

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра процеси, машини і обладнання

Кваліфікаційна робота

на правах рукопису

Щербінін Олексій Ігорович

УДК 631.33

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Обґрунтування параметрів підвищеного ресурсу посівних машин

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 \_\_\_\_\_ О.І. Щербінін

Керівник роботи

Заєць М.Л.

кандидат технічних наук

Житомир – 2020

## АНОТАЦІЯ

**Щербінін Олексій Ігорович. Обґрунтування параметрів підвищеного ресурсу посівних машин. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.**

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

В магістерській роботі проводили відновлення валів посівних машин наплавкою композиційного дроту наступним режимом: величина зварювального струму складала 8 кА, тиск на електродах – 0,21 МПа, час імпульсу струму – 0,08 с, а тривалість паузи 0,04 с. Для наплавки використовувався композиційний дріт такого складу: оболонка – сталь 08 кп; осердя – 40% карбїду хрому, плакованого нікелем, решта – порошок ПЖ-5.

Результати проведених стендових випробувань підтвердили справедливість попередніх результатів досліджень, згідно з якими використання плакованої кераміки сприяє підвищенню щільності та експлуатаційних властивостей досліджуваних композиційних покриттів

Отримані в роботі результати вказують на явні переваги відновлення валів посівних машин композиційними покриттями, що містять карбїд хрому, плакований нікелем. Такі вали мають високу зносостійкість, при цьому вони практично не впливають на величину спрацювання (різниця незначуща) спряжених з ними підшипників ковзання.

Проведені експлуатаційні польові випробування відновлених деталей сільськогосподарських машин показують, що композиційні кераміко-металеві покриття добре працюють в умовах абразивного зношування без мащення або з недостатнім мащенням.

*Ключові слова: вал, композиційне покриття, зносостійкість, сівалка, відновлення.*

## ANNOTATION

**Shcherbinin Alexey Igorovich. Substantiation of parameters of the increased resource of sowing machines. – *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.

In the master's work, the shafts of sowing machines were restored by surfacing composite wire in the following mode: the magnitude of the welding current was 8 kA, the pressure on the electrodes – 0.21 MPa, the current pulse time – 0.08 s, and the pause duration 0.04 s. Composite wire of the following composition was used for welding: sheath - steel 08 kp; core - 40% chromium carbide, nickel-plated, the rest - powder ПЖ-5.

The results of the bench tests confirmed the validity of previous research results, according to which the use of clad ceramics helps to increase the density and performance properties of the studied composite coatings.

The results obtained in this work indicate the obvious advantages of restoring the shafts of seeding machines with composite coatings containing chromium carbide clad with nickel. Such shafts have high wear resistance, at the same time they practically do not influence size of operation (difference is insignificant) of the sliding bearings connected with them.

Conducted field tests of restored parts of agricultural machinery show that composite ceramic-metal coatings work well in conditions of abrasive wear without lubrication or with insufficient lubrication.

*Key words: shaft, composite coating, wear resistance, drill, restoration.*

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ВСТУП.....   | 5  |
| РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ВАЛІВ ПОСІВНИХ МАШИН, ЇХНІХ УМОВ РОБОТИ, СПОСОБІВ ЗМІЦНЕННЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ..... | 7  |
| 1.1. Вали сільськогосподарських машин, умови їх роботи та основні дефекти.....                           | 7  |
| 1.2. Характеристика валів посівних машин.....  | 10 |
| 1.3 Основні способи відновлення циліндричних поверхонь валів.....  | 13 |
| РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....  | 18 |
| РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ СТЕНДОВИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....  | 25 |
| ВИСНОВКИ.....  | 33 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....  | 34 |

## ВСТУП

Аналіз відновлюваних деталей за їхніми категоріями та формами поверхні показує, що серед них деталі типу "тіла обертання" складають близько 57%, деталі "просторових форм" – 38%, інші деталі – 5%. Детальніше: циліндричні поверхні – близько 52%; конічні та сферичні – близько 3%; плоскі, профільні та фасонні поверхні – близько 1% кожних; спрацювання шліців – близько 3%; пазів, канавок – близько 5%; різьби – близько 10%; зубців шестерень – близько 2%; тріщини та зломи спостерігаються у 9% деталей, а порушення геометрії та форми - у 12%. Саме тому дослідження технології відновлення валів посівних машин композиційними покриттями є беззаперечно актуальною задачею.

**Мета і задачі дослідження.** Підвищення надійності посівних машин за рахунок впровадження технології відновлення валів посівних машин композиційними покриттями.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі задачі:

- Проаналізувати характеристика валів посівних машин, їхніх умов роботи, способів зміцнення та відновлення;
- На основі літературних джерел визначити матеріал та режими нанесення композиційного покриття;
- Розробити методику проведення досліджень;
- Провести стендові та експлуатаційні дослідження.

**Об'єкт дослідження:** процес зношування валів посівних машин

**Предмет дослідження:** залежність зносостійкості відновлених валів посівних машин від матеріалу покриття, режиму нанесення та умов експлуатації.

**Методи дослідження.** Досліджено виконано з використанням загальнонаукових методів пізнання, методів землеробської механіки, теорії надійності, та прикладної фізики. Обробку експериментальних методів

виконували із застосуванням математичної статистики, методики планування та обробки експерименту за допомогою прикладних програм на ПК.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Щербінін О. І.** Вали сільськогосподарських машин, умови їх роботи та основні дефекти. Збірник тез *V-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»*. 28-29 березня 2019 року м. Житомир. ЖАТК. С. 301-302.

2. **Щербінін О. І.** Основні способи відновлення циліндричних поверхонь валів. Збірник тез *VI-ї всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 9-10 квітня 2020 року. Житомир : ЖАТК. С. 217-218.

3. **Щербінін О.І.** Композиційні матеріали та покриття для відновлення деталей сільськогосподарських машин. IX Міжнародної науково-технічної конференції. *«Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві»*, 5-24 жовтня 2020 року, смт. Глеваха Київської області, Національний науковий центр «ІМЕСГ» НААН України. м. Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Видавничий центр НУБіП України, 2020.

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати роботи можуть бути впровадженні в ремонтних підприємствах аграрних підприємствах України в процесі відновлення валів посівних машин.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 18 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 35 сторінок комп'ютерного тексту містить 1 таблицю і 13 рисунків.

## РОЗДІЛ 1

### ХАРАКТЕРИСТИКА ВАЛІВ ПОСІВНИХ МАШИН, ЇХНІХ УМОВ РОБОТИ, СПОСОБІВ ЗМІЦНЕННЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ

#### 1.1. Вали сільськогосподарських машин, умови їх роботи та основні дефекти

Аналіз відновлюваних деталей за їхніми категоріями та формами поверхні показує [1-8], що серед них деталі типу "тіла обертання" складають близько 57%, деталі "просторових форм" – 38%, інші деталі – 5%. Детальніше: циліндричні поверхні – близько 52%; конічні та сферичні – близько 3%; плоскі, профільні та фасонні поверхні – близько 1% кожних; спрацювання шліців – близько 3%; пазів, канавок – близько 5%; різьби – близько 10%; зубців шестерень – близько 2%; тріщини та зломи спостерігаються у 9% деталей, а порушення геометрії та форми - у 12%.

Численні мікрометражні дані про абсолютні значення спрацювання різних деталей за лінійними розмірами та втратами ваги наведені у роботах [4, 8].

Так Ульянов І.Є. [10] показав, що у групі деталей нерухомих спряжень втрати ваги складають 0,01%, а втрати розміру – 0,08%. У групі деталей рухомих спряжень, які працюють за схемою "вал-отвір", втрата ваги складає 0,75%, а втрата розміру – 0,95%.

За даними Шадрічева В.А. [14] всі деталі спряжень "вал-підшипник кочення" мають спрацювання, середня величина яких не перевищує 0,1 мм. Деталі рухомих спряжень "вал-підшипник ковзання" мають середнє значення спрацювання, що не перевищує 0,15 мм. Середнє значення спрацювання деталей рухомих спряжень групи "циліндричні стержні та осі" не перевищує 0,13 мм.

У валів найчастіше дефекти виникають на посадочних поверхнях під підшипники та різьбових поверхнях. Поверхні під підшипники відновлюють при зносі більше 0,017...0,060 мм; поверхні нерухомих спряжень за рахунок додаткових деталей (місця під маточини зі шпонковими пазами тощо) – при спрацюванні більше 0,04...0,13 мм; під ущільнення - більше 0,15...0,20 мм. Шпонкові пази відновлюють при спрацюванні по ширині більше 0,065...0,095 мм, шліцьові поверхні – при спрацюванні більше 0,2...0,5 мм [7, 8].

