

**ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОГО ВІДНОВЛЕННЯ І ОДНОЧАСНО
ЗМІЦНЕННЯ ПОСАДКОВИХ МІСЦЬ ПІД ПІДШИПНИКИ КОЧЕННЯ МАШИН
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ**

Саржанов Б.О.

Сумський національний аграрний університет

(м. Суми, Україна)

Email: arhimag0@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9796-9499

В роботі представлені результати досліджень різних методів відновлення посадочних місць під підшипники кочення (ПК). Проведений аналіз дозволив з усіх розглянутих методів виділити, як найбільш перспективні, метод електроіскрового легування (ЕІЛ) і нанесення металополімерних матеріалів (МПМ). Комбінація зазначених технологій (ЕІЛ + нанесення МПМ), дозволила рекомендувати до практичного застосування гаму технологічних процесів, які дозволяють менш енерговитратними і екологічно безпечними технологіями відновлювати посадочні місця під ПК.

З метою визначення найбільш перспективної і екологічно безпечної технології відновлення і зміцнення посадкових поверхонь під ПК проводилися відносні порівняльні випробування на машині тертя СМЦ-2 за схемою диск - плоский зразок, який служив контртілом. Як контртіло використовувався прямокутний зразок з твердого сплаву ВК8 з шорсткістю робочої поверхні $R_a = 1,6$ мкм.

В результаті досліджень зносостійкості покриттів зразків зі сталі 12Х18Н10Т встановлено, що відносний знос зразків без покриття, відповідно, в 6,3; 4,7; 2,6 і 2,5 рази вище, ніж у зразків з покриттями, сформованими в послідовності: цементация методом ЕІЛ (ЦЕІЛ) → ЕІЛ АІ → ЕІЛ Т15К6 → нанесення МПМ; ЕІЛТ15К6 → нанесення МПМ, армованого твердим сплавом ВК6; ЕІЛТ15К6 → нанесення МПМ, армованого дротом і ЕІЛТ15К6 → нанесення МПМ.

Ключові слова: підшипник, посадочне місце, знос, відновлення, електроіскрове легування, нанесення металополімерного матеріалу, комбінована технологія.

Вступ

Сільське господарство України є досить перспективною галуззю та одним із лідерів експорту продукції рослинництва та тваринництва на світових ринках. Окрім того, сільське господарство є основною рушійною силою для розвитку економіки країни та забезпечення добробуту населення. Але, на жаль, за останні кілька років ця галузь АПК почала занепадати, а її розвиток призупиняється через недостатню та неефективну державну підтримку [1].

Згідно [2] метою стратегії розвитку тваринництва є забезпечення стабільного нарощування виробництва продукції для потреб внутрішнього ринку, зокрема, для забезпечення фізіологічних норм харчування населення, збільшення експорту продукції, виробництва органічних добрив та підвищення ефективності галузі. Досягнення цієї мети передбачається за рахунок здійснення системних заходів, в числі яких є впровадження інтенсивних технологій утримання худоби із застосуванням новітніх засобів комплексної механізації та автоматизації виробничих процесів на фермах та комплексах, впровадження у виробництво досягнень науково-технічного прогресу.

У тваринницьких комплексах з великим поголів'ям свиней, великої рогатої худоби і птиці постійно існує проблема забезпечення необхідного технічного стану машин і обладнання, задіяних в технологічному циклі з переробки гною. Довговічність сільськогосподарської техніки в значній мірі визначається інтенсивністю зношування її окремих деталей.

Досвід експлуатації машин, задіяних в технологічному циклі з переробки гною, свідчить, що 80 - 90% деталей виходить з ладу через знос їх контактуючих поверхонь. Одним з елементів, що знижують показники надійності машин, є підшипники кочення (ПК) [3]. Проблема довговічності посадочних поверхонь валів під ПК і пошук оптимальних способів підвищення їх надійності залишається як і раніше актуальним завданням [4].

Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Серед широкої номенклатури поверхонь деталей машин, що виготовляються та відновлюються значна частина припадає на посадочні місця валів під ПК. Існуючі технології виготовлення, а тим

більше відновлення не в повній мірі забезпечують необхідні фізико-механічні властивості посадочних поверхонь валів під ПК. Проблеми підвищення якості ПК вирішуються, як правило, підвищенням їх міцності [5-7].

Основними способами відновлення посадочних поверхонь валів під ПК є: зварювання, наплавлення, напилення, установка додаткової деталі, заміна частини деталі, застосування полімерних матеріалів [8-13].

При тривалій експлуатації машин зношування деталей супроводжується зниженням експлуатаційних показників. Знос робочих поверхонь деталей нерідко вимагає їх повної заміни, що підвищує собівартість продукції. Найважливішими завданнями ремонтно-обслуговуючого виробництва є підтримка працездатності, відновлення ресурсу машин і устаткування, забезпечення їх високої надійності і можливості ефективного використання.

Не менш важливим завданням є максимально можливе підтримання екологічної рівноваги екосистеми «підприємство - природне середовище», забезпечення її природних взаємозв'язків і зниження шкідливих факторів.

Для вирішення цих завдань передбачається поліпшення якості ремонту за рахунок впровадження сучасних екологічно безпечних технологій зміцнення і відновлення деталей, ресурс яких повинен бути значно вище, завдяки використанню ефективних способів досягнення необхідних властивостей їх відновлених поверхонь.

