відновлення долот глибокорозпушувачів плазмовим наплавленням.

Предмет дослідження: технологія зміцнення долот глибокорозпушувачів плазмовим наплавленням з використанням суміші порошкових матеріалів та встановленням оптимальних режимів плазмового наплавлення при нанесенні покриттів.

Методи дослідження. Дослідження проводилися з використанням сучасних інформаційних технологій на основі законів математики, фізики та у відповідність до теорії надійності. У роботі застосовувалися методи математичного моделювання та планування багатofакторного експерименту. Експериментальні дослідження проводилися за стандартними загальновідомими методиками з використанням сучасного обладнання. Результати експериментів оброблялися за допомогою методів математичної статистики та з використанням програм Microsoft Excel, Mathcad 10, Statistica 10.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Борак К.В., Самчук Д.С., Олександрович О.П., Козловець С.В. Застосування системного підходу для підвищення зносостійкості елементів трибосистеми. Матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих учених і науково-педагогічних працівників *«Сільськогосподарські, біологічні, економічні, загальноосвітні та технічні науки»*, 20 травня 2021 р. м. Умань. Умань : ВПЦ «Візаві», 2021. С. 157-159.

2. Борак К.В., Самчук Д.С., Олександрович О.П., Козловець С.В. Аналіз конструкції робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь. Збірник тез доповідей VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції *«Інноваційні технології в АПК»*, 20-21 травня 2021 р., м. Луцьк [Електронний ресурс]. Луцьк: Луцький НТУ, 2021. С. 9-10.

3. Борак К.В., Олександрович О., Самчук Д., Ващук Ю. Аналіз абразивних властивостей ґрунтів. Збірник тез VII-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 31 березня 2021 року. Житомир : ЖАТК. С. 179-181.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для сільськогосподарських підприємств представляє запропонована технологія підвищення зносостійкості органів глибокозпушувачів.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 15 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 38 сторінку комп'ютерного тексту, містить 1 таблицю і 23 рисунки.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Останнім часом класичне землеробство конкурує із системою нульового обробітку ґрунту, який відомий як технологія No-till. Ця система виключає застосування оранки і відповідно, всі негативні фактори, які при цьому виникають. Основним ключовим моментом відмови від оранки є ерозійні процеси, що призводять до вивітрювання родючого шару ґрунту. При використанні технології No-till відбувається збереження структури ґрунту, не порушується водний баланс.

При застосуванні цього методу класична оранка замінюється глибоким розпушуванням [1-7].

Таким чином, зростає застосування глибокорозпушувачів, а отже, підвищуються витрати на відновлення зношених робочих органів та придбання нових.

Робочий орган глибокорозпушувача складається зі стійки, на якій кріпиться долото, також можливе розміщення підрізаючих лапок. І стійка та долото можуть мати різні конфігурації.

Геометрична форма робочого органу істотно впливає на тяговий опір глибокорозпушувача та на умови його роботи. Тому необхідно вдосконалювати їх конструкції та розробляти технології, що сприяють підвищенню зносостійкості.

Стойка може бути прямою або вигнутою (стойка «Параплау») (рис. 1.1).

Пряма стойка робить щілину, а долото підрізає рослинні рештки, тим самим формуючи насінневе ложе. Стойка «Параплау», під час роботи за рахунок складної геометричної форми відриває оброблюваний шар ґрунту, шар землі піднімається і переміщається убік, потім падає (рис.1.2).

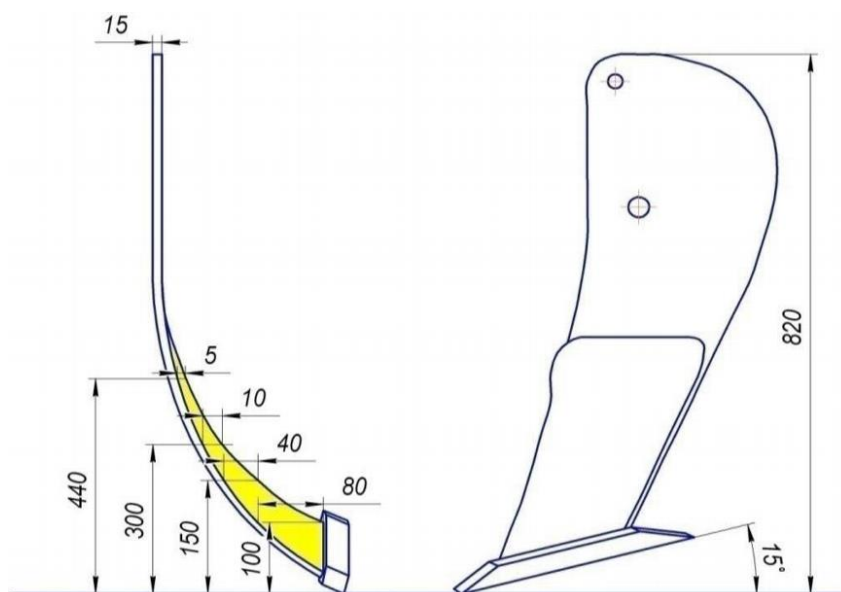


Рис. 1.1. Стойка «Параплау»

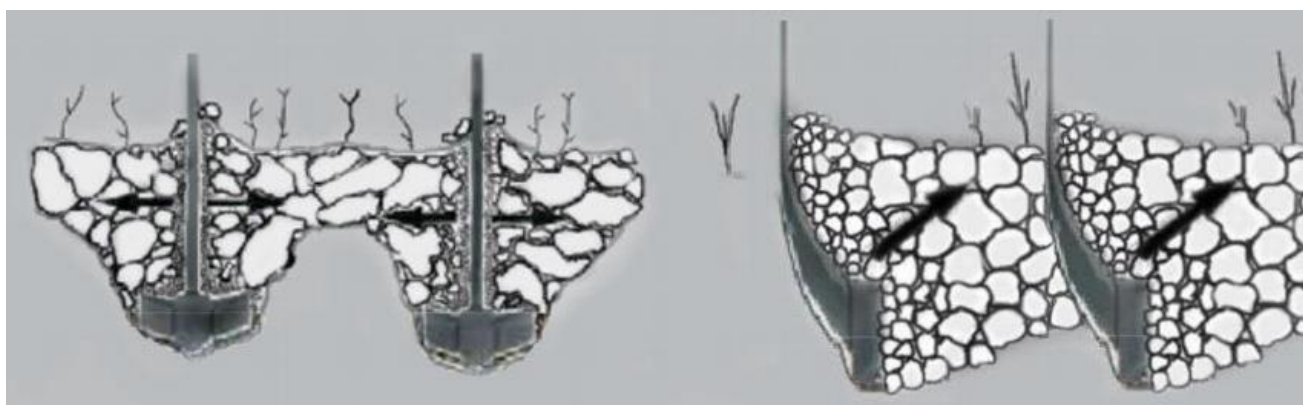


Рис.1.2. Процес роботи прямої стійки та стійки «Параплау».

Стійки працюють за умов динамічних навантажень, тому виникають пластичні деформації. Також вони схильні до абразивного зношування.

Долото – складний металомісткий орган глибокорозпушувача, який найбільше піддається зношується. До нього пред'являються такі вимоги:

- термін служби до ремонту або вибракування не менше сезону;
- повинні виконуватися основні агротехнічні вимоги протягом усього терміну експлуатації: заглиблюваність у ґрунтову масу, підтримання постійної глибини розпушування;
- мінімальні енерговитрати при розпушуванні (мінімальний тяговий опір);
- технологічність у виготовленні та відносна дешевизна.

Практика показує, що ці вимоги виконуються не в повній мірі, у результаті чого долота виконують різними формами і типами.

Найпоширенішими долотами є долото прямої та стрілоподібної форми різних конфігурацій залежно від виду стійки.

Прямі стійки оснащуються долотами прямої та стрілоподібної форми.

Останнім часом виробники прагнуть використовувати стрілоподібні долота так як вони забезпечують краще підрізування стебел бур'янів та збільшують зону розпушування (рис. 1.3 та 1.4). Однак вони є найбільш металомісткими.