Зі всієї сукупності відновлюваних поверхонь валів 46% зношуються до 0,3 мм; 27% – від 0,3 до 0,6 мм; 19% – від 0,6 до 1,2 мм і 8% – більше 1,2 мм [8] (рис. 1.1 та 1.2).

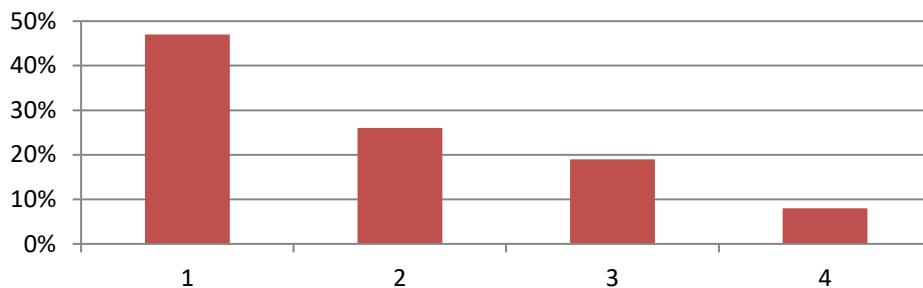


Рис. 1.1. Діаграма спрацювання поверхонь валів: 1 – величина спрацювання до 0,3 мм; 2 – величина спрацювання від 0,3 мм до 0,6 мм; 3 – величина спрацювання від 0,6 мм до 1,2 мм; 4 – величина спрацювання понад 1,2 мм.

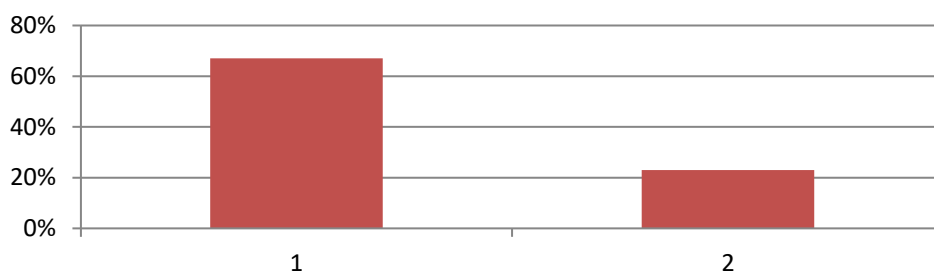


Рис. 1.2. Діаграма спрацювання поверхонь валів: 1 – величина спрацювання до 0,6 мм; 2 – величина спрацювання понад 0,6 мм.

Дослідження спрацювання деталей машин [2, 6], які використовуються у сільському господарстві, дозволило встановити, що найбільша кількість деталей (понад 80%) мають спрацювання до 0,6 мм. З них більше половини



складають деталі зі спрацюванням поверхні близько 0,1 мм, а основна форма поверхні зношуваних деталей – циліндрична. Саме деталі типу "вал" у більшості випадків лімітують ресурс вузлів та агрегатів машин.

Довжина які, піддаються відновленню складає від 100 до 4000 мм, проте більше 90% цих деталей мають довжину не більше 1000 мм. Діаметри валів коливаються в межах від 10 до 220 мм, але у 99% валів діаметр не перевищує 60 мм. Вага валів складає від 0,3 до 52 кг (середнє значення близько 3 кг) [8].

Крім геометричних параметрів найбільш важливими характеристиками поверхні деталі є її матеріал, структура та фізико-механічні властивості останнього.

Вали сільськогосподарської техніки виготовляють переважно з середньовуглецевої та низьколегованої сталей [6]. Їх піддають термічній обробці, поверхневому гартуванню СВЧ, цементації з подальшим гартуванням тощо.

Численними дослідженнями [1, 2, 5, 6] показано, що основною причиною втрати працездатності деталей є зношування. Відкази через зношування у сучасних машинах можуть досягати 80...90% від загальної кількості відказів.

Переважаючими видами спрацювання циліндричних поверхонь деталей сільськогосподарських машин є абразивне та фретинг-корозія [14].

Таким чином, аналіз умов експлуатації та характеру спрацювань валів сільськогосподарських машин показав, що найбільша їх кількість має спрацювання до 0,6 мм. Довжина валів, як правило, не перевищує 1000 мм, а діаметр коливається в межах 12.. .60 мм.

Матеріал поверхні валу, його властивості та умови роботи безпосередньо впливають на характер основних несправностей. У процесі відновлення деталі, враховуючи характер її зношування, є можливість замінити матеріал і структуру окремих поверхонь шляхом нанесення відповідних покриттів.

## 1.2. Характеристика валів посівних машин

Конструкція валів посівних машин визначається способом закріплення на них деталей, тиском і розмірами підшипників ковзання, технологічними умовами обробки і складання.

Як уже зазначалось більшість валів сільськогосподарських машин зазнають абразивного зношування. Посівні машини, особливо їхні робочі органи, працюють в умовах безпосереднього контакту з фунтом і при великій запиленості [6]: під час їхньої роботи велика кількість пилових частинок фунту піднімаються в повітря і, потрапляючи у вузли машин, викликають інтенсивне абразивне спрацювання.

Головна причина частого виходу з ладу валів сівалок є недостатня пристосованість вузлів тертя до реальних умов експлуатації посівних машин. У господарствах ще нерідкі випадки, коли фунт під посів готується з порушеннями агротехнічних вимог. У перший же рік експлуатації машин у таких умовах виходять з ладу манжети та сальники, внаслідок чого поверхні тертя залишаються незахищеними, і у зону тертя потрапляють не тільки пил, а і волога. Цією причиною пояснюється підвищене спрацювання валів у спряженні зі втулками [8].

Незважаючи на надзвичайно жорсткі умови роботи, вали посівної техніки виготовляються в основному зі сталей звичайної якості, які гартуванню не підлягають.

Отже, наявне протиріччя між вимогами до якості валів посівних машин (виходячи з умов роботи) і експлуатаційними властивостями матеріалів, з яких їх виготовляють. Це стосується насамперед валів, які працюють у парах тертя, і призводить до того, що ресурс цих валів виявляється недостатнім.

Маркетингові дослідження [12] свідчать, що в Україні немає альтернативи посівної техніки, яка випускається заводом “Червона зірка”.

Найпоширенішими посівними машинами, що виробляються Кіровоградським акціонерним товариством “Червона зірка” є сівалка зернотукова рядна СЗ-3,6, сівалка бурячна навісна ССТ-12Б, сівалка універсальна пневматична навісна СУПН-8. Наведені посівні машини масово стали поступати у сільськогосподарські підприємства близько 15 років тому; за цей час уявлення про відкази, що зустрічаються найчастіше, цілком склалося.

Закладені конструкторами вузли тертя посівних машин передбачають забезпечення у спряженнях вал-підшипник ковзання великих гарантованих зазорів.

Наприклад, за кресленням деталей висівного апарату бурякових сівалок ССТ-12Б зазори мають такі значення (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Співвідношення зазорів, закладених у конструкції вузлів тертя висівних апаратів бурячних сівалок ССТ-12Б

| Назва деталі   | Позначення деталі          | Номинальний розмір та граничні відхилення на виготовлення деталі, мм | Закладені граничні зазори у конструкцію вузла тертя ( $S_{min} \dots S_{max}$ ) |
|--|----------------------------|--|---|
| Вал<br>Підшипник<br>ковзання                                 | ССГ 00.638<br>ССГ 00.002   | $\varnothing 25_{-0,14}$<br>$\varnothing 25_{+0,80}^{+0,50}$         | 0,50... 0,94  |
| Вал<br>Підшипник<br>ковзання                                 | ССГ 00.606<br>ССГ 00.002   | $\varnothing 18_{-0,12}$<br>$\varnothing 18_{+0,50}^{+0,80}$         | 0,50... 0,92  |
| Вал-шестерня<br>Підшипник<br>ковзання                        | ССГ 00.601<br>Н126.04.004  | $\varnothing 18_{-0,14}$<br>$\varnothing 18_{+0,30}^{+0,50}$         | 0,30...0,64   |
| Вісь сороказубої<br>зубчатки<br>Підшипник<br>ковзання        | Н126.04.602<br>Н126.04.011 | $\varnothing 16_{-0,12}$<br>$\varnothing 16_{+0,12}^{+0,36}$         | 0,12...0,48   |
| Вісь<br>дев'яностозубої<br>зубчатки<br>Підшипник<br>ковзання | Н126.04.603<br>Н126.04.020 | $\varnothing 22_{-0,14}$<br>$\varnothing 22_{+0,07}^{+0,21}$         | 0,07...0,35   |

Початковий зазор між опорною поверхнею шийки вала та посадочною поверхнею підшипника ковзання збільшується по мірі спрацювання. Швидкість

збільшення зазору залежить від конструкції вузла тертя. У посівних машинах застосовують залізо-графітові підшипники ковзання, які забезпечують достатню міцність і твердість, найменше нагрівання та спрацювання, легке притирання та збереження мастила у вузлах, де передбачене мащення. Вали висівних апаратів, що працюють у парі з такими підшипниками, мають більші величини спрацювання, ніж ті, що працюють у парі з полімерними підшипниками ковзання.