Важливим напрямком екологізації промислового виробництва в нашій країні є екологічна модернізація виробництва шляхом переходу на ресурсозберігаючі та маловідходні технології. Під ресурсозберігаючою технологією в даному випадку розуміється такий технологічний процес, який відрізняється від традиційних технологій значно меншою витратою сировини та енергії. Для маловідходних технологій головним є перехід на замкнуті технологічні цикли, які в певній мірі відтворюють природні, що дозволяє отримати мінімум твердих, рідких, газоподібних і теплових відходів та викидів [14].

До традиційних методів відновлення зношених поверхонь деталей відносяться: гальванічне виробництво, плазмове і полум'яне напилення, наплавлення, зварювання та ін.

З усіх стічних вод підприємств машинобудування в якості найбільш екологічно небезпечних визначаються стічні води гальванічних цехів [15-17].

До недоліків плазмового напилення слід віднести: невисокі значення коефіцієнта використання енергії; наявність пористості та інших видів несучільностей (2-15%); невисока адгезійна і когезійна міцність покриття; високий рівень шуму при веденні процесу (60-120дБ) [18, 19].

Згідно [20] газозварювальне обладнання є вибухонебезпечним і вимагає суворого дотримання заходів безпеки. Для проведення зварювальних робіт на підприємствах застосовується MIG / MAG зварювання. Застосування цієї технології супроводжується рядом екологічних проблем: утворення фотохімічних реакцій в повітрі, біологічно активних речовин і аерозолів неокислених металів.

При виконанні наплавлення (зварювання плавленням) на працюючих можуть впливати небезпечні і шкідливі виробничі фактори, до яких відносяться: підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони; підвищений рівень ультрафіолетової і інфрачервоної радіації; підвищена температура повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; недостатня освітленість робочої зони; небезпека ураження електричним струмом; іскри, бризки, викид розплавленого металу і шлаку. У зону дихання працюючих можуть надходити зварювальні аерозолі, що містять у складі твердої фази оксиди різних матеріалів, та інші сполуки, а також токсичні гази [21-22].

Слід зазначити, що одним з основних недоліків описаних вище технологій є їх негативний вплив на навколишнє середовище.

В останні роки, для підвищення якості поверхневих шарів деталей машин, все більшої значущості набуває метод електроіскрового легування (ЕІЛ) - процес перенесення матеріалу на поверхню виробу іскровим електричним розрядом [23]. Його специфічними особливостями, які залучають технологів, є: екологічна та техногенна безпека, локальність дії, мала витрата енергії, відсутність об'ємного нагріву матеріалу, міцне з'єднання нанесеного матеріалу з основою, простота автоматизації, можливість поєднання операцій. Використовуючи різні електродні матеріали методом ЕІЛ можна проводити процеси, альтернативні ХТО, але зі значно меншими витратами. Так, використовуючи графітовий електрод і насичуючи поверхню деталі вуглецем можна здійснювати процес цементації, ЕІЛ алюмінієвим електродом - процес алітування і ін. [24,25].

Однією з характерних особливостей методу ЕІЛ є обмеження в товщині формованого поверхневого шару.

Згідно [26], дослідження вчених і фахівців в ближньому і далекому зарубіжжі спрямовані переважно на створення нових електродних матеріалів для ЕІЛ, вивчення структури і властивостей покриттів [27-30].

Вирішенню проблеми підвищення товщини покриття і якості його поверхні присвячені роботи, в яких технологія ЕІЛ поєднується з іншою технологією, наприклад, поверхневої пластичної деформацією (ГПД) [31], нанесенням металополімерних матеріалів (МПМ) [32] та ін.

При виборі технологічного способу відновлення велике значення має величина максимального зносу, при якій деталь стає непридатною до експлуатації. У загальному випадку 85% деталей машин стають непридатними при зносі, що не перевищує $(0,2 \div 0,3) 10^{-3}$ м [33].

Серед розглянутих вище методів зміцнення та відновлення деталей на особливу увагу заслуговують ЕІЛ і нанесення МПМ, які екологічно безпечні і останнім часом все частіше використовуються, як при виготовленні нових виробів, так і в ремонтному виробництві.

Слід зазначити, що зі збільшенням режиму ЕІЛ (енергії розряду), як правило, знижується якість формованого покриття: зменшується суцільність, збільшується нерівномірність і шорсткість нанесеного шару, зростає кількість наскрізних пор і т.п.

Для підвищення якості відновлюваного поверхневого шару, нами запропоновано новий спосіб, при якому покриття наносять поетапно. На першому етапі наносять шар, використовуючи режими, які забезпечують найбільшу суцільність і товщину покриття, потім, тим же електродом виконують ЕІЛ з такою енергією розряду і відповідної їй продуктивністю, при якій формують поверхню з шорсткістю приблизно в 2-4 рази вище, ніж на попередньому етапі. В цьому випадку відбувається викид металу катода (деталі) в місцях прикладання імпульсів, тобто розпоршення найбільш виступаючих частин поверхні і на їх місці утворюються западини новоутвореного покриття, глибина яких знаходиться на рівні поверхні попереднього покриття. В результаті, відбувається мінімальне підвищення рівня шорсткості поверхні [34].