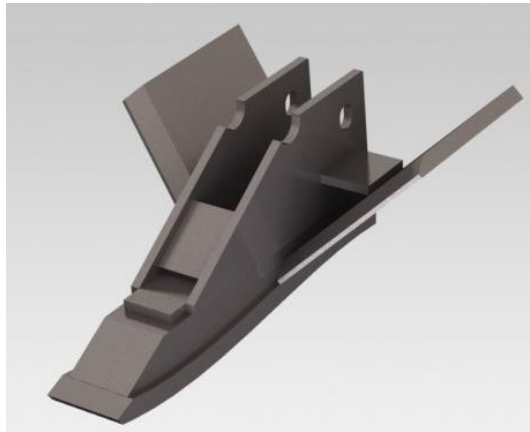


Рис. 1.3. Долото глибокорозпушувача Case IH ECOLO-Tiger 530C



Рис. 1.4. Долото культиватора Great Plains SS 1300

Ці долота зношуються по всій поверхні, що контактує з ґрунтом, тому зносу будуть схильні не тільки п'ятки, а й «крила».

П'ятка складається з тіла долота та закріпленої (приклепаної чи привареної) до неї пластини. Тіло, як правило, виготовляється із сталі 35Г, а пластина із сталі 55ХГС, що має твердість близько 60 НРС.

У процесі експлуатації пластина зношується і залежно від ступеня зношування робочого органу відбувається заміна пластини або долота цілком.

Прямі долота, як правило виконуються у вигляді вигнутої пластини, із загостреннями з двох сторін для багаторазового використання (рис. 1.5). Пряме долото є менш металоємним (і тому дешевшим) у порівнянні з іншими видами долот і разом з тим зношується більш інтенсивно.



Рис. 1.5. Долото глибокорозпушувача КАМА-ТГР.

Зношування, як правило, спостерігається у носка і підшви долота. Такі долота відновлюють шляхом приварювання нового носка та нанесення зміцнюючого покриття. Також у даного глибокорозпушувача (як і у багатьох інших з такою формою долота) є підрізаючі лапки, для розширення зони розпушування.

Долота, що застосовуються на стійках «Параплау», мають вигляд двостороннього клину для багаторазового використання (рис. 1.6).

Відповідно, знос спостерігатиметься на краях клину. Відновлення полягає у приварюванні зношеної частини та наплавлення зносостійкого покриття.



Рис. 1.6. Долото глибокорозпушувача ГРС 3,0.

Аналіз робочих органів глибокорозпушувачів показує, що все більше застосування знаходять прямі долота. Застосування стрілоподібних доліт викликає їхнє подорожчання та труднощі при відновленні. На території Житомирської області 75% глибокорозпушувачів мають робочі органи прямої форми. Такі робочі органи мають глибокорозпушувачі марок Gaspardo Artiglio (30% від загальної кількості глибокорозпушувачів), Gaspardo Attila (7%), Gaspardo Pinocchio (9%), КАМА ТГР (6%), Lemken Labrador (3%) та ін. Найбільший інтерес викликає процес зношування та відновлення доліт прямої форми.

Зношування доліт глибокорозпушувачів відбувається в результаті постійного контакту з ґрунтом. У цей час і стійка та долото змінюють свої технологічні характеристики та конструктивні параметри. Характер і інтенсивність зносу залежать як від властивостей та природи ґрунту, так і від умов взаємодії деталей робочих органів із ґрунтом

Аналізуючи раніше опубліковані роботи [8-13], можна виділити основні фактори, що формують знос доліт глибокорозпушувачів: фізико-механічні властивості, вологість, однорідність та щільність ґрунту, швидкість переміщення та конфігурація робочих органів, характеристика матеріалу. Результатом впливу зазначених факторів буде затуплення долота через абразивне зношування, а отже, відбуватиметься погіршення якості розпушування та підвищення енергоємності процесу.

Основним компонентом ґрунту, що істотно впливає на абразивний знос доліт глибокорозпушувачів є кварцовий пісок [8]. Залежно від його відсоткового

вмісту в ґрунті вони розрізняються за своєю зношувальною здатністю і характеризуються коефіцієнтом зношування K_{zn} , що варіює від 0,3 до 3,5 [8]. Найменше значення показує те, що долото зношуватиметься по ширині, а більший – по товщині. Вміст кварцового піску говорить про те, наскільки сильно руйнуватиметься поверхня тертя (робочий орган) під дією твердих абразивних частинок, що ріжуть або дряпають матеріал.

Найбільша інтенсивність зношування доліт глибокорозпушувачів спостерігатиметься на піщаних ґрунтах. Потім йдуть у порядку зменшення наступні види ґрунтів: супіщані, легкосуглинкові, середньосуглинкові, важкосуглинкові, глинисті.

Також на знос робочих органів глибокорозпушувачів впливає вологість ґрунту та його кислотність. Виявлено, що суглинкові і глинисті ґрунти при 14–18 % абсолютної вологості мають найменшу зношувальну здатність. При зменшенні вологості від встановлених значень, зношувальна здатність спочатку збільшується, а потім значно падає. На супіщаних ґрунтах при абсолютній вологості 14% спостерігається максимальне абразивне зношування. При зменшенні чи збільшенні вологості від цього значення знос на цих ґрунтах знижується.

Мінімальне абразивне зношування на супіщаних ґрунтах досягатиметься при 9–10% абсолютної вологості [8, 9].

Аналізуючи роботи, з вивчення процесів зношування і теорій тертя, встановлено, що швидкість переміщення ґрунту сталі не має істотного впливу на коефіцієнт тертя. Думки авторів різних робіт розходяться. Однак виявлено, що коефіцієнт тертя, при швидкості переміщення ґрунту по сталі в інтервалі 0,5–4,0 м/с, змінюється несуттєво та на знос не впливає [8]. Працездатність глибокорозпушувачів переважно залежить від стану долота. Стійка, незалежно від форми, прорізає щілину, а долото підрізає рослинні залишки і формує насінневе ложе. Долото, при підрізанні пласта ґрунту, піддається найбільшому

тиску в носовій частині та меншому з тильного боку, що призводить до нерівномірного зносу.

У процесі розпушування поступово збільшуватиметься затуплення та знос долота, що негативно впливає на ступінь підрізування бур'янів, підвищує тяговий опір агрегату, порушуючи рівномірність його ходу по глибині [8-12].

Випробування доліт при розпушуванні ґрунтів, що містять кварцовий пісок, показали, що до 45% вибраковується через поломку, затуплення та вигин носка. Це стосується як прямих доліт так і стрілоподібних. При цьому у стрілоподібних доліт, додатково, зношуються «крила» по ширині набуваючи округлої форми. Профілі зносу доліт різної форми показані малюнку 1.7.

Основними абразивними частинками, які діють робочі органи глибокорозпушувачів, є кварц (HV 10,5–12,5 ГПа) і польовий шпат (HV 6,5–7,2 ГПа) [35, 83]. Вони є основними складовими супіщаних та піщаних ґрунтів, на яких і спостерігається підвищений знос робочих органів.

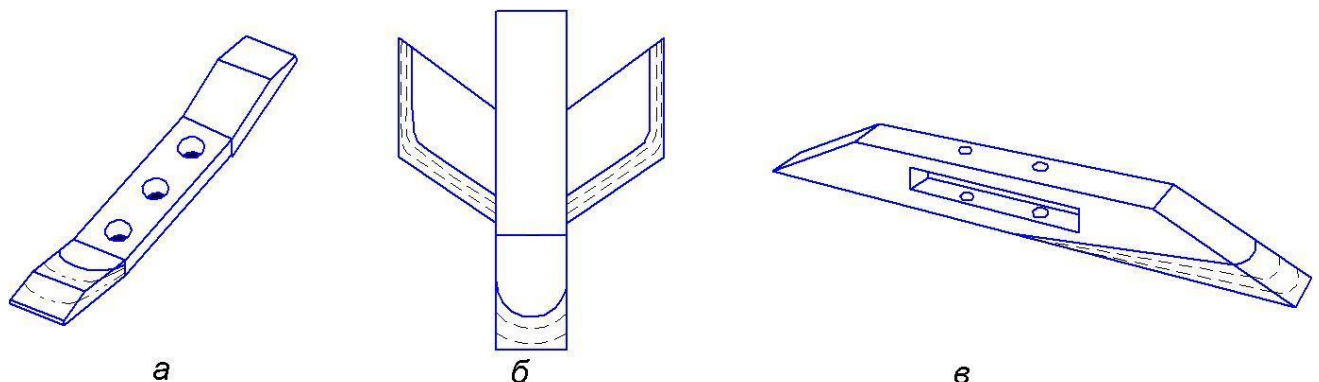


Рис. 1.7. Профілі зносу доліт різної конфігурації: а – пряме долото; б – стрілоподібне долото; в – долото стійки «Параплау».