Результати проведених досліджень зношування валів та спряжених з ними втулок посівних машин [7] не можна вважати цілком коректними, тому що величини спрацювання визначалися від найменшого граничного розміру вала сід та найбільшого граничного розміру втулки Ощак- Імовірність такого поєднання розмірів мінімальна. Для одержання достовірних результатів експертизи технічного стану деталей висівних апаратів сівалок первинний мікрометраж необхідно проводити на заводі - ви і отовлювачеві або у господарствах на нових машинах.

При спрацюванні шийки вала понад допустимі значення [6-8, 11] вал вибраковують, оскільки втулки ремонтного розміру заводом не виготовляються. Разом з валом вибраковуються і підшипники ковзання, що не придатні для спряження з новими валами. Дослідження закономірностей спрацювання деталей висівних апаратів сівалок показує, що актуальною є розробка технологічного процесу відновлення валів посівних машин під певні розміри підшипників ковзання при відповідному напрацюванні сівалок.

Аналізом відказів встановлено, що поряд з традиційними відказами [4] значне місце займають відкази валів висівних апаратів, які безпосередньо впливають на працездатність як окремої секції, так і посівної машини в цілому. Найчастіше виходять з ладу такі деталі: вісь Н126.04.603 дев'яностозубої зубчатки; вісь СЗГ 00.618 натяжної зірочки; вал ССГ 00.606 приводу туковисівних апаратів; вал- шестерня ССГ 00.601 тринадцятизуба; вісь Н126.04.602 сороказубої зубчатки; вали ССГ 00.638 і ССГ 00.644 механізму

передач; вісь маркера СДВ 00.510. До основних дефектів катушкових висівних апаратів відносяться спрацювання розетки НІ08.01.412 і боковий корпусу НІ08.05.010, прогин вала СЗГ 00.684, знос хвостової частини катушок СЗГ 00.134 [7].

Вивчення досліджень спрацювання деталей посівних машин показало, що наявний аналіз зносів є некоректним, тому постає необхідність одержання більш точного аналізу з переддослідним мікрометражем деталей нових машин. Даних про дослідження відновлення валів посівних машин не виявлено.

Оскільки посівні роботи, як ніякі інші, повинні проводитися у стислі строки з додержанням жорстких агротехнічних вимог до розподілу посівного матеріалу по площі поля та по глибині, для забезпечення безперебійної роботи посівних машин

під час сівби термін служби валів, що менше, ніж ресурс машини до граничного стану, доцільно збільшити, довівши його до терміну служби машини в цілому.

Таким чином, постає необхідність вибрати такий спосіб відновлення, щоб відновлені деталі не виходили з ладу протягом всього строку служби машини і добре працювали в умовах абразивного зношування.

### **1.3 Основні способи відновлення циліндричних поверхонь валів**

Існує велика кількість способів відновлення зношених деталей сільськогосподарських машин. Розглянемо деякі з них з метою вибору оптимального для відновлення валів посівних машин. Для відновлення циліндричних поверхонь застосовують переважно різні способи наплавлення, газополуменеве та плазмове напилювання, електролітичне осадження, контактне наварювання.

При наплавленні відновлювані деталі зазнають значного термічного впливу, що призводить до спотворення геометрії, небажаних, інколи

недопустимих структурних змін, і як наслідок, знеміцшовання металу деталі. Зносостійкість деталей, відновлених різними способами наплавлення, як правило, не перевищує зносостійкості нових і складає 60...97% від зносостійкості сталі 45, загартованої СВЧ [5, 7, 8, 14].

Дослідження впливу різних способів наплавлення на втомлювальну міцність сталі 45 [4, 7, 13] показали, що найбільше її зниження спостерігається при вібродуговому наплавленні у рідині та наплавленні у середовищі вуглекислого газу - на 38% у порівнянні зі втомлювальною міцністю зразків з нормалізованої сталі 45.

Зносостійкість і втомлювальну міцність можна підвищити, застосувавши після цих видів наплавлення зміцнювальну обробку (гартування СВЧ, хіміко-термічну обробку) [4, 7, 7, 8]. Проте, застосування після наплавлення додаткових технологічних операцій для підвищення експлуатаційних властивостей деталей ускладнює технологічні процеси та підвищує вартість відновлення деталей. До того ж, при збереженні на поверхні деталі литої нерівномірної структури, що має дефекти у вигляді пор, тріщин, знижується ефективність зміцнювальної обробки. При наплавленні товщина шару, що наноситься, значно більша за величину спрацювання, тому більша частина наплавленого металу відходить у стружку, що також економічно не вигідно.

У ремонтному виробництві існує цілий ряд методів відновлення зношених деталей з величиною спрацювання в межах 0,05...0,4 мм або більше [4, 6, 7, 11, 12]. До них належать газотермічне напилювання, гальванічні процеси, контактне наварювання та ін.

Газотермічне напилювання має низку переваг: простота процесу, висока зносостійкість покрить, можливість їх отримання з будь-якого металу [2, 7, 10]. Проте поряд з цим газотермічному напилюванню притаманні недоліки, які стримують широке його розповсюдження на ремонтних підприємствах: низька міцність зчеплення покрить, значні втрати напилюваного матеріалу,

необхідність спеціальної обробки поверхонь відновлюваних деталей, а також високої кваліфікації зварювачів.

Різновиди газотермічного напилювання – плазмове напилювання з оплавленням та імпульсно-плазмове нанесення покриттів – дозволили поліпшити механічні характеристики покриття, але разом з тим поставив і нові проблеми - сильне нагрівання деталей, що призводить до істотних деформацій, та ін. [6, 9].

Електролітичні покриття мають досить високі, технологічно регульовані фізико-механічні властивості. Загальними недоліками електролітичних процесів є складність попередньої підготовки поверхні, необхідність ізоляції та подальшого видалення її, нерівномірність товщини покриття на деталях складної форми, економічна недоцільність відновлення малих партій деталей.

Широкі можливості для нанесення відновних покриттів надає контактне наварювання та припікання порошку [3, 9, 7, 8]. Це єдиний спосіб, що дозволяє найповніше зберегти корисні характеристики матеріалів покриттів, які час втрачаються при розплавленні матеріалів на поверхні [8, 13, 14].

На користь використання контактного наварювання говорять такі переваги цього способу, як висока продуктивність; мінімальні втрати присадного матеріалу (в процесі наварювання та подальшої обробки втрати не перевищують 5%); практично, відсутність вигорання хімічних елементів присадного матеріалу; незначний термічний вплив на деталь (зона термічного впливу не перевищує 0,3 мм); можливість нанесення тонкого (в частках мм), щільного, без пор і раковин, шару металу з високою твердістю та з мінімальним припуском на механічну обробку; сприятливі санітарно-виробничі умови праці оператора.

В усіх випадках формування шару відбувається при середньоінтенсивному статичному навантаженні, імпульсному електромагнітному та тепловому впливах [3, 5, 77] без розплавлення металів.