Для апробації запропонованого способу, на зразки, зі сталі 20 і 12X18H10T при різних режимах енергії розряду методом ЕІЛ наносили покриття електродами з твердого сплаву Т15К6 і нержавіючої сталі 12X18H10T. При цьому виготовляли три серії зразків:

1 серія - покриття проводили в один етап: на один зразок наносили покриття на одному режимі;

2 серія - покриття наносили в два етапи: перший при режимі, що забезпечує найбільшу суцільність і товщину покриття і другий на більш грубому, з шорсткістю в 2-4 рази більше ніж на попередньому;

3 серія - покриття наносили в два етапи, в послідовності протилежної серії 2.

Результати досліджень зведені в табл. 1.

Таблиця 1 - Залежність параметрів якості покриттів з твердого сплаву Т15К6 і сталі 12X18H10T, нанесених на сталь 20 і сталь 12X18H10T

Енергія розряду, W_p	Продуктивність, $см^2/хв$	Товщина шару, мм	Шорсткість, Rz, мкм	Суцільність, %
Сталь 20				
Твердий сплав Т15К6				
0,55	2,5	0,12	21	100
0,90	3,4	0,19	65	85
0,55 + 0,90	1-й етап 2,5 2-й етап 3,4	0,20	37	100
0,90 + 0,55	1-й етап 3,4 2-й етап 2,5	0,14	54	90
Сталь 12X18H10T				
0,35	1,7	0,08	11	95
0,55	2,5	0,14	31	80
0,35 + 0,55	1-й етап 1,7 2-й етап 2,5	0,12	17	100
0,55 + 0,35	1-й етап 2,5 2-й етап 1,7	0,8	34	80
Сталь 12X18H10T				

Твердий сплав Т15К6				
0,55	2,5	0,14	23	100
0,90	3,4	0,21	65	85
0,55 + 0,90	1-й етап 2,5 2-й етап 3,4	0,22	37	100
0,90 + 0,55	1-й етап 3,4 2-й етап 2,5	0,15	54	90
Сталь 12Х18Н10Т				
0,35	1,7	0,09	13	95
0,55	2,5	0,15	31	80
0,35 + 0,55	1-й етап 1,7 2-й етап 2,5	0,22	17	100
0,55 + 0,35	1-й етап 2,5 2-й етап 1,7	0,11	34	80

* - покриття наносили згідно 1-ї серії; ** - покриття наносили згідно 2-ї серії; *** покриття наносили згідно 3-ї серії.

Аналіз табл. 1 показав, що відновлення сталевих деталей методом ЕІЛ, з використанням електродів з твердого сплаву Т15К6 і нержавіючої сталі 12Х18Н10Т, найбільш доцільно проводити в два етапи, згідно запропонованого способу.

Результати проведених досліджень можуть бути застосовані в технологіях відновлення вузлів підшипників кочення (посадочних місць для внутрішніх і зовнішніх поверхонь підшипників кочення).

Резервом збільшення товщини покриття при відновленні зношених поверхонь деталі може бути інтегрована технологія, що складається з ЕІЛ і подальшого нанесення МПМ [35]. Переваги інтегрованої технології ЕІЛ + МПМ в достатній мірі очевидні. В даному випадку окремо взяті технології не знижують переваги один одного, а доповнюють їх і усувають недоліки, властиві кожній технології окремо.

Незважаючи на незаперечні переваги, інтегрована технологія ЕІЛ + МПМ має і недоліки. Це, перш за все:

- зниження твердості і міцності сформованого поверхневого шару, що складається тільки з МПМ, який знаходиться вище покриття, нанесеного методом ЕІЛ;
- металополімерні матеріали добре працюють на стиск і значно гірше на зміщення, що негативно впливає на їх застосування для відновлення поверхонь тертя.

Основне застосування інтегрованої технології ЕІЛ + МПМ це відновлення поверхонь деталей в нероз'ємних з'єднаннях (посадочних місць під підшипники, напівмуфти і ін.).

З метою усунення вище зазначених недоліків інтегрованої технології відновлення деталей, виконуваної в послідовності ЕІЛ → МПМ, запропоновано новий спосіб [36]. Він включає нанесення на зношену поверхню деталі покриття методом ЕІЛ. Потім, на отриману поверхню наносять шар МПМ, який перед полімеризацією армують шаром, дроту. При цьому забезпечують таку товщину нанесеного МПМ, при якій рівень занурення дроту в МПМ відповідає половині діаметра дроту. Після цього, не чекаючи застигання МПМ, нанесеного до занурення в нього дроту, продовжують наносити, шар МПМ до тих пір, поки повністю не покриють шар армуючого дроту. Дріт навивають з кроком не менше 1,0 - 1,5 мм.

В даному випадку на зношену поверхню деталі 1 (рис. 1, а) методом ЕІЛ наноситься шар 3 покриття з будь-якого твердого зносостійкого металу (хром, нікель і ін.). При цьому між нанесеним металом і деталлю утворюється перехідний шар 2, що представляє собою взаємне дифузійне проникнення елементів анода і катода. Покриття можна наносити, варіюючи енергію розряду в діапазоні 0,036 - 6,8 Дж. З ростом енергії розряду збільшується товщина покриття і шорсткість поверхні. При цьому товщина шару може змінюватися, в залежності від характеру взаємодії анода і катода. Установки з ручним вібратором, типу «Елітрон 52-А» і механізовані установки з багатоелектродними головками моделі «ЕІЛ-9» забезпечують, відповідно, 0,01 - 0,25 мм і 0,05 - 2,0 мм, а висота мікронерівностей (Rz) при цьому змінюється, відповідно, від 8,5 до 155,8 мкм і від 20 до 200 мкм. Після цього на ЕІЛ поверхню наноситься МПМ 4.