Як відомо, абразивний знос панує над іншими видами зносів, якщо виконується умова: твердість абразивних частинок вище твердості матеріалу, з якого виготовлений робочий орган ґрунтообробної машини.

Основними матеріалами, з яких виготовляються долота, є 55 ХГС або 65Г, що мають твердість порядку 50 HRC. Отже, спостерігатиметься інтенсивне зношування матеріалу.

Отже, застосування зношених доліт при експлуатації глибокорозпушувачів призводить до зниження якості розпушування. Істотно впливають на знос робочих органів структура, склад, вологість і щільність ґрунту і матеріал долота. Інші фактори несуттєво впливають на зношування доліт.

Основними способами підвищення ресурсу робочих органів глибокорозпушувачів є (рис. 1.8):

- використання зносостійких матеріалів при виготовленні;
- термічна та хіміко-термічна обробка матеріалів робочих органів;
- створення робочих органів, що складаються з декількох частин;
- нанесення різних видів зносостійких покриттів.

При виготовленні доліт глибокорозпушувачів стали використовувати компоненти, що підвищують зносостійкість долота.

Дослідженнями доведено, що позитивний вплив на зносостійкість мають кремній, титан, ванадій і хром і велика кількість вуглецю.

Використовуючи дослідні дані, можна зробити висновок, що зносостійкість матеріалу для доліт можна збільшити на 25-50% при збільшенні в ньому від 1,6 до 2,0% вуглецю, підвищуючи вміст кремнію до 12% і при додаванні по 2% хрому та ванадію. Природно, використання перелічених компонентів призведе до підвищення собівартості сталі, що іноді буває, недоцільно.

Проводилися дослідження використання чавуну для виготовлення доліт, які показали, що робочі органи в даному випадку не мають достатньої міцності і зносостійкості. Тому широкого застосування цей спосіб збільшення ресурсу не знайшов.

Для підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин, зокрема глибокорозпушувачів, почали випускатися керамічні долота, ресурс яких перевищує сталеві до 11 разів. Відповідно вартість цих доліт досить велика.

У процесі експлуатації таких доліт були виявлені недоліки: утворюються тріщини, які виникають в результаті сколів від ударів об каміння.

Найпоширенішим способом відновлення та зміцнення робочих органів сільськогосподарських машин є наплавлення.

В умовах ремонтних майстерень широко застосовується наплавлення доліт порошковим сплавом «Сормайт» за допомогою газового пальника та ручне електродугове наплавлення електродами Т-590 та Т-620. При напавленні «Сормайтом» забезпечується отримання рівномірного шару як за товщиною, так і за міцністю. Однак спостерігається велика витрата матеріалу та висока трудомісткість процесу. При дуговому напавленні вдається збільшити зносостійкість в 1,5-2 рази, але велика ймовірність викривлення доліт (особливо прямих) через велику зону термічного впливу.

Існуючі способи відновлення та зміцнення робочих органів сільськогосподарських машин дозволяють підвищити ресурс у середньому від 2 до 6 разів та сформувати поверхню з твердістю нанесеного покриття порядку 50 – 70 HRC.

Останнім часом в Україні і за кордоном знаходить все більше застосування спосіб плазмового наплавлення, а особливо плазмово-порошкове наплавлення. Воно використовується при відновленні деталей у різних галузях промисловості. До особливостей плазмового наплавлення в порівнянні з іншими способами нанесення покриттів відносяться:

- висока продуктивність процесу;
- мала глибина проплавлення основного металу;
- невелика зона термічного впливу;
- невелика частка основного металу у покритті;
- при напавленні виходить гладка і рівна поверхня покриттів, що дозволяє залишати припуск на обробку 0,4...0,9 мм або зовсім її не проводити.

Враховуючи дані проведених досліджень, можна зробити висновок, що застосування порошків на основі карбиду вольфраму, при плазмово-порошковому напавленні, дозволить підвищити міцність та зносостійкість

робочих органів ґрунтообробних машин (лемешів плугів, доліт глибокорозпушувачів, лапи культиваторів та ін.).

Висновки по розділу

1. Робочі органи глибокорозпушувачів поділяються на три типи та мають різні профілі зносу. Явною перевагою користуються прямі долота у зв'язку з меншою металоємністю. Застосування стрілоподібних доліт викликає їхнє подорожчання та труднощі при відновленні. На території Житомирської області 75% глибокорозпушувачів мають робочі органи прямої форми.

2. Застосування зношених доліт при експлуатації глибокорозпушувачів призводить до зниження якості розпушування. Істотно впливають на знос робочих органів структура, склад, вологість і щільність ґрунту і матеріал долота.

3. Існує безліч способів та технологій підвищення зносостійкості до основних, з яких відносяться: використання зносостійких матеріалів при виготовленні; термічна та хіміко-термічна обробка матеріалів робочих органів; створення робочих органів з кількох частин; нанесення різних видів зносостійких покриттів. В даний час широкого поширення набуває наплавлення зносостійких покриттів різними способами.

4. Одним із прогресивних способів отримання зносостійких металокерамічних покриттів є плазмове наплавлення порошків з вмістом вольфраму карбиду. Даний спосіб дозволяє підвищити зносостійкість деталі до 7 разів.

РОЗДІЛ 2

ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТВЕРДОСТІ ТА ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОКРИТТЯ НАНЕСЕНОГО ПЛАЗМОВИМ НАПЛАВЛЕННЯМ

Матеріалом для наплавлення досліджуваних покриттів була суміш двох порошків: як матриця застосовується ПГ–С27 «Сормайт», який має залізну основу та карбід вольфраму WC, що зміцнююча фаза, з різним вмістом його кількості за об'ємом.

Як обладнання для наплавлення використовувалась установка для плазмового наплавлення (рис. 2.1), розроблена та зібрана на кафедрі «Машиновикористання та сервісу технологічних систем» Поліського національного університету. Вона дозволяє проводити наплавлення як в автоматичному так і в ручному режимах.

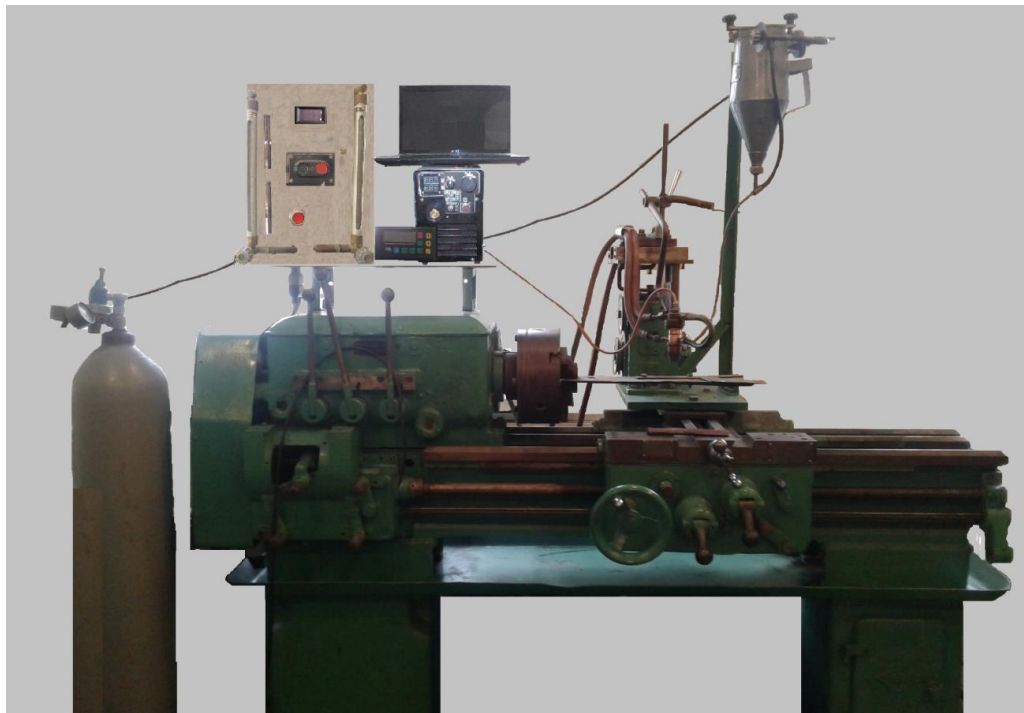


Рис. 2.1. Установка для плазмового наплавлення: 1 – блок управління; 2 – коливальний механізм; 3 – порошковий живильник; 4 – плазмотрон; 5 – токарно-гвинторізний верстат DEG; 6 – балон з аргоном