Контактне наварювання (рис. 1.3) здійснюється на спеціальних установках спільним деформуванням наварюваного матеріалу та поверхневого

шару основного металу, нагрітих у місці деформації до пластичного стану короткими (0,02...0,5 с) Імпульсами струму 5...30 кА [3, 5, 9, 11]. Зварювальні точки, які утворюються при цьому, розташовуються по гвинтовій лінії і частково перекривають одна одну як уздовж рядків, так і між ними, що досягається обертанням деталі зі швидкістю, пропорційною частоті імпульсів, і повздовжнім переміщенням зварювальних кліщів. Регульовані імпульси зварювального струму можуть бути отримані використанням регуляторів циклів зварювання, що застосовуються у серійних зварювальних машинах, а також конденсаторних джерел живлення [8]. Для зменшення нагрівання деталі та підвищення твердості навареного шару в зону зварювання подають охолоджуючу рідину.

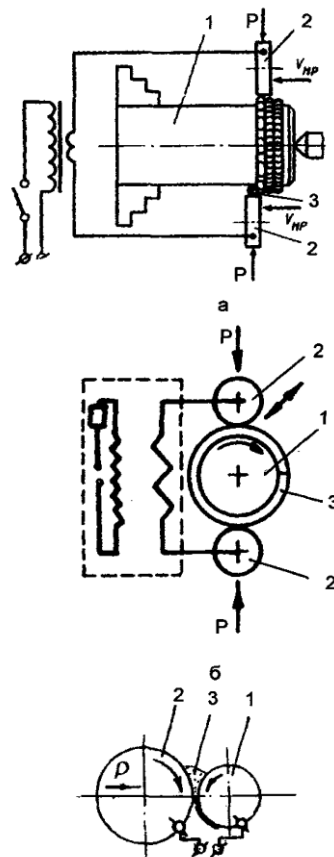


Рис. 1.3. Схеми контактеного наварювання дроту (а), стрічки (б) та порошку (в) на деталі типу “вал”: 1 – наварювана деталь; 2 – ролик-елетрод; 3 – присадний матеріал.



В залежності від виду та форми присадного матеріалу розрізняють контактне наварювання компактних (стрічки, дроту), порошкових (гранульованих) та комбінованих матеріалів.

На підставі проведеного аналізу способів відновлення циліндричних поверхонь можна стверджувати, що найдоцільнішим способом відновлення валів, які працюють в умовах абразивного зношування, є нанесення зносостійких покриттів контактним наварюванням.

Таким чином, дослідження можливості відновлення валів посівних машин контактним наварюванням є актуальним.

Для досягнення високої зносостійкості відновлених валів посівних машин необхідні покриття, які б добре працювали в умовах абразивного зношування. Останнім часом перевагу віддають новим прогресивним матеріалам, до яких відносяться композиційні матеріали.

## **Висновки по розділу 1**

Аналіз стану питання щодо довговічності деталей сільськогосподарських машин, зокрема валів сівалок, які працюють при інтенсивному абразивному зношуванню, дозволив зробити такі висновки:

1. Численними дослідженнями показано, що основною причиною втрати працездатності сільськогосподарських машин є абразивне зношування деталей, у більшості випадків форма робочої поверхні зношуваних деталей - циліндрична. Тобто деталі типу "вал" найчастіше лімітують ресурс вузлів та агрегатів машин.

2. Статистичний аналіз механізму та характеру зношування валів посівних машин показав, що деякі вали висівного апарату не витримують запланованого ресурсу роботи через складні умови експлуатації та неякісні матеріали, саме тому вони потребують застосування зміцнюючих технологій при їх відновленні.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Однією з найважливіших характеристик відновлених деталей, яка визначає їхню довговічність, є зносостійкість. З огляду на те, що основним видом зношування валів сільськогосподарських машин є абразивне зношування, випробування на зносостійкість проводили на машині тертя СМЦ-2

Ролики були виготовлені зі сталі Ст. 5Гпс ДСТУ 2651-94 з нанесеним КП та подальшим шліфуванням. Для порівняння використовувались також ролики з загартованої сталі 45 ГОСТ 1050-88 твердістю HRC 40...45 та ролики зі сталі Ст.5Гпс, взяті без КП. Зовнішній діаметр роликів після шліфування складав  $48,5 \times 10^{-3}$  м, ширина – 0,012 м. Як контртіло використовували колодки зі сталі 30 ГОСТ 1050-88, чавуну СЧ 18 ГОСТ 1412-85 та залізографіту ЖГр 1 (внутрішній діаметр  $48,5 \times 10^{-3}$  м, ширина-0,01 м).

Як відомо [2], більшість вузлів тертя сільськогосподарських машин працюють в умовах невеликих швидкостей ковзання, тому дослідження зносостійкості проводили з мінімальною для даної установки швидкістю обертання ролика –  $5 \text{ с}^{-1}$ . Швидкість ковзання при цьому складала близько 0,761 м/с при навантаженні 3,5 МПа в умовах сухого тертя, а також при мащенні солідолом УС-2 ГОСТ 4368-80 з додаванням кварцевого піску (концентрація 0,05 кг/л), що відповідає реальним умовам роботи більшості деталей з наведених у номенклатурі для відновлення.

Величину спрацювання зразків визначали ваговим методом з використанням аналітичних терезів ВЛА-200М з точністю до  $10^{-7}$  кг. Перед зважуванням зразки промивались у бензині та етиловому спирті. Температура поблизу зони тертя визначалась за допомогою термопари “ХК” та потенціометра ПСМГ-0,1, момент сили тертя фіксували за допомогою реєструючого пристрою.

Поверхні тертя досліджували також приладами ПМТ-3 та “Neophot-21”.

Однією з основних експлуатаційних властивостей деталей, що відновлюються контактним наварюванням, є зчеплюваність нанесених покриттів з основним матеріалом.

Саме цей параметр служив критерієм оцінки впливу режимів на властивості КП (п. 4.1). Для визначення міцності зчеплення використовували метод зрізу, оскільки в процесі експлуатації нанесене покриття зазнає саме таких впливів. Для визначення міцності на зріз  $\tau$  з'єднання покриття з основою КП наносилось на зразки, представлені на рис. 2.1. Після механічної обробки на поверхні зразка утворювались сегменти висотою  $h$  і шириною  $a$ . Пуансон 2 (рис. 2.1) на нижньому торці мав два діаметрально розташовані виступи 1, що дозволило при переміщенні пуансона по циліндричній поверхні зразка запобігти появі можливих перекосів, а, отже, підвищити достовірність отриманих результатів.

Міцність на зріз розраховувалась за формулою:

$$\tau = \frac{P}{2hl} = 45P \cdot (h \cdot \pi \cdot R \cdot \arcsin \frac{a}{R})^{-1} \quad (2.1)$$

де  $P$  – зусилля зрізу;  $l$  – довжина дуги внутрішньої поверхні сегмента;  $R$  – радіус зовнішньої поверхні зразка;  $h$  і  $a$  — висота та ширина сегменту відповідно.

Визначивши оптимальні умови КН, у подальшому зразки для дослідження структури та властивостей покриттів отримували при постійних режимах.

### 2.7.3. Дослідження напружень I-го та II-го роду

Важливим показником, що забезпечує необхідні експлуатаційні властивості нанесених на деталь покриттів, є технологічні залишкові напруження (напруження I роду). Відомо [6], що при стискуючих напруженнях збільшується довговічність деталі, а при розтягуючих – знижується.

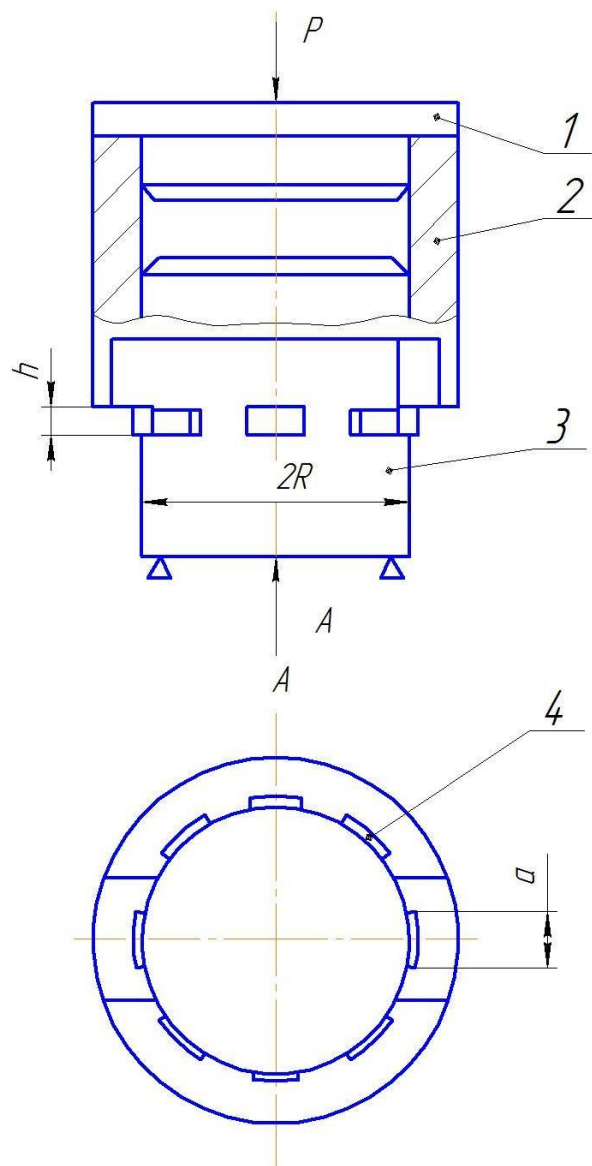


Рис. 2.1. Схема пристрою для випробування міцності зчеплення покриття з основою на зріз: 1 – наставка; 2 – пуансон; 3 – зразок; 4 – покриття.