Металополімерний шар ретельно втирається лопаткою або шпателем в поверхню відновлюваної деталі. Попадання при такому втиранні полімерного матеріалу в западини і мікронерівності відновлюваної деталі з одного боку забезпечує поліпшення адгезії, а з іншого - виключає ймовірність утворення осередків корозії в цих западинах, не заповнених МПМ. Керуючись основною концепцією застосування МПМ, що полягає в тому, що його робочий шар не повинен бути менше 1-1,5 мм крок навивки (t) 5 дроту на шийку шнека складатиме:

$$t = d + 1 - 1,5 \text{ мм},$$

(1)

де d - діаметр дроту.

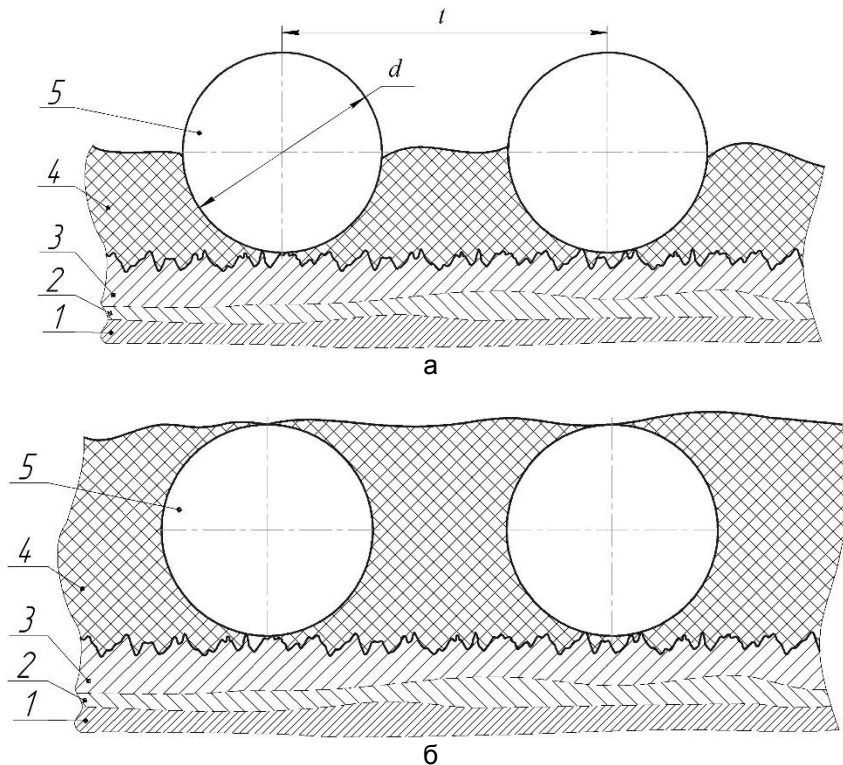


Рис. 1. Відновлення зношених поверхонь тіл обертання комбінованою технологією ЕІЛ + МПМ (армування дротом)

Після навивки дроту необхідно продовжити нанесення МПМ до тих пір, поки шар МПМ не закриє його повністю (рис. 1, б).

В даному випадку, для відновлення зношених поверхонь можна використовувати дріт з: хрому, нікелю, сталі 12Х18Н10Т і ін.

Затверділий металополімерний матеріал можна обробляти будь-яким з відомих способів, включаючи шліфування або обробку лезовим інструментом.

При відновленні твердої зносостійкої зношеної поверхні деталей тіл обертання нанесений шар МПМ, перед полімеризацією армують пружиною (рис. 2), виконаної з дроту, виготовленого з твердого зносостійкого матеріалу, наприклад, сталі 65Г, 9ХВ2С, берилієвої бронзи БрБ2, що пройшла термообробку.