Установка складається з джерела живлення (на рисунку не показаний), станини, в якості якої використовується токарно-гвинторізний верстат марки

DEG, каретки зі встановленими на ній верстатними поворотними лещатами (на рис. зняті), блоку управління, балона з аргоном, кронштейна з плазмотронами закріпленими на ньому датчиками: пірометром і перетворювачем товщиноміра, порошкового живильника, сполучних шлангів, проводів, кабелів, твердоміра (на рис. не показаний), осцилятора, всі пристрої пов'язані з блоком керування.

Плазмотрон (плазмовий пальник) (рис. 2.2) формує плазмовий струм, теплова енергія, якою йде на розплавлення порошкового матеріалу та основного металу.

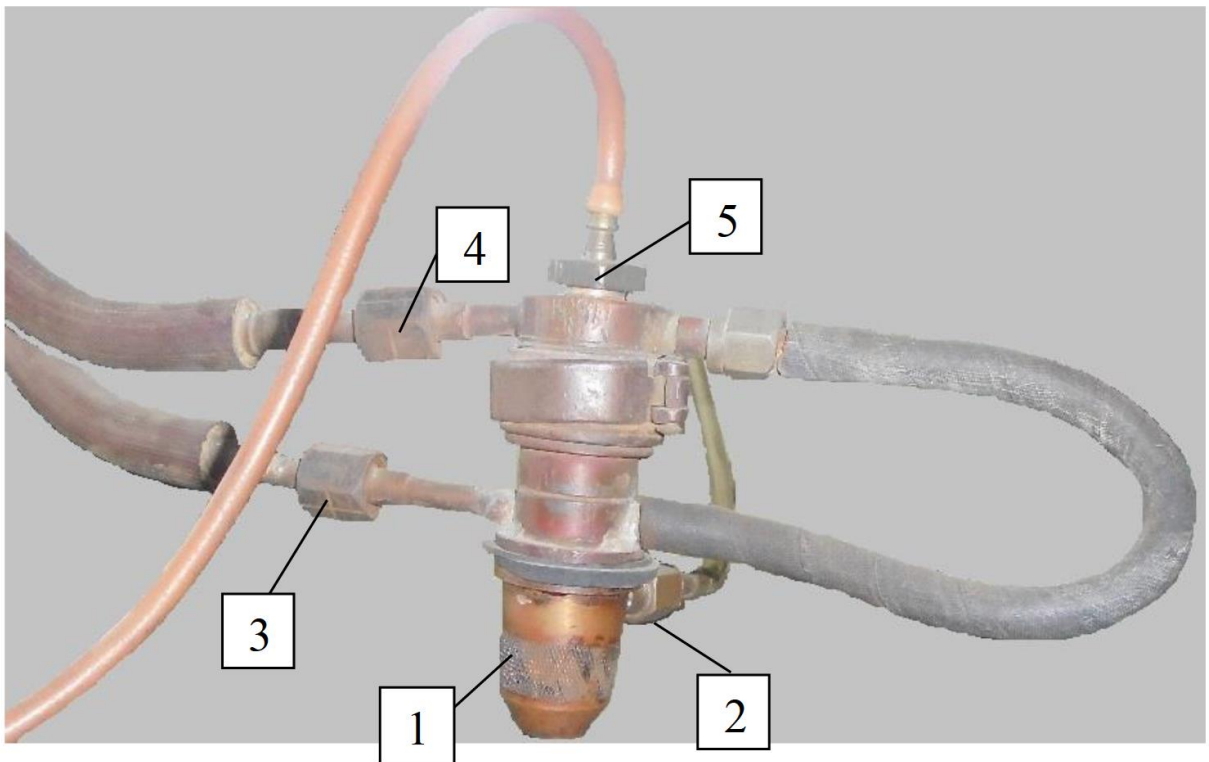


Рис. 2.2. Плазмотрон установки: 1 – захисне сопло; 2 – штуцер подачі порошку та захисного газу; 3 – штуцер підведення струму та охолоджувальної води (анод); 4 – штуцер відведення охолоджувальної води (катод); 5 – штуцер подачі плазмоутворюючого газу

Твердість покриття вимірювалася безпосередньо після його нанесення та охолодження за допомогою твердоміра «ТЕМП-2» (рис. 2.3), що має динамічний принцип вимірювання. Твердомір застосовується для експресного вимірювання деталей з різних матеріалів (сталь та її сплави, кольорові метали, чавун, гума та ін..) за шкалами Брінелля (НВ), Роквелла (HRC), Шора "D" (HSD), Віккерса

(HV). Твердомір має пам'ять на 200 вимірів та можливість підключення до персонального комп'ютера за допомогою спеціального кабелю.



Рис. 2.3. Твердомір ТЕМП-2.

Для вивчення питань зносостійкості робочих органів сільськогосподарських машин найбільше доцільно проводити натурні експерименти в польових умовах. Однак такі експерименти є трудомісткими та дорогими. Тому необхідно дослідити процеси зношування в ході лабораторних випробувань зі створенням умов реальної роботи доліт глибокорозпушувачів у ґрунті.

Існує безліч установок для здійснення лабораторних експериментів, які ґрунтуються на терті зразків з нанесеними покриттями об абразивне середовище, найчастіше кварцовий пісок, що подається різними способами в зону контакту.

Однак ці способи вивчення зношування найчастіше мають індивідуальний характер і створюють певні умови процесу взаємодії робочого органу з абразивом. При цьому, найчастіше, низку властивостей не враховується й у результаті складається неповне уявлення про характері і величині зміни зносу у процесі роботи робочих органів сільськогосподарських машин.

Тому було розроблено та виготовлено експериментальну установку (рис. 2.4) для прискороного випробування наплавлених зразків на базі токарно-гвинторізного верстата 1К62, що створює різноманітні умови роботи доліт глибокорозпушувачів подібні до реальних.