Структурно-напружений стан покриття, наявність деформацій визначають за допомогою рентгенівських досліджень [5].

Експериментальне визначення залишкових напружень I роду у КП проводили “ $\text{Sin}^2\psi$ ”-методом на дифрактометрі “ДРОН-3”, тому що механічні

методи, які базуються на видаленні шарів матеріалу покриття мають значну похибку.

Розрахунок напружень II-роду і розміру блоків проводився/ У методі апроксимації необхідно одержати профілі однієї і тієї ж дифрактометричної лінії на дифрактограмі від досліджуваного зразка й еталона.

У випадку, коли профіль  $h(x)$  лінії від дослідного зразка можна апроксимувати гаусівською кривою, величина кутового розширення визначається за залежністю:

$$\beta = \sqrt{B^2 - b^2}, \quad (2.2)$$

де величини  $\beta$ ,  $B$  і  $b$  виражені в радіанах.

Тоді величину мікронапружень можна оцінити за виразом [5]:

$$\sigma = \frac{\Delta d}{d} E = \frac{\beta}{\text{tg}\theta} E, \quad (2.3)$$

де  $E$  – модуль пружності КП, МПа;  $\Delta d$  - максимальне відхилення міжплощинної відстані даної дифрактометричної лінії від її середнього значення;  $\theta$  - положення  $k$ -го дифракційного максимуму.

Деталі посівних машин проходили стендові випробування на розроблених установках .

Стенд для дослідження спрацювання серійних та відновлених різними матеріалами деталей висівних апаратів сівалки зернотукової універсальної СЗ-3,6. Секцію сівалки змонтовано на стаціонарній рамі, з якою жорстко з'єднаний зерновий ящик, з висівним апаратом. До рами стенда кріпиться зкатна дошка, на якій переміщується висіяне насіння і направляється у спеціальний збірник. Із збірника насіння за допомогою ковшового транспортера потрапляють назад у зерновий ящик . І таким чином цикл висіву знову повторюється.

Привід усіх елементів розробленої установки висівного апарату і ковшового транспортера здійснюється від електродвигуна 8 марки АОМ 51/4 через редуктор з використанням клинопасових передач. Швидкість обертання деталей висівного апарату склала  $25 \cdot 10^{-3}$  об/с, що відповідає робочій швидкості руху сівалки 4,17 м/с та передаточному числу на вал висівного апарату рівному

0,616. Норма висіву насіння висівним апаратом експериментальної установки відповідала оптимальній нормі висіву сівалки в умовах рядової експлуатації при сівбі пшениці 230 кг/га, відкриття катушки 0,028 м.

За період випробувань висівні апарати відпрацьовували  $16,5 \cdot 10^5$  с, що відповідало напрацюванню сівалки 2496 га (10-річний термін служби).

Випробування деталей висівних апаратів бурякових сівалок ССТ-12Б здійснювалось також на розробленому стенді. Секція робочих органів фіксується механізмом кріплення на рамі. Насіння із зернового ящика висівається висівним апаратом і переміщується по знятій дошці. Обертальний рух висівний апарат отримує від електродвигуна АОМ51/4 через редуктор та шків за допомогою клинопасової передачі.

Імітація робочої швидкості складала 1 м/с. За період дослідження робота висівного апарата тривала  $12,7 \cdot 10^5$  с години або 2200 га, що відповідало напрацюванню апарата за 10-річний термін служби.

Експериментальні деталі сівалок ССТ-12Б, СЗ-3,6 та СУПН-8 при встановленні чергувалися з серійними. Перед початком випробувань проводились первинні технічні експертизи. Через кожні  $2 \cdot 10^5$  с роботи висівного апарату, що відповідало напрацюванню сівалки 300 га, проводились проміжні технічні експертизи. Після закінчення випробувань проводились заключні технічні експертизи. Результати технічних експертиз заносились у мікрометражні карти.

Дані мікрометражних карт оброблялись методами математичної статистики та визначались середні значення величин спрацювання елементів досліджуваних деталей.

Середній ресурс приймався рівним математичному сподіванню ресурсу.

Математичне сподівання ресурсу:

$$MT \approx \sum_{i=1}^n T_i P_i, \quad (2.4)$$

де  $T_i$  – ресурс випробовуваної деталі;  $P_i$  – імовірність появи даного ресурсу.

Статистична імовірність появи ресурсу  $T_i$  розраховується за формулою:

$$P(T_i) \approx \frac{m_i}{n}, \quad (2.5)$$

де  $m_i$  – кількість деталей, що мають ресурс  $T_i$ ;  $n$  – загальна кількість випробовуваних деталей.

Експлуатаційні випробування проходили деталі висівних апаратів посівних машин СЗ-3,6, ССТ-12Б, СУПН-8 і дисковий маркер сівалок для висіву просапних культур. Встановлення експериментальних деталей, порядок проведення технічних експертиз і обробка результатів випробувань проводились, як і при проведенні стендових випробувань відповідних деталей.

композиційні кераміко-металеві покриття, одержані контактним наварюванням КД, що містять карбід хрому, плакований нікелем, мають вищі експлуатаційні властивості, ніж аналогічні покриття, одержані з використанням неплакованого наповнювача. При використанні плакованої кераміки у покриттях спостерігалось зниження пористості, підвищення рівномірності складу, збільшення стійкості наповнювача проти викришування та зносостійкості, що у свою чергу призводить до підвищення працездатності виробів.

Для перевірки працездатності композиційних кераміко-металевих покриттів у вузлах машин стендові та польові дослідження проходили такі пари тертя висівних апаратів посівних машин: катушка Н108.01.002 - муфта Н108.01.001 сівалки СЗ-3,6; розетка НІ 08.01.030 - корпус НІ08.05.010 сівалки СЗ-3,6; вал-шестерня ССГ 00.601 підшипник ковзання Н126.04.004 сівалки ССТ-12Б; вісь Н126.04.602 - підшипник ковзання Н126.04.011 сівалки ССТ-12Б; вісь Н126.04.603 - підшипник ковзання сівалки ССТ-12Б; вісь СЗГ 00.618 - підшипник ковзання КМХ-105Б сівалки СЗ-3,6, ССТ-12Б, СУПН-8; вісь СУПА 00.240 - підшипник ковзання С45.002 сівалки СУПН-8; вал СУПА 00.652 - підшипник ковзання С45.011.02 сівалки СУПН-8.

Експериментальні деталі відновлювались на оптимальних режимах, значення яких встановлено у результаті теоретичних та експериментальних

досліджень раніше проведених робіт інших авторів. Величина зварювального струму складала 8 кА, тиск на електродах – 0,21 МПа, час імпульсу струму – 0,08 с, а тривалість паузи 0,04 с. Для наварювання використовувався композиційний дріт такого складу: оболонка - сталь 08 кп; осердя - 40% карбіду хрому, плакованого нікелем, решта - порошок ПЖ-5. Зразки, наварені саме таким дротом, мали найвищу зносостійкість. Після випробування знаходилося середнє значення зношування деталей, величина стандартного відхилення середнього значення, коефіцієнт варіації та об'єм вибірки.



### РОЗДІЛ 3

## РЕЗУЛЬТАТИ СТЕНДОВИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Узагальнені результати стендових випробувань деталей сівалок СЗ-3,6, ССТ- 12Б та СУПН-8 представлені на рисунках 3.1...3.4.