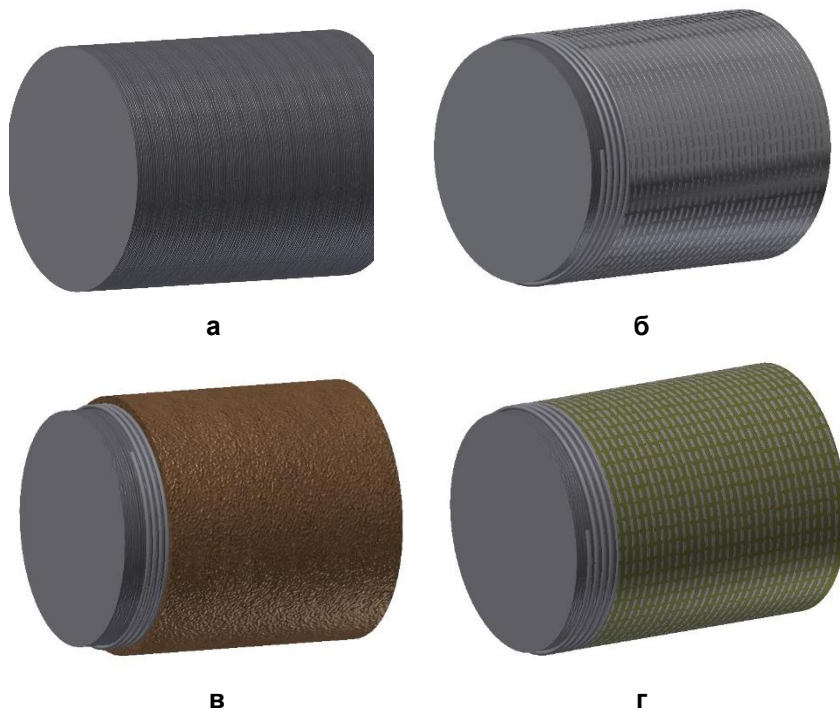


Рис. 2. Відновлення твердих зношених поверхонь тіл обертання: а - зношена поверхня, б - нанесення шару МПМ і надівання з натягом пружини; в - нанесення МПМ до повного покриття пружини, г - обробка будь-яким відомим способом (шліфування, обробка лезовим інструментом і т.п.)

Резервом підвищення якості відновлюваних поверхонь можуть бути багатшарові і комбіновані електроіскрові покриття (КЕІП).

На підставі проведених досліджень, встановлено закономірності формування багатшарових покриттів при ЕІЛ в умовах чергування легуючих електродів (графіт, алюміній і твердий сплав Т15К6) для послідовного нанесення на підкладку зі сталі 12Х18Н10Т.

Запропоновано новий спосіб [37] захисту сталевих деталей від зносу шляхом формування методом ЕІЛ на їх поверхнях покриттів з тугоплавких зносостійких металів, перед нанесенням яких проводиться ЦЕІЛ і ЕІЛ алюмінієм.

Покриття, сформовані в послідовності ЦЕІЛ > ЕІЛ Al > ЕІЛ Т15К6, забезпечують отримання максимальної мікротвердості поверхневого шару (більше 11500 МПа), мають найбільшу зону підвищеної твердості (320-360 мкм) і найменшу шорсткість поверхні (7,5 мкм). ЕІЛ за описаною технологією дозволяє збільшити дифузну зону вуглецю і алюмінію, підвищити твердість і товщину зміцненого шару.

Таким чином, **метою роботи є** вдосконалення технології реставрації посадочних поверхонь під ПК шляхом розробки нових екологічно безпечних способів відновлення їх комбінованим методом ЕІЛ і МПМ, що дозволить підвищити якість відновленої поверхні і збільшити міжремонтний ресурс машини.

Методика досліджень

З метою визначення найбільш перспективної і екологічно безпечної технології відновлення і зміцнення посадкових поверхонь під ПК проводилися відносні порівняльні випробування на машині тертя СМЦ-2 (рис. 3, а) за схемою диск - плоский зразок (рис. 3, б), який служив контртілом. Як контртіло використовувався прямокутний зразок з твердого сплаву ВК8 з шорсткістю робочої поверхні $R_a = 1,6$ мкм.

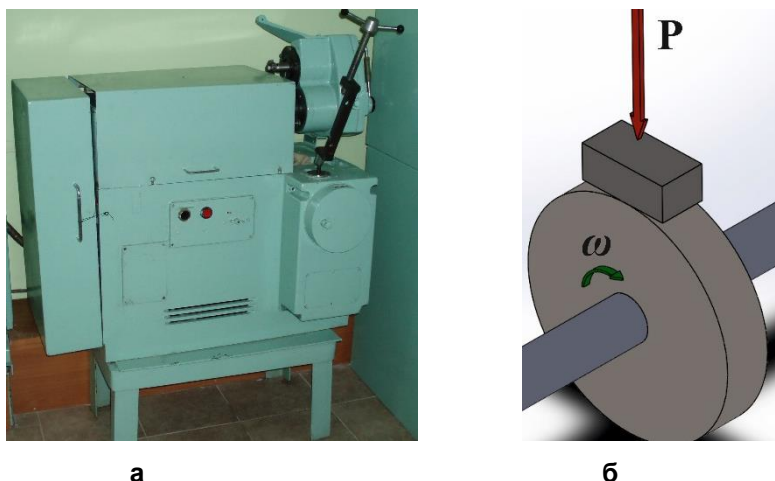


Рис. 3. Машина тертя СМЦ-2 (а); б - схема випробувань зносостійкості зразків з різними покриттями

Випробування проводилися в умовах, коли нижня частина круглого зразка зі сталі 12Х18Н10Т перебувала у ванні з індустріальним маслом І40А. Швидкість ковзання становила 0,78 м/с, питомий тиск - 10 МПа, навантаження на контртіло - 100 Н, тривалість випробувань - 8 год, що відповідає шляху тертя 22,5 км. За допомогою реле часу регулювалися як час випробування, так і реверс обертання шпинделя зі зразком, при цьому напрямок обертання змінювалося кожні 3 хв.

Покриття наносилися на поверхню круглого зразка - диска $\varnothing 50 \times \varnothing 10 \times 10$ мм. Зразки встановлювалися на машину тертя з приробітком протягом 1 год та питомим навантаженням 2,0 МПа. Приробіток вважався закінченим, якщо частка поверхні приробітку становила не менше 95% від номінальної.

Зразки для визначення інтегрального зносу всієї поверхні перед випробуванням зважували на аналітичних вагах ВЛА-200 з точністю до 0,0001г. Інтегральний (ваговий) знос визначався як різниця ваги зразка до і після проведення випробувань.