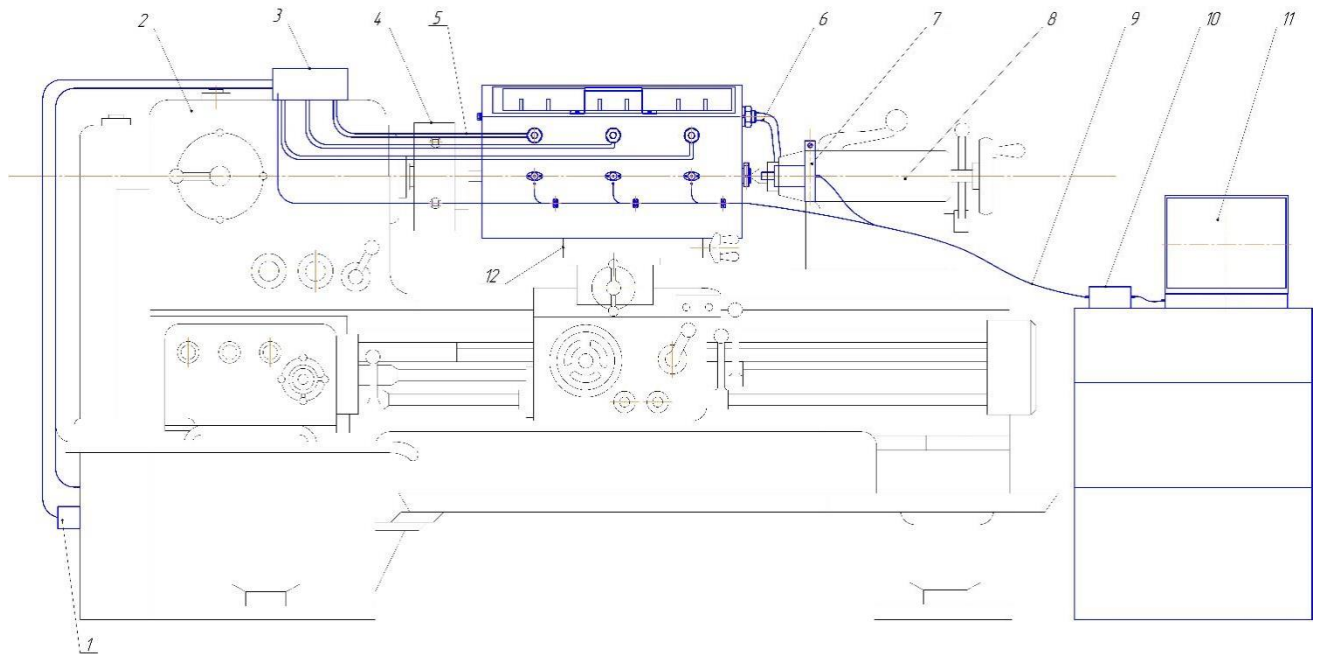


Рис. 2.4. Установка для дослідження процесів зношування деталей машин: 1 – гідророзподільний клапан; 2 – токарно-гвинторізний верстат; 3 – гідророзподільник; 4 – трикулачковий патрон; 5, 6 – трубопровід; 7 – датчик оборотів; 8 – задня бабка; 9 – сполучні дроти; 10 – контролер; 11 – комп'ютер; 12 – супорт із установкою для випробувань.

При визначенні раціональних параметрів плазмового наплавлення порошків, що містять карбід вольфраму, потрібно встановити величину вихідного показника, що відповідає необхідним експлуатаційним характеристикам досліджуваного процесу.

Оптимальний ефект, для практичного застосування, має тривимірне моделювання залежностей вихідного показника від параметрів плазмового наплавлення, поєднання яких повинно забезпечувати належний рівень твердості наплавленого шару.

Дані графіки будуються за наявною моделлю (залежністю) твердості нанесеного шару від зазначених факторів, поверхня відгуку якої представляється як геометричне розташування точок значень параметрів процесу наплавлення.

На основі даних досліджень, була прийнята оптимальна величина твердості наплавленої поверхні, яка дорівнює 65 HRC. Метою експерименту було встановлення режимів нанесення шару, що має твердість вище за зазначену.

Використовуючи результати, встановлені при проведенні експериментів, визначимо значення коефіцієнтів регресії шляхом їх обробки в програмах MathCad 11 і Statistica 10.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку коефіцієнтів регресії

b_0	b_1	b_2	B_3	b_1b_2	b_1b_3	b_2b_3	$b_1b_2b_3$
-144,408	54,170	3,418	0,872	-0,027	-0,055	-0,016	0,001

Як стає ясно, всі коефіцієнти є статистично значущими, крім $b_1b_2b_3$, оскільки він менше 0,05 (5%).

Оцінивши, значущість коефіцієнтів, рівняння регресії матиме такий вигляд:

$$y = -144,408 + 54,170x_1 + 3,418x_2 + 0,872x_3 - 0,027x_1x_2 - 0,055x_1x_3 - 0,016x_2x_3 \quad (2.1)$$

Розрахункове значення F-критерію Фішера більше його табличного значення $F(0,95; 4; 8) = 3,84$, що говорить про адекватність моделі (2.1) і є підставою для її прийняття як робочої при описі залежності твердості нанесеного шару у дослідженому факторному просторі.

За результатами експериментів були побудовані поверхні відгуку для визначення оптимальних режимів плазмового наплавлення порошків з вмістом вольфраму карбїду, що показують залежність твердості отриманого шару від швидкості наплавлення, вмісту карбїду вольфраму в порошок і напруги робочої дуги (рисунки 2.5 – 2.6).

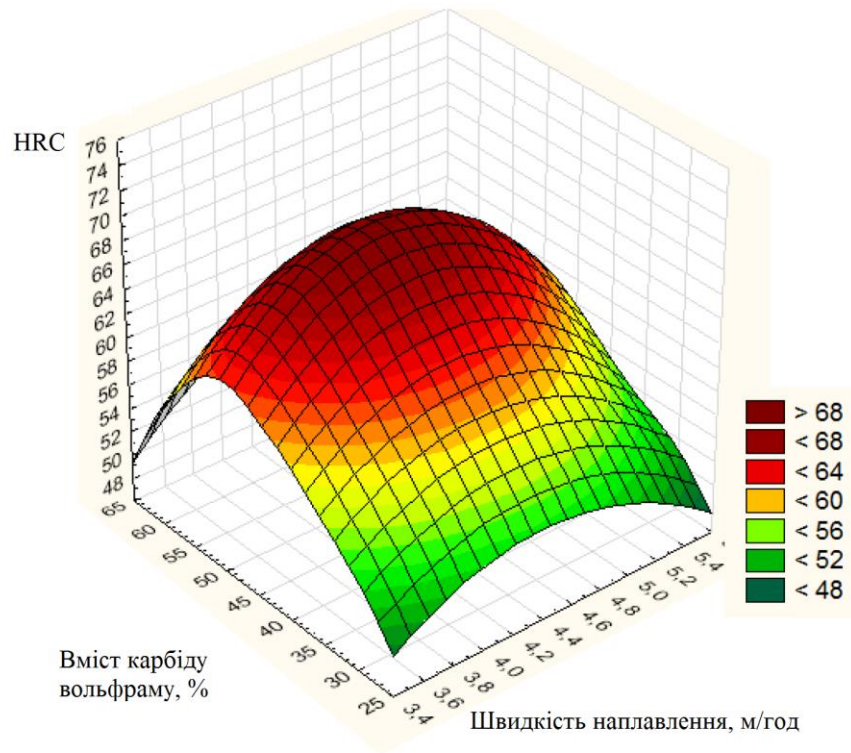


Рис. 2.5. Залежність твердості наплавленого шару від вмісту карбіду вольфраму в порошковій суміші та швидкості наплавлення

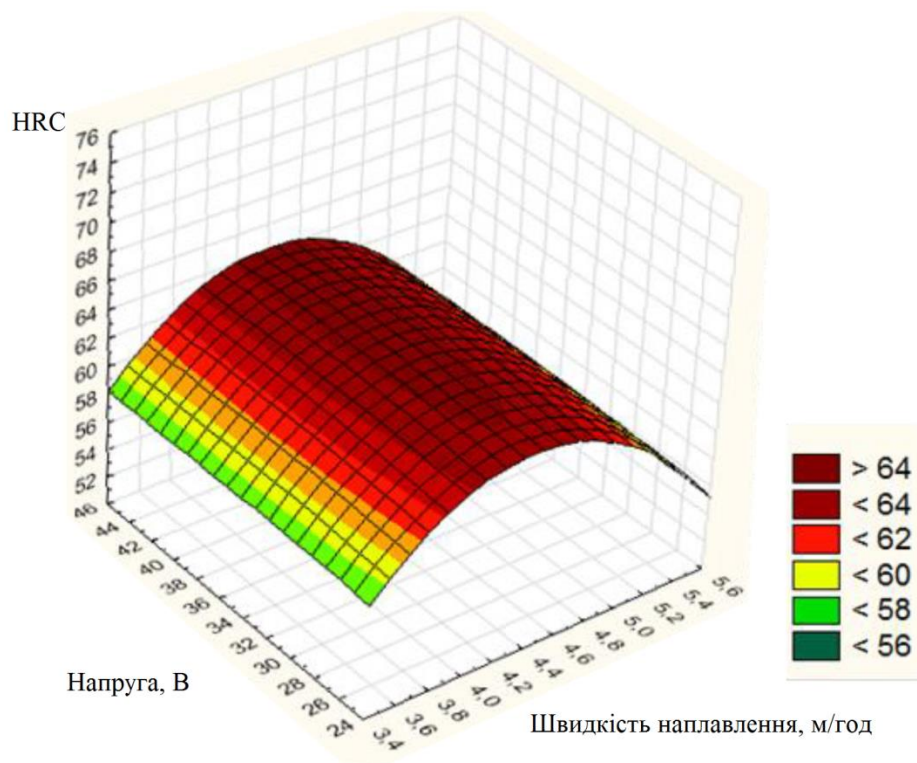


Рис. 2.6. Залежність твердості наплавленого шару від напруги дуги та швидкості наплавлення.