Аналізом отриманих результатів виявлено, що стійкість до спрацювання валів висівних апаратів бурячної сівалки ССТ-12Б, відновлених КП, на 121% вище у порівнянні з серійними деталями. Зносостійкість спряжених підшипників ковзання при роботі з відновленими валами на 6% нижче, ніж при роботі з серійними валами. У кінці випробувань зазор у з'єднанні серійних деталей дорівнював 0,50 мм, а у з'єднанні серійних підшипників ковзання з валами, відновленими КП, склав 0,17 мм (рис. 3.1)

Зносостійкість експериментальних деталей висівного апарату зернової сівалки СЗ-3,6, відновлених КП, на 105% вище зносостійкості серійних деталей. При цьому зносостійкість спряжених серійних втулок при роботі з відновленими валами на 3% нижче, ніж при роботі з серійними валами. Таким чином, зазор у з'єднаннях мав такі значення: у спряженні серійних втулок з серійними валами - 0,85 мм, з валами, відновленими КП з плакованим карбідом — 0,45 мм (рис.3.2).

З точкової діаграми спрацювання деталей висівного апарату сівалки СУПН-8 визначено, що зносостійкість відновлених валів підвищилась на 229% у порівнянні з серійними валами. Зносостійкість серійних підшипників ковзання при роботі з відновленими КП валами нижче на 9% у порівнянні з підшипниками, що спряжені з серійними валами. Зазор у з'єднанні серійних деталей склав 1,24 мм, у з'єднаннях серійних підшипників з відновленими КП валами - 0,54 мм (рис. 3.3).

У тяжких умовах абразивного зношування працює маркер. Виявлено узагальнену для сівалок ССТ-12Б та СУПН-8 закономірність спрацювання

маркерів у ґрунтовому каналі.

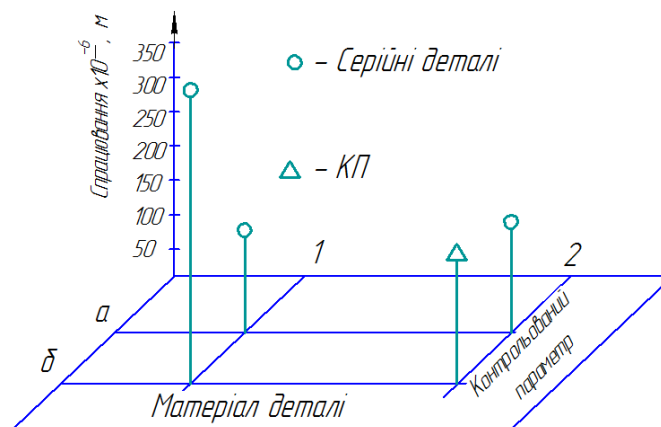


Рис. 3.1. Діаграма спрацювання деталей висівного апарату відповідно до 10-річного терміну експлуатації сівалки ССТ-12Б: а – внутрішній діаметр підшипника ковзання Н126.04.004; б – зовнішній діаметр вала-шестерні ССГ 00.601.

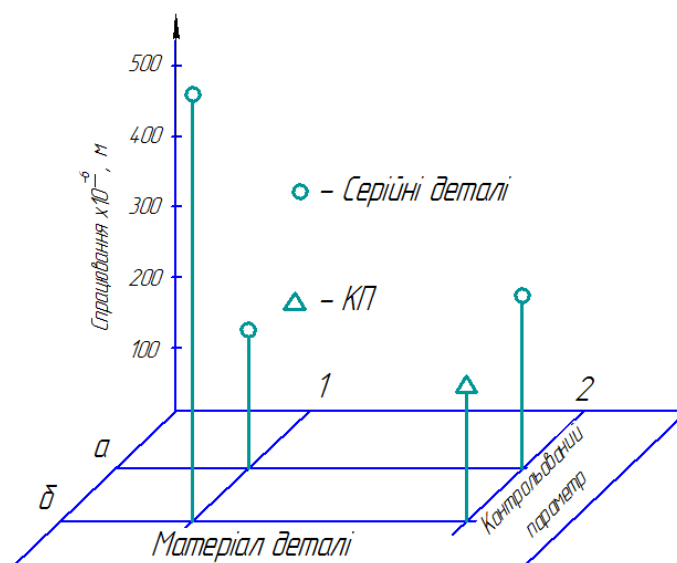


Рис.3.2. Діаграма спрацювання деталей висівного апарату відповідно до 10-річного терміну експлуатації сівалки СЗ-3,6: а – внутрішній діаметр муфти Н108.01.001; б – зовнішній діаметр хвостовика котушки Н108.05.002.

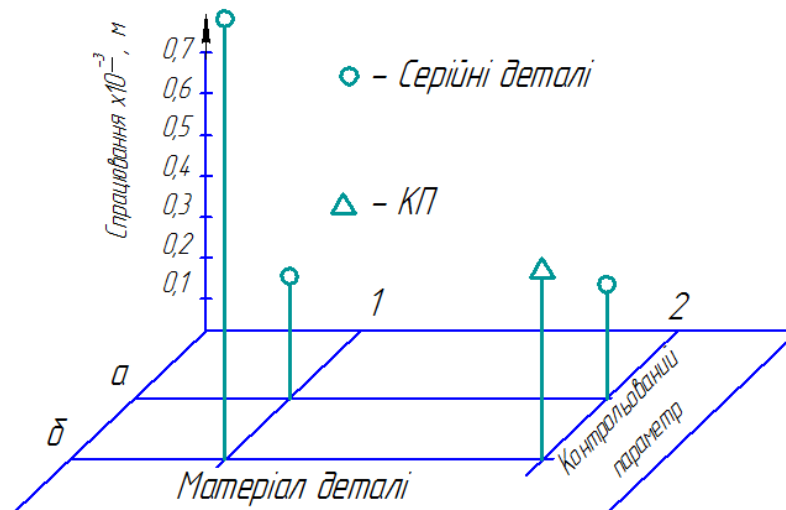


Рис. 3.3. Діаграма спрацювання деталей висівного апарату відповідно до 10- річного терміну експлуатації сівалки СУПН-8: а - внутрішній діаметр підшипника ковзання С45.011,02; б – зовнішній діаметр вала СУПА 00.652.

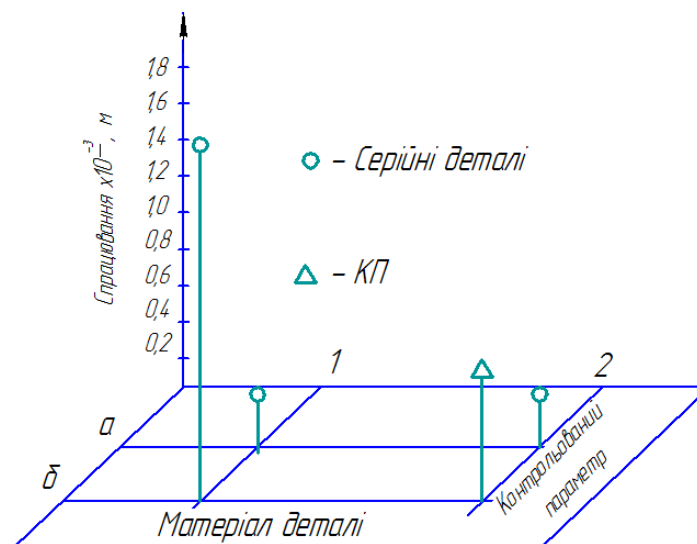


Рис. 3.4. Діаграма спрацювання деталей відповідно до 10-річного терміну експлуатації сівалок ССТ-12Б, СУПН-8: а – внутрішній діаметр підшипника ковзання Н104.01.102 маточини маркера; б – зовнішній діаметр вала СДВ 00.510.

Зносостійкість валів, відновлених КП, вище зносостійкості серійних валів на 168%; спрацювання серійних підшипників ковзання, спряжених з валами, відновленими КП, на 9% нижче у порівнянні з підшипниками, які працюють в парі з серійними валами. Після закінчення досліджень середній

зазор між серійними валами і підшипниками ковзання складав 2,52 мм, між серійними підшипниками ковзання та валами, відновленими КП - 1,16 мм (рис. 3.4).

Основним параметром довговічності деталей є технічний ресурс. Технічний ресурс серійних деталей виявлений у результаті спостережень за процесом експлуатації та реєстрацією відказів елементів машин ресурс відновлених деталей визначений за результатами стендових випробувань (рис. 3.5).