Випробовувані серії зразків:

- без покриття;
- ЦЕІЛ → ЕІЛ АІ → ЕІЛ Т15К6 → МПМ;
- ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ Дж) → ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,90$ Дж) → МПМ, армований твердим сплавом ВК6;
- ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ Дж) → ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,90$ Дж) → МПМ, армований дротом;
- ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ Дж) → ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,90$ Дж) → МПМ.

Для відновлення посадочних місць під ПК до практичного застосування пропонується кілька, описаних вище інтегрованих технологій, що включають формування методом ЕІЛ покриття з твердих зносостійких металів, наприклад, твердого сплаву Т15К6, і подальшого нанесення МПМ (табл. 2).

Таблиця 2. Основні параметри якості покриттів, сформованих різними технологіями відновлення посадочних поверхонь під ПК

Склад інтегрованих технологій	Товщина зони підвищеної твердості поверхневого шару, мкм	Максимальна мікротвердість зміцненого поверхневого шару, МПа
ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ Дж) → ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,90$ Дж) → МПМ	0,22	5500
ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ Дж) → ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,90$ Дж) → МПМ, армований твердим сплавом ВК6	0,25	9500
ЦЕІЛ → ЕІЛ АІ → ЕІЛ Т15К6 → МПМ	0,35	11500
ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,55$ Дж) → ЕІЛТ15К6 ($W_p = 0,90$ Дж) →	1,5	5500

МПМ, армований дротом

Заключною операцією всіх інтегрованих технологій було нанесення на оброблену методом ЕІЛ поверхню з шорсткістю $Rz = 37$ мкм, як неармованого МПМ, так і армованого (порошком твердого сплаву ВК6 або витками дроту).

У разі нанесення неармованого МПМ роль армування виконували виступи шорсткості поверхневого шару, сформованого нанесенням на відновлювану поверхню методом ЕІЛ покриття з використанням електроду з твердого сплаву Т15К6. В даному випадку МПМ заповнював всі западини, пори і інші недосконалості покриття, сформованого методом ЕІЛ і, таким чином, підвищував якість поверхневого шару (шорсткість, суцільність, нерівномірність і ін.). При подальшій механічній обробці нанесеного МПМ (проточці, шліфовці і ін.) До вершин виступів шорсткості електроіскрового покриття, товщина відновленого шару становить $\sim 0,2$ мм на сторону і, відповідно $\sim 0,4$ мм на діаметр, що як правило, цілком достатньо для відновлення під ПК.

Більшої якості відновленого шару можна досягти застосуванням армування МПМ порошком твердого сплаву, наприклад, ВК6. У цьому випадку товщина відновленого шару становить $\sim 0,25$ мм на сторону і, відповідно $\sim 0,5$ мм на діаметр, а мікротвердість на поверхні сягає 9500 МПа.

У разі більшого зносу, що відбувається не часто, можна скористатися іншими інтегрованими технологіями, представленими в табл. 2.

Слід зазначити, що суцільність у всіх покриттів, сформованих за технологіями (табл. 2) становить 100%, а шорсткість після проточки або шліфування МПМ знаходиться в межах $Ra = 0,8-1,2$ мкм.

Результати досліджень

Результати випробувань занесені в табл. 3.

Таблиця 3. Результати відносної зносостійкості зразків зі сталі 12Х18Н10Т з різними покриттями

Послідовність нанесення покриттів	Товщина покриття, мкм	Максимальна мікротвердість поверхневого шару, МПа	Ваговий знос $\times 10^3$, кг
ЭИЛТ15К6 ($Wp = 0,55$ Дж) → ЭИЛТ15К6 ($Wp = 0,90$ Дж) → МПМ	0,22	5500	0,126
ЭИЛТ15К6 ($Wp = 0,55$ Дж) → ЭИЛТ15К6 ($Wp = 0,90$ Дж) → МПМ, армований твердим сплавом ВК6	0,25	9500	0,066
ЦЭИЛ → ЭИЛ АІ → ЭИЛ Т15К6 → МПМ	0,35	11500	0,049
ЭИЛТ15К6 ($Wp = 0,55$ Дж) → ЭИЛТ15К6 ($Wp = 0,90$ Дж) → МПМ, армований дротом	1,50	6000	0,118
Без покриття	-	1700	0,311

Наведені дані свідчать про те, що найбільший знос у зразків зі сталі 12Х18Н10Т без покриття, а найменший з покриттям, сформованому за інтегрованої технології в послідовності: ЦЕІЛ → ЕІЛ АІ → ЕІЛ Т15К6 → МПМ.

Таким чином, в результаті проведених досліджень встановлено, що відносний знос зразків зі сталі 12Х18Н10Т без покриття, відповідно, в 6,3; 4,7; 2,6 і 2,5 рази вище, ніж у зразків з покриттями, сформованими в послідовності: ЦЕІЛ → ЕІЛ АІ → ЕІЛ Т15К6 → МПМ; ЕІЛТ15К6 ($Wp = 0,55$ Дж) → ЕІЛТ15К6 ($Wp = 0,90$ Дж) → МПМ, армований твердим сплавом ВК6; ЕІЛТ15К6 ($Wp = 0,55$ Дж) → ЕІЛТ15К6 ($Wp = 0,90$ Дж) → МПМ, армований дротом і ЕІЛТ15К6 ($Wp = 0,55$ Дж) → ЕІЛТ15К6 ($Wp = 0,90$ Дж) → МПМ.