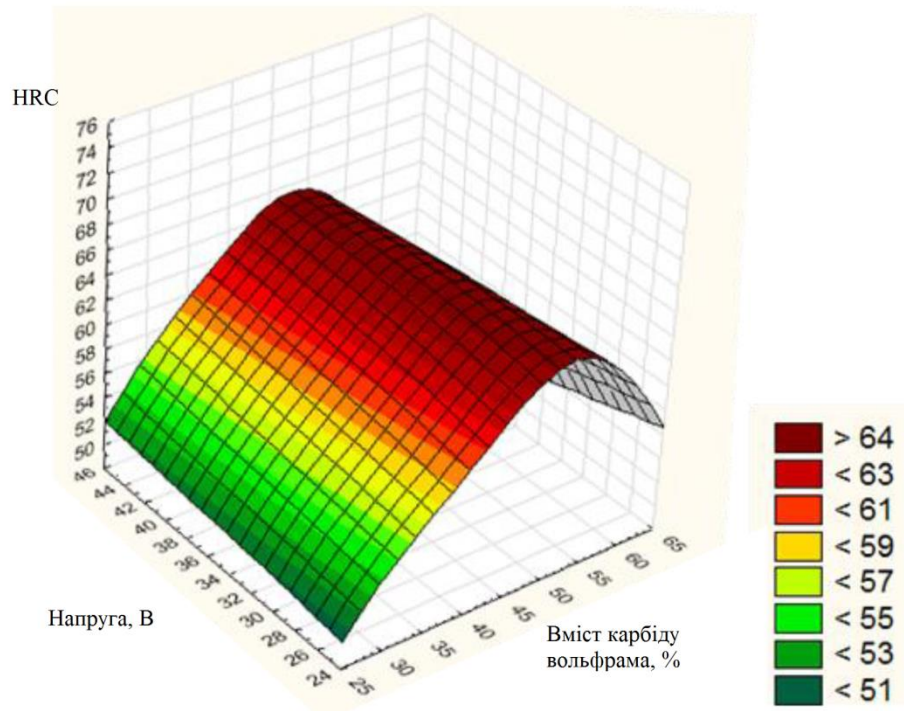


Рис. 2.7. Залежність твердості наплавленого шару від напруги дуги і вмісту карбіду вольфраму в порошковій суміші

Поверхня відгуку, що характеризує залежність твердості наплавленої поверхні від вмісту карбіду вольфраму в порошковій суміші і швидкості наплавлення (рис. 2.7) наступні значення параметрів: напруга – 25–45, а вміст карбіду вольфраму в суміші – 50–60%.

У ході проведеного аналізу поверхонь відгуку було визначено наступні оптимальні режимні параметри плазмового наплавлення зносостійких покриттів:

- швидкість наплавлення – 4,5 м/год;
- вміст карбіду вольфраму у порошковій суміші – 50%;
- Напруга дуги - 35 В.

Випробування на зносостійкість здійснювалися на розробленій нами установці, що забезпечує проведення експериментів за мінімальних витрат і в короткі терміни, імітуючи різні умови експлуатації. Усі наплавлені зразки піддавалися дослідженням при однакових режимах: тиск притискання – 0,12 МПа, частота обертання шпинделя – 1600 об/хв, час випробування – 1 хвилина, один зразок одночасно випробовувався двома абразивними колами різної зернистості.

Знос контролювався методом зважування на електронних вагах ANDGR-300, що мають точність 0,0001 г, а вимірювання висоти наплавленого шару з точністю до 0,001 мм за допомогою індикаторної головки Micron.

Аналізуючи графік (рис. 2.8) та результати експериментів, стає зрозуміло, що більший знос відповідає зразкам з низькою твердістю, а менший – з високою твердістю. Так, зразок №93 має найвищу твердість 73,2 HRC, отримав найменший знос – 0,01 г, тоді як зразок №141, що володіє найменшою твердістю – 52,5 HRC, зносився найбільше – 0,0223 гр.

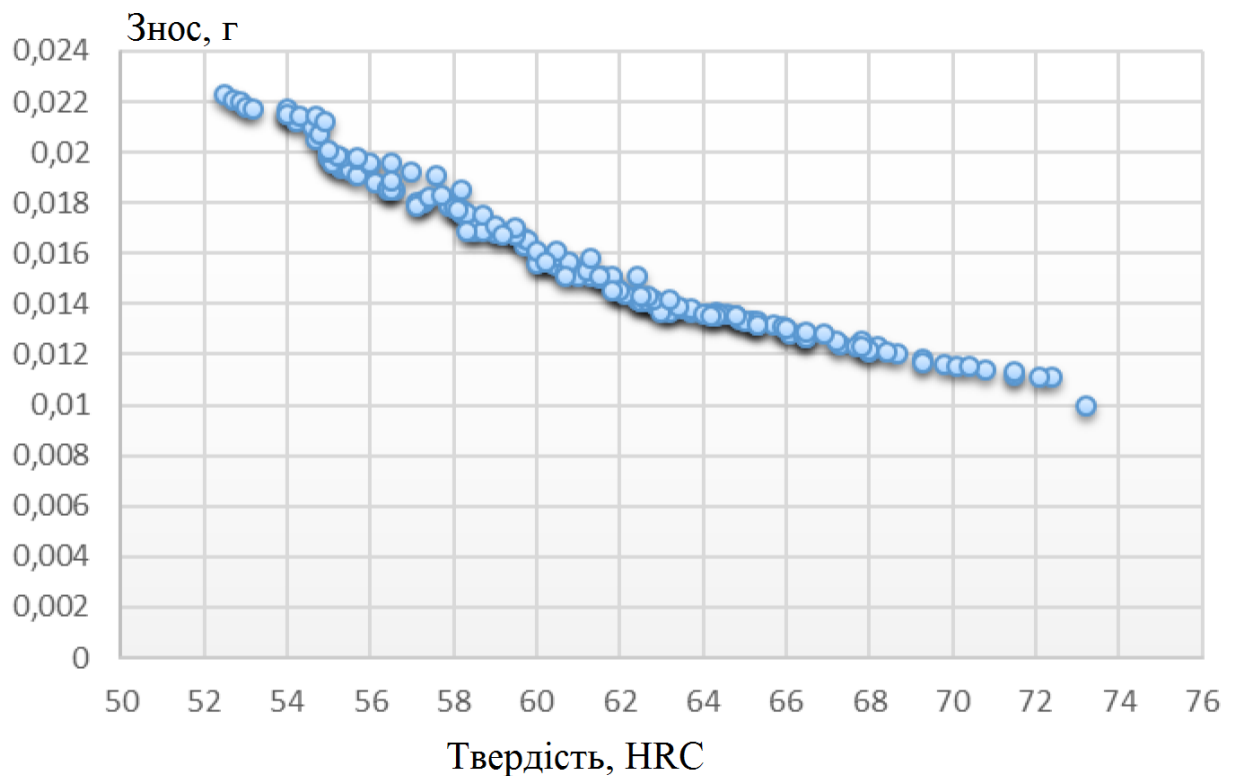


Рис. 2.8. Залежність зносостійкості від твердості, при випробуванні абразивним колом 175×20×32 64С 40СМ F46 К/Л

Графік зносостійкості зразків, наплавлених плазмовим наплавленням і випробуваних абразивним кругом 175×20×32 25А 25СМ F80 К/Л має аналогічний вигляд, як і графіки залежності зміни висоти наплавленого шару.

Висновки по розділу

Лабораторні дослідження процесу плазмового наплавлення з метою отримання покриттів із підвищеною твердістю дозволили встановити оптимальні режимні параметри наплавлення зносостійких покриттів: швидкість наплавлення – 5,0 м/год; вміст карбіду вольфраму в порошковій суміші – 50%; напруга дуги – 35 В.