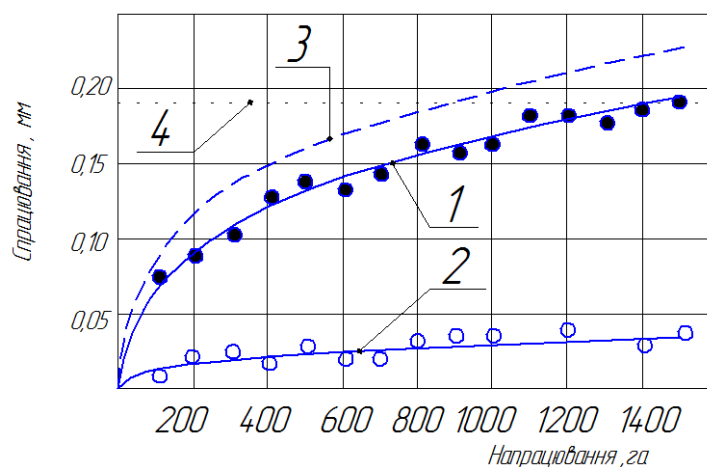


Рис. 3.5. Динаміка зношування спряження зміцненого вала механізму передач на туковисівні апарати з втулками підшипників ковзання: 1 – спрацювання вала ССГ 00.606; 2 – спрацювання втулок ССГ 00.003; 3 – зміна зазору у з'єднанні; 4 – граничне спрацювання вала ССГ 00.606.

Результати проведених стендових випробувань підтвердили справедливість результатів лабораторних досліджень, згідно з якими використання плакованої кераміки сприяє підвищенню щільності та експлуатаційних властивостей досліджуваних КП, а також доцільність проведення подальших польових випробувань відновлених деталей машин з метою визначення експлуатаційних властивостей композиційних кераміко-металевих покриттів у реальних умовах.

Метою експлуатаційних досліджень було визначення ефективності застосування композиційних кераміко-металевих покриттів у вузлах машин з

урахуванням усіх внутрішніх і зовнішніх факторів, що супроводжують процес експлуатації, а також встановлення експлуатаційної надійності, довговічності та працездатності відновлених деталей вузлів посівних машин.

Експлуатаційні випробування проходили деталі висівних апаратів посівних машин СЗ-3,6, ССТ-12Б, СУПН-8 і дисковий маркер сівалок для висіву просапних культур. Встановлення експериментальних деталей, порядок проведення технічних експертиз і обробка результатів випробувань проводились, як і при проведенні стендових випробувань відповідних деталей.

Експлуатаційні випробування деталей проводились на восьми зернових сівалках СЗ-3,6 у господарствах Житомирського району. Результати проведення технічних експертиз відповідають середньому 4-річному напрацюванню сівалок 1000 га. Спрацювання деталей, відновлених нанесенням КП, менше спрацювання серійних деталей - у 2,7...2,9 рази (рис. 3.6). Спрацювання внутрішніх діаметрів втулок, що працюють у парі з валами, відновленими КП, більше у порівнянні з роботою серійної пари у 1,02... 1,03 рази. Зазор у з'єднанні зменшується у 1,9.

Польові дослідження відновлених деталей висівних апаратів бурячних сівалок виконувалися на 15 машинах ССТ-12Б у господарствах Житомирського району.

На час експертизи сівалки виробили у середньому по 880 га, що відповідає 4-річній їх експлуатації. Спрацювання валів, відновлених КП, менше спрацювання серійних валів - у 2,7.. .2,8 рази. Підшипники ковзання, що працюють з валами, відновленими КП, мають більше спрацювання, ніж ті, що працюють з серійними валами, у 1,03...1,04 рази. Зазор у з'єднанні відповідно зменшився у 1,8 рази та у 1,1 разу (рис. 3.7).

Експлуатаційні дослідження деталей посівних машин для висіву просапних культур здійснювались на 6 сівалках СУПН-8 у господарствах Житомирського району. Мікрометраж пар тертя виконувався після 4-річного напрацювання сівалками 750 га. Спрацювання відновлених валів у 3,1...3,2 разу

менше, ніж серійних. Спрацювання підшипників ковзання, що працюють у парі з валами, відновленими КП, більші у порівнянні з підшипниками, спряженими з серійними валами, у 1,1... 1,2 разу. При цьому зазор зменшується у 2 рази (рис. 3.8).

Паралельно з дослідженнями зношування деталей висівних апаратів експертизі підлягали і пари тертя дискового маркера після 4-річної експлуатації сівалок. У результаті замірів та обробки інформації встановлено, що спрацювання валів, відновлених КП, у 2,7...2,8 разу менше спрацювання серійних валів. Спрацювання підшипників ковзання, що працюють з валами, відновленими КП, більші у порівнянні з підшипниками, спряженими з серійними валами, у 1,1 разу. Зазор у парі тертя “вал, відновлений КП - підшипник кочення” менше у порівнянні з серійними деталями - у 2,2 разу (рис. 3.9).

Отримані результати вказують на явні переваги відновлення валів посівних машин композиційними покриттями, що містять карбід хрому, плакований нікелем. Такі вали мають високу зносостійкість, при цьому вони практично не впливають на величину спрацювання (різниця незначуща) спряжених з ними підшипників ковзання. Якщо за десятирічний термін експлуатації вали підлягають заміні кілька разів, то відновлення їх запропонованою технологією створить можливість безвідказної роботи деталей до списання сівалки у металобрухт. На це вказують значення зазорів у спряженнях за вибраний термін експлуатації посівних машин.

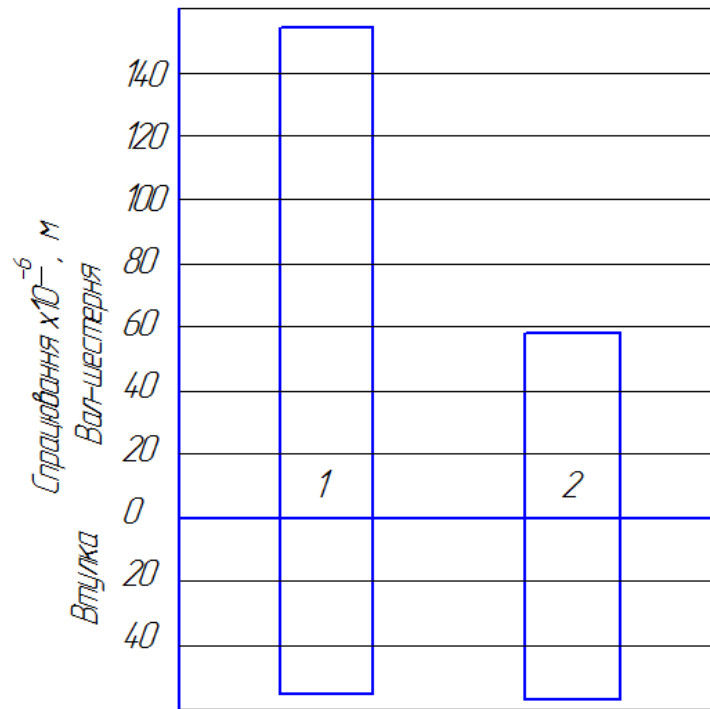


Рис. 3.6. Діаграма спрацювання спряжених поверхонь вала-шестерні ССГ00.601 та підшипника ковзання Н125.04.004 висівного апарату, що відповідає напрацюванню 800 га сівалки ССТ-12Б:1 – серійні деталі; 2 – вал-шестерня, відновлена КП, втулка – серійна.