Висновки:

1. Розроблено гаму технологічних процесів екологічно безпечного відновлення і одночасного зміцнення посадкових місць під ПК, що дозволяє в залежності від величини зносу, застосовувати різні технології:

- до 0,22 мм - ЕІЛТ15К6 → МПМ;
- до 0,25 мм - ЕІЛТ15К6 → МПМ, армований твердим сплавом ВК6;
- до 0,35 мм - ЦЕІЛ → ЕІЛ АІ → ЕІЛ Т15К6 → МПМ;
- до 1,5 мм - ЕІЛТ15К6 → МПМ, армований дротом.

2. В результаті досліджень відносної зносостійкості покриттів зразків зі сталі 12Х18Н10Т встановлено, що відносний знос зразків без покриття, відповідно, в 6,3; 4,7; 2,6 і 2,5 рази вище, ніж у

зразків з покриттями, сформованими в послідовності: ЦЕІЛ → ЕІЛ АІ → ЕІЛ Т15К6 → МПМ; ЕІЛТ15К6 → МПМ, армований твердим сплавом ВК6; ЕІЛТ15К6 → МПМ, армований дротом і ЕІЛТ15К6 → МПМ.

Література:

1. Бурачек І.В., Михайленко Н.В. Сучасний стан та перспективні напрями розвитку сільського господарства в Україні // Глобальні та національні проблеми економіки. Випуск 21. 2018. С.134-137.
2. Стратегічні напрями розвитку сільського господарства України на період до 2020 року /за ред. Ю.О. Лупенка, В.Я. Месель-Веселяка. – К. : ННЦ "ІАЕ", 2012. – 182 с.
3. Криштанов Е. А. Повышение ресурса подшипниковых узлов сельскохозяйственных машин применением геомодификатора. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук Санкт Петербург -Пушкин, 2007.- 18 с.
4. Ракин Я.Ф. Эксплуатация подшипниковых узлов машин. М.: Росагропромиздат, 1990. 191 с.
5. Tarel'nik, V.B., Paustovskii, A.V., Tkachenko, Y.G. et al. Surf. Engin. Appl.Electrochem. (2018) 54: 147. <https://doi.org/10.3103/S106837551802014X>
6. V. Tarelynyk and V. Martsynkovskyy, "Upgrading of Pump and Compressor Rotor Shafts Using Combined Technology of Electroerosive Alloying", Applied Mechanics and Materials, Vol. 630, pp. 397-412, 2014. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.630.397>
7. Tarel'nik, V.B., Martsinkovskii, V.S. & Yurko, V.I. Chem Petrol Eng (2015) 51: 328. <https://doi.org/10.1007/s10556-015-0047-7>
8. Ерохин М.Н., Манаенков А.П. Восстановление фреттинг-изношенных поверхностей подшипниковых узлов композиционными покрытиями // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1995. № 10. С. 28.
9. Курчаткин В.В. Восстановление посадочных мест подшипников полимерами. М.: Высшая школа, 1983. 80 с.
10. Величко Г.В., Долматов В.Н., Хохряков В.Н., Кагнер Ю.В. Восстановление посадочных мест под подшипники // Техника в сельском хозяйстве. 1978. № 1. С. 78.
11. Дажин В., Шапоренко С. Восстановление посадочных мест газопламенной обработкой // Техника в сельском хозяйстве. 1972. № 2. С. 77.
12. Гаджиев А.А. Технологическое обеспечение долговечности подшипниковых узлов машин применением полимерных материалов: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.03. М.: МГАУ имени В.П. Горячкина, 2006. 36 с.
13. Кононенко А.С., Кузнецов И.А. Восстановление посадочных мест под подшипники качения в корпусных деталях машин полимерными нанокompозитами // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 124. № 2. С. 81-85.
14. Игнатъева М.Н., Мочалова Л.А. Экологизация промышленного производства: направления инструментарий / Экономика региона №1/2008. С. 154 – 166.
15. Колесников В.А. Ильин В.И. Экономические основы природоохранных мероприятий в гальваническом производстве // Экология промышленного производства. 2005. Вып 3. С. 5-6
16. Соложенкин П.М. Теоретические основы и практические аспекты гальванохимической очистки сточных вод // Вода и экология. 2008. № 1. С. 12-32.
17. Большаков Н.Ю. Ващенко В.В. Минимизация вторичных загрязнений при обработке осадков сточных вод // Вода и экология. Проблемы и решения. 2011. № 1. С. 27-32.
18. Борисов Ю.С., Петров С.В. Использование сверхзвуковых струй в технологии газотермического напыления // Автоматическая сварка. 1995. №1. С. 41-44.
19. <http://weldzone.info/technology/gas-sputtering/811-plazmennoe-napylenie>
20. Ключкова Е.А. Охрана труда на железнодорожном транспорте: Учебник для техникумов и колледжей ж.-д. трансп. — М.: Маршрут, 2004. — 412 с.
21. Разработка схемы технологического процесса для восстановления деталей машин сваркой: учеб.-метод. пособие / сост. В.В. Ельцов. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2013. – 95 с.
22. Елманов В.И., Терновая Г.Г. Охрана атмосферного воздуха.-М.: юрид.лит., 1984.-112с.
23. Михайлов В.В., Гитлевич А.Е., Верхотуров А.Д., Михайлюк А.И., Беляков А.В., Коневцов Л.А., Электронная обработка материалов, 2013, 49(5), 21–44.
24. Tarel'nik, V.B., Paustovskii, A.V., Tkachenko, Y.G. et al. Surf. Engin. Appl.Electrochem. (2018) 54: 147. <https://doi.org/10.3103/S106837551802014X>
25. Kirik, G.V., Gaponova, O.P., Tarelynyk, V.B. et al. Powder Metall Met Ceram (2018) 56: 688. <https://doi.org/10.1007/s11106-018-9944-6>