Дослідження наплавлених покриттів на зносостійкість показали, що шари, отримані при використанні оптимальних параметрів процесу, мають найбільшу довговічність: зразок №93 має найвищу твердість 73,2 HRC, отримав найменший знос – 0,01 г, тоді, як зразок №141, що має найменшу твердість – 52,5 HRC, зносився найбільше – 0,0223 г при випробуванні абразивним колом 175×20×32 64С 40СМ F46 К/Л.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для оцінки експлуатаційних властивостей долот глибокорозпушувачів були проведені виробничі випробування в ТОВ «Райз-Полісся» Овруцька ОТГ, Коростенського району Житомирської області.

Як випробувана машина брався глибокорозпушувач Gaspardo Artiglio, що має сім стійок з робочими органами. Шість робочих органів (рис. 3.1) відновлювалися за запропонованою технологією, сьомим бралось нове серійне долото.

Спочатку проводилося відрізання зношеної різально-лезової частини (рис.3.2) на машині термічного різання портального типу з ЧПУ – MORAY 2060 FP.



Рис. 3.1. Зношені долота глибокорозпушувача GaspardoArtiglio



Рис. 3.2 Відрізання зношеної ріжучо-лезової частини долота

Потім формувалася нова різально-лезова частина потрібного розміру для кожного долота шляхом нарізування заготовок з листового матеріалу сталі 65Г товщиною 24 мм і створення леза струганням на верстаті 7307ГТ.

Далі проводилася обробка кромки під кутом 60° у місцях з'єднання долота та нової частини, яка набула Х-подібної форми.

Приварювання здійснювалось у лабораторії зварювання кафедри «Машиновикористання та сервісу технологічних систем» Поліського національного університету суцільним швом з двох сторін на місцях розділу кромки. При цьому використовувалося ручне електродугове зварювання та електроди для зварювання вуглецевих сталей марки УОНІ діаметром 3 мм. Сила струму при зварюванні становила 150 А.

Заточування леза здійснювалося на обдирно-шліфувальному верстаті. ЗБ634.

Приготування порошку проводилося в такий спосіб. П'ять доліт наплавлялося порошковою сумішшю з 50% вмістом вольфраму карбіду і одне долото з його кількістю 45%.

Для отримання суміші з 50% вмістом, порошки бралися однакового об'єму, в пропорції 1:1 - 300 мл ПГ-С27 «Сормайт» і 300 мл карбіду вольфраму. Цієї кількості достатньо для наплавлення п'яти доліт з великим запасом для покращення подачі порошку в зону наплавлення. Для отримання суміші з 45% вмістом карбіду вольфраму, бралось 100 мл ПГ-С27 і 90 мл карбіду вольфраму.

Нанесення зміцнюючого шару проводилося на розробленій установці за наступних режимів: долото №1 $V_n = 4,5$ м/год, $W = 45\%$, $U = 45$ В; долото №2 $V_n = 4,5$ м/год, $W = 50\%$, $U = 25$ В; долото №3 $V_n = 4,5$ м/год, $W = 50\%$, $U = 30$ В; долото №4 $V_n = 4,5$ м/год, $W = 50\%$, $U = 35$ В; долото №5 $V_n = 4,5$ м/год, $W = 50\%$, $U = 40$ В; долото №6 $V_n = 4,5$ м/год, $W = 50\%$, $U = 45$ В. При даних режимах, за результатами лабораторних випробувань, були отримані найбільші значення твердості та зносостійкості покриттів, що мають дендритно-комірчасту структуру. Полярність струму зворотня, плазмоутворюючим, транспортуючим і одночасно захисним газом є аргон.

Наплавлення проводилося з обох боків леза для забезпечення ефекту самозаточування та збільшення ресурсу долота. Після остигання зовнішньої поверхні леза, для виключення термічного впливу на основний матеріал долота, проводили наплавлення внутрішньої.

Відновлені долота (рис. 3.3) проходили контроль за наявністю тріщин (як гарячих і холодних) і проводилися вимірювання твердості отриманої поверхні (рис.3.4).

Відремонтовані долота встановлювалися на глибокорозпушувач Gaspardo Artiglio 300/7 з шириною захвату 3 м, що агрегувався трактором К-744 (рис.3.5), який проводив обробку парів під посів озимих культур на глибину 25 см.



Рис. 3.3. Відновлені долота глибокорозпушувача Gaspardo Artiglio



Рис. 3.4. Контроль твердості наплавленої поверхні плазмовим способом



Рис. 3.5. Глибокорозпушувач Gaspardo Artiglio 300/7 в зчпці з трактором К-744 Р1 в процесі роботи

Перед початком розпушування, а потім у процесі роботи глибокорозпушувача через кожні 10 га проводилися вимірювання товщини наплавленого шару леза долота. Для цього використовували цифровий штангенциркуль ШПЦ-1-150-0,02 6" DIGITAL CALIPER STRONG (рис. 3.6).



Рис. 3.6. цифровий штангенциркуль ШПЦ-1-150-0,02 6" DIGITAL CALIPER STRONG

Експлуатаційні випробування стали заключним етапом дослідження, за результатами якого робився висновок про ефективність та доцільність

підвищення зносостійкості робочих органів глибокорозпушувачів. Експерименти дозволили визначити зносостійкість зміцненої поверхні деталей залежно від напрацювання. Для відновлених доліт глибокорозпушувачів ресурс наплавленої поверхні в середньому становить 150 га на один робочий орган, загальний ресурс доліт – 207 га.

Критерієм, при проведенні експериментів, було стирання зміцненого шару до основного металу. Серійне долото при напрацюванні 32 га вже не мало зміцнювального шару та надалі роботу здійснював основний метал леза. При цьому лезо скоротилося на 10 мм, а краї почали заокруглюватись (рис. 3.7).



Рис. 3.7. Зношування доліт глибокорозпушувачів Gaspardo Artiglio при напрацюванні 73 га: а – серійного; б – відновленого.

Відновлене долото досягло такого стану при напрацюванні 150 га і надалі працювало як серійне долото без зміцненого шару.

Відновлене долото досягло такого стану при напрацюванні 150 га і в факторі вибракування долота було зменшення довжини леза на 40 мм, оскільки подальше стирання леза призводить до порушення агротехнічних вимог на розпушування – не забезпечуватиметься необхідна глибина обробки.

Загальний ресурс доліт виявився таким: серійного – 73 га, відновленого – 207 га. Відповідно, воно було замінено на інше, яке пропрацювало 75 га і при

загальному доробку 148 га двох доліт було замінено на наступне, що пропрацювало до закінчення експерименту.

Результати виробничого експерименту відновлених і серійних доліт представлені у таблиці 3.1, графічна залежність рис. 3.8.

Таким чином, зміцнюючий шар відновленого долота має ресурс у 4,7 рази більший ніж у серійного, а загальний ресурс відновлених доліт більше від серійних у 2,84 рази.

Таблиця 3.1 – Знос доліт за результатами досліджень

Напрацюванн я	Долото							Середнє по відновленим
	1	2	3	4	5	6	7	
10	0,21	0,22	0,2	0,21	0,23	0,21	0,81	0,21
20	0,43	0,44	0,46	0,45	0,43	0,44	1,72	0,44
30	0,65	0,64	0,66	0,63	0,64	0,65	2,57	0,65
40	0,83	0,85	0,87	0,84	0,85	0,87	3,45	0,85
50	1,02	1,01	1,03	1,01	1,03	1,03	6,31	1,02
60	1,25	1,23	1,22	1,21	1,24	1,23	8,12	1,23
70	1,46	1,43	1,43	1,42	1,43	1,44	10,22	1,44
80	1,67	1,66	1,64	1,63	1,65	1,64		1,65
90	1,88	1,87	1,86	1,85	1,86	1,87		1,87
100	2,14	2,11	2,12	2,09	2,1	2,11		2,11
110	2,31	2,33	2,32	2,3	2,32	2,31		2,32
120	2,53	2,51	2,52	2,51	2,53	2,53		2,52
130	2,77	2,73	2,74	2,73	2,75	2,75		2,75
140	2,94	2,93	2,92	2,91	2,93	2,92		2,93
150	3,14	3,12	3,13	3,1	3,12	3,11		3,12
160	4,41	4,32	4,31	4,42	4,56	4,35		4,4
170	5,79	5,83	5,85	5,75	5,67	5,78		5,78
180	7,08	6,95	7,12	6,89	7,15	7,19		7,06
190	8,38	8,35	8,32	8,41	8,39	8,35		8,37
200	9,39	9,32	9,23	9,23	9,25	9,21		9,27
210	10,30	10,20	10,10	10,20	10,30	10,40		10,25

Експлуатаційні випробування відновлених долот глибокорозпушувача Gaspardo Artiglio за допомогою плазмового наплавлення порошкового матеріалу з вмістом карбиду вольфраму підтвердили дані отримані в лабораторних експериментах і на практиці довели ефективність запропонованої технології відновлення долот глибокорозпушувачів.