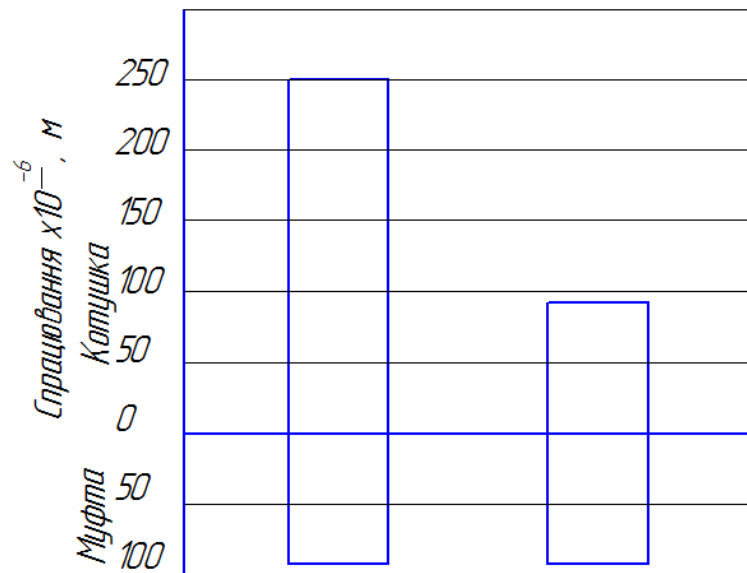


Рис. 3.7. Діаграма спрацювання спряжених поверхонь хвостовика котушки Н108.05.002 та муфти Н108.01.001 висівного апарату, що відповідає напрацюванню 1000га сівалки СЗ-3,6: 1 – серійні деталі; 2 – котушка, відновлена КП, муфта – серійна.

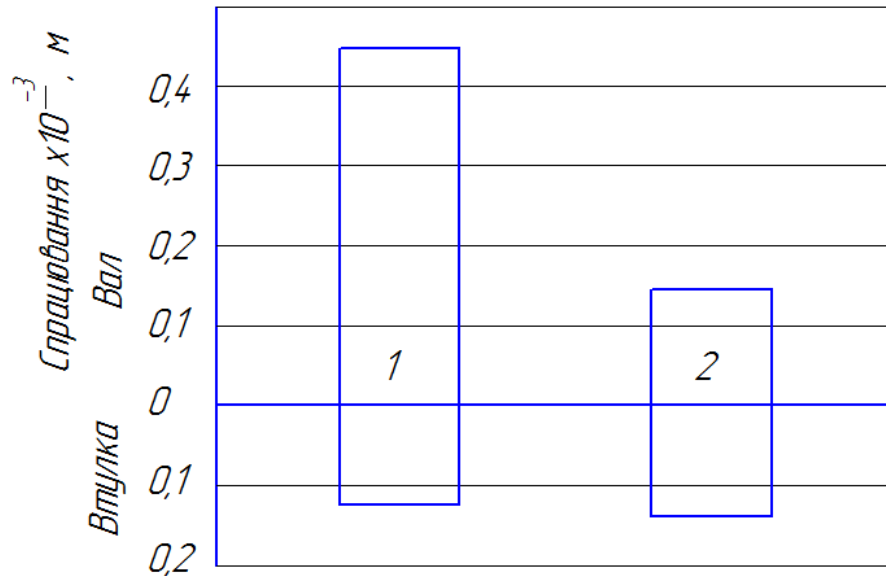


Рис. 3.8. Діаграма спрацювання спряжених поверхонь вала СУПА 00.652 та підшипника ковзання С45.011.02 висівного апарату, що відповідає напрацюванню 750 га сівалки СУПН-8: 1 – серійні деталі; 2 – вал, відновлений КП, втулка - серійна.

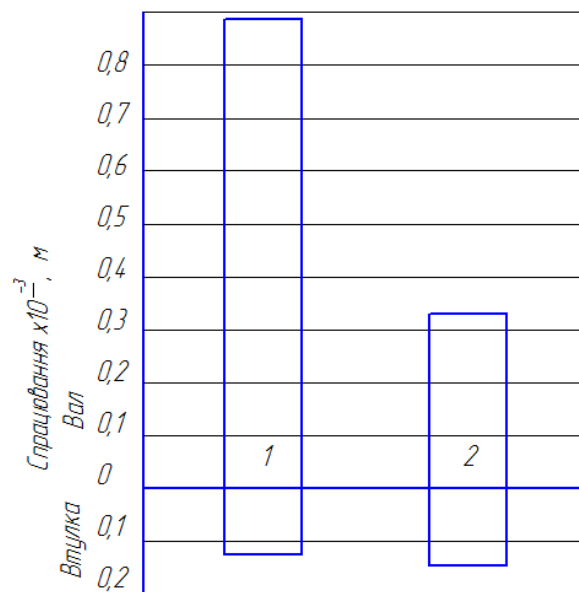


Рис. 3.9. Діаграма спрацювання спряжених поверхонь вала СДВ 00.510 та підшипника ковзання НІ04.01.102 маркера, що відповідає 4-річній експлуатації сівалки ССТ-12Б або СУПН-8: 1 – серійні деталі; 2 – вал, відновлений КП, втулка – серійна.



## ВИСНОВКИ

Експериментальні деталі відновлювались на оптимальних режимах, значення яких встановлено у результаті аналізу робіт інших авторів. Величина зварювального струму складала 8 кА, тиск на електродах – 0,21 МПа, час імпульсу струму – 0,08 с, а тривалість паузи 0,04 с. Для наварювання використовувався композиційний дріт такого складу: оболонка – сталь 08 кп; осердя – 40% карбїду хрому, плакованого нікелем, решта – порошок ПЖ-5.

Результати проведених стендових випробувань підтвердили справедливість попередніх результатів досліджень, згідно з якими використання плакованої кераміки сприяє підвищенню щільності та експлуатаційних властивостей досліджуваних композиційних покриттів

Отримані в роботі результати вказують на явні переваги відновлення валів посівних машин композиційними покриттями, що містять карбїд хрому, плакований нікелем. Такі вали мають високу зносостійкість, при цьому вони практично не впливають на величину спрацювання (різниця незначуща) спряжених з ними підшипників ковзання.

Проведені експлуатаційні польові випробування відновлених деталей сільськогосподарських машин показують, що композиційні кераміко-металеві покриття добре працюють в умовах абразивного зношування без мащення або з недостатнім мащенням.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ

1. Власенко Н. В., Черновол М. И., Чабанный В. Я., Мороз В. Е. Восстановление изношенных деталей тонкослойными покрытиями. Киев : Вища школа, 1988. 63 с.
2. Гаркунов Д. Н. Триботехника. Москва : Машиностроение, 1989 328 с.
3. Григорьева В. В., Клименко В. Н. Сплавы на основі каріду хрому. Київ : АН УССР, 1961. 57 с.
4. Добровольский А. Г., Кошеленко П. И. Абразивная износостойкость материалов. Киев : Техника, 1989. 128 с.
5. Дорожкин Н. Н., Абрамович Т. М., Жоркин В. И. Получение покрытий методом припекания. Минск : Наука и техника, 1980 176 с.
6. Ермолов Л.С. Повышение надежности сельскохозяйственной техники. Москва : Колос, 1979. 255 с.
7. Исследование надежности и приспособленности сеялок для посева зерновых и пропашных культур в хозяйственных условиях УССР. Отчет по научно- исследовательской работе. Кировоград: КИСМ, 1985 87 с.
8. Кряжков В. М. Надежность и качество сельскохозяйственной техники. Москва : Агропромиздат, 1989 –335 с.
9. Сівалка універсальна пневматична “УПС-6” модернізована. Протокол державних типових випробувань № 03-06-12-4. Херсон, 2012. 43 с.
10. Наливкин В. А Надежность и долговечность наплавленных коленчатых валов автотракторных двигателей. *Автоматическая сварка*. 1967 №3 С. 48-51.
11. Сільськогосподарські машини. Частина 3. Посівні машини / за ред. М.В. Бакума. Харків, 2005. 332 с
12. Надійність сільськогосподарської техніки / за ред. В. Ю. Черкуна. Київ : Урожай, 1998. 208 с.

13. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения. Справочник / Под ред. И.М. Федорченко. Київ : Наукова думка, 1985 – 745с.

14. Пресняков В.А. Особенности электроконтактной наплавки порошковых материалов в металлической оболочке / *Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции. Состояние и перспективы развития электротехнологии.* Иваново, 1987. С. 36-37.

15. Селиванов А. И. Теоретические основы ремонта машин Москва : ГОСНИТИ, 1968. 207 с.

16. Матухно Н. В. Передумови вдосконалення механізмів приводу висівних апаратів посівних машин. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК.* Київ , 2016. Вип. 166, ч. 2. С. 267–272.

17. Сеялки зерновые СЗ-3,6, СЗУ-3,6, СЗЛ-3,6, СЗТ-3,6, СЗП-3,6, СЗА-3,6. Руководство по ремонту. Москва : ГОСНИТИ, 1987 15 с.

18. Сеялки кукурузные и овощные СУПН-8 (СУПН-6), СО-4,2. Руководство по ремонту. Москва: ГОСНИТИ, 1987 22 с.