26. Величко С.А., Сенин П.В., Иванов В.И., Чумаков П.В. Формирование толстослойных электроискровых покрытий для восстановления изношенных деталей силовых гидроцилиндров // Электронная обработка материалов, 2016, 52(5), С.13–20.

27. Подчерняева И. А., Панасюк А. Д., Затуловский С. С. и др. Структурообразование и массоперенос износостойких покрытий при электроискровом легировании Al-Si сплавов композиционной керамикой LaB₆-ZrB₂ // Сверхтвёрдые материалы. – 2003. – № 6. – С. 50–59.

28. Верхотуров А.Д., Подчерняева И.А., Панашенко В.М., Коневцов Л.А. Электроискровое легирование титана и его сплавов металлами и композиционными материалами. Под ред. А.А. Буренина. Комсомольск-на-Амуре: ИМиМ ДВО РАН, 2014. 320 с.

29. Verbitchi V., Ciuca S., Sojocararu R. *Nonconventional Technologies Review*. 2011, (1), 62–67.

30. Коротаев Д.Н. Технологические возможности формирования износостойких наноструктур электроискровым легированием. Омск : СибАДИ, 2009. 255 с.

31. V. Tarellyk et al., "New Method of Friction Assemblies Reliability and Endurance Improvement", *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 630, pp. 388-396, 2014. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.630.388>

32. Tarellyk V., Martsynkovskyy V., Sarzhanov A., Pavlov A., et al. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*. 2017, 233, 012050. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/233/1/012050>.

33. Канарчук В.Е., Чигринец А.Д., Голяк О.Л., Восстановление автомобильных деталей. Технология и оборудование. М.: Транспорт.1995 г. 303 с.

34. Спосіб підвищення якості відновлених покриттів металевих деталей методом електроерозійного легування: пат. 138052 Україна. МПК В23Р 6/00 /Саржанов Б.О.; опубл. 11.11.2019, Бюл. №21

35. Спосіб відновлення зношених поверхонь металевих деталей (варіанти): Пат. 104664. Україна. МПК В23Н 5/00 /Марцинковський В.С., Тарельник В.Б., Павлов О.Г., Іщенко А.О.; Опубл. 25.02.2014, Бюл. № 4.-3 с.

36. Спосіб відновлення зношених поверхонь металевих деталей (варіанти): Пат. 117980. Україна. МПК В23Н 1/00 / Тарельник В.Б., Марцинковський В.С., Павлов О.Г., Саржанов Б.О.; Опубл. 25.10.2018, Бюл. № 20.

37. Спосіб підвищення зносостійкості сталевих деталей: Пат. 136895. Україна. МПК В23Н 9/00 / Тарельник В.Б., Марцинковський В.С., Гапонова О.П., Коноплянченко Є.В., Тарельник Н.В., Саржанов О.А. Саржанов Б.О., Антошевський Б.(PL); Опубл. 10.09.2019, Бюл. № 17.

Анотация

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ОДНОВРЕМЕННО УКРЕПЛЕНИЕ ПОСАДОЧНОГО МЕСТА ПОД ПОДШИПНИК КАЧЕНИЯ МАШИН СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Саржанов Б.А.

В работе представлены результаты исследований различных методов восстановления посадочных мест под подшипники качения (ПК). Проведенный анализ позволил из всех рассмотренных методов выделить, как наиболее перспективные, метод электроискрового легирования (ЭИЛ) и нанесения металлополимерных материалов (МПМ). Комбинация указанных технологий (ЭИЛ + нанесения МПМ), позволила рекомендовать к практическому применению гамму технологических процессов, позволяющих менее энергозатратными и экологически безопасными технологиями восстанавливать посадочные места под ПК.

С целью определения наиболее перспективной и экологически безопасной технологии восстановления и укрепления посадочных поверхностей под ПК проводились относительные сравнительные испытания на машине трения СМЦ-2 по схеме диск - плоский образец, который служил контртела. Как контртело использовался прямоугольный образец из твердого сплава ВК8 с шероховатостью рабочей поверхности $R_a = 1,6$ мкм.

В результате исследований износостойкости покрытий образцов из стали 12Х18Н10Т установлено, что относительный износ образцов без покрытия, соответственно, в 6,3; 4,7; 2,6 и 2,5 раза выше, чем у образцов с покрытиями, сформированными в последовательности: цементация методом ЭИЛ (ЦЕИЛ) → ЭИЛ Al → ЭИЛ Т15К6 → нанесения МПМ; ЕИЛТ15К6 → нанесения МПМ, армированного твердым сплавом ВК6; ЕИЛТ15К6 → нанесения МПМ, армированного проволокой и ЕИЛТ15К6 → нанесения МПМ.

Ключевые слова: подшипник, посадочное место, износ, восстановление, Электроискровое