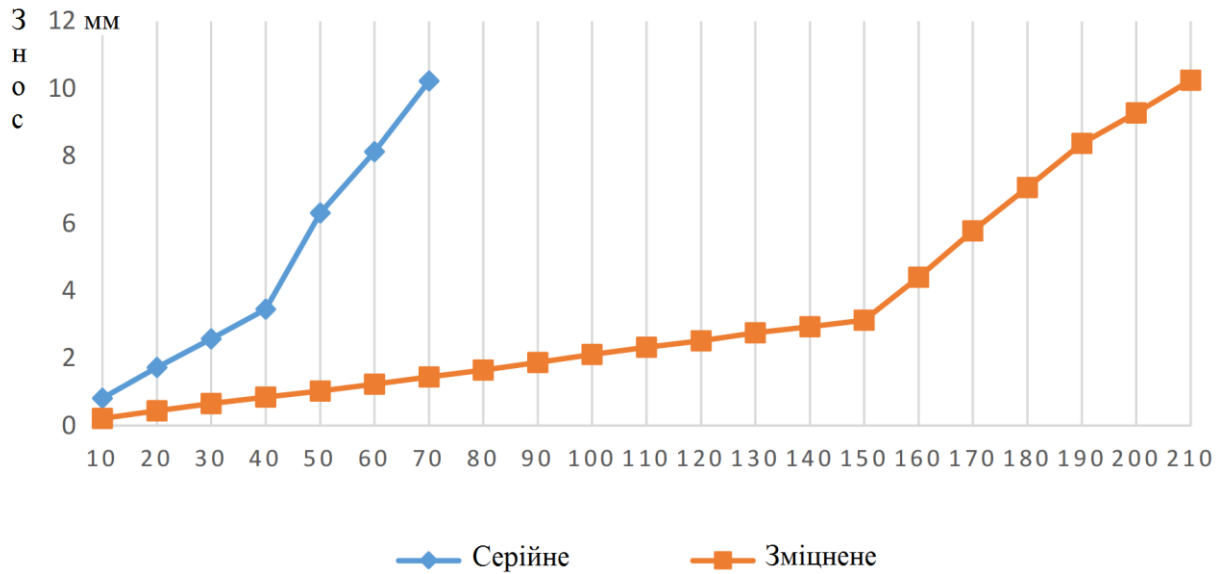


Рис. 3.8. Результати зносу серійних та відновлених доліт за даними експлуатаційних досліджень

Висновки по розділу

При експлуатаційних дослідженнях у ТОВ «Райз-Полісся» Овруцька ОТГ, Коростенського району, Житомирської області, робочих органів глибокорозпушувача Gaspardo Artiglio було встановлено, що зміцнювальний шар відновлених доліт стирається до основного металу при середньому напрацюванні 150 га, тоді як у серійних за 32 га, загальний ресурс відновлених доліт становить у середньому 207 га, серійних – 73 га. Таким чином, відновлені плазмовим наплавленням долота мають ресурс у 2,84 рази більше, ніж серійні робочі органи.

Виробничі експерименти відновлених доліт глибокорозпушувача показали збіжність результатів зношування з даними лабораторного дослідження на установці для дослідження зношування, розробленої авторами. Це трактується тотожністю фізико-хімічних та фізико-механічних властивостей нових доліт та відновлених за розробленою технологією на оптимальних режимах.

ВИСНОВКИ

Аналіз робіт показав, що існують долота трьох видів: прямі (75% в Житомирській області від загальної кількості), стрілоподібні (20%) та клиноподібні (5%), які схильні до сильного абразивного зношування. Застосовувані на даний момент способи відновлення доліт глибокорозпушувачів є низькопродуктивними, трудомісткими і формують не якісну поверхню, що знижує зносостійкість та ресурс деталей. Усунути цей недолік можливо застосуванням нової технології та технологічного оснащення, пов'язаного із застосуванням плазмового наплавлення порошків із вмістом карбіду вольфраму, що дозволяє підвищити ресурс до 7 разів.

Для проведення лабораторних експериментів використовувалося розроблене обладнання: установка для плазмового наплавлення та установка для дослідження процесів зношування деталей машин. У процесі лабораторних випробувань визначено:

– оптимальні режимні параметри наплавлення зносостійких покриттів з метою одержання покриттів із підвищеною твердістю:

- швидкість наплавлення – 5,0 м/год;
- вміст карбіду вольфраму в порошковій суміші – 50%;
- напруга дуги – 35 В,

при яких отримуємо шар, що має найвищу твердість 73,2 HRC і має найменший знос – 0,01 г тоді, як зразок, що володіє найменшою твердістю – 52,5 HRC, зносився найбільше – 0,0223 г, при випробуванні абразивним кругом 175×20×32 64С 40СМ F46 К/Л.

При експлуатаційних дослідженнях було розроблено технологію відновлення доліт глибокорозпушувачів, що включає зміцнення робочої поверхні плазмовим наплавленням. Експерименти проводились у ТОВ «Райз-Полісся» Овруцька ОТГ, Коростенського району, Житомирської області, робочими органами глибокорозпушувача Gaspardo Artiglio при яких було

встановлено, що зміцнювальний шар відновлених доліт стирається до основного металу в середньому при напрацюванні 150 га, тоді як у серійних за 32 га, загальний ресурс відновлених доліт становить у середньому 207 га, серійних – 73 га. Таким чином, відновлені плазмовим наплавленням долота мають ресурс у 2,84 рази більше, ніж серійні робочі органи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Косолап М.П., Кротінов О.П. Система землеробства No-till. Навчальний посібник. Київ : Логос, 2011 352 с.
2. Dang Yash P., Dalal Ram C., Menzies Neal W. (Eds.) No-till Farming Systems for Sustainable Agriculture. Challenges and Opportunities. Springer International Publishing, 2020. 638 p.
3. Mefferd Andrew. The Organic No-Till Farming Revolution High-Production Methods for Small-Scale Farmers. New Society Publishers, 2019. 312 p.
4. O'Hara Bryan. No-Till Intensive Vegetable Culture: Pesticide-Free Methods for Restoring Soil and Growing Nutrient-Rich, High-Yielding Crops. Chelsea Green Publishing, 2020. 272 p.
5. Танчик С.П. No-till і не тільки. Сучасні системи землеробства. Київ : Юнівест Медіа, 2009. 60 с.
6. Brown Gabe. Dirt to Soil. One Family's Journey into Regenerative Agriculture. Chelsea Green Publishing, 2018. 240 p.
7. Батурин В. (ред.) No-till - шаг к идеальному земледелию. Київ : Зерно; Гроші та світ, 2007. 128 с.
8. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.
9. Kalacska A. Baets P., Fauconnier D., Schramm F., Frerichs L., Sukumaran J. Abrasive wear behaviour of 27MnB5 steel used in agricultural tines. *Wear*. 2020. Vol. 442-443.
10. Аулін В. В., Тихий А. А. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості і надійності робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами : монографія. Кропивницький : Лисенко В.Ф., 2017. 278 с.
11. Пронин В.М. Сравнительные испытания сельскохозяйственной техники. Москва : Росинформагротех, 2013. 416 с.

12. Жевора Ю.И., Палий Т.И. Управление качеством и надежностью отремонтированной сельскохозяйственной техники на предприятиях технического сервиса в АПК. Ставрополь: СтГАУ, 2013. 168 с.
13. Цизь І.Є. Надійність машин. Луцьк : Луцький НТУ, 2017. 76 с.
14. Goyal M.R., Verma D.K. Engineering Interventions in Agricultural Processing. Apple Academic Press, 2018. 377 p.
15. Соловьев С.А., Иванайский В.В., Ишков А.В. и др. Износостойкие композиционные покрытия для рабочих органов сельхозмашин. Москва : Российская академия наук, 2019. 187 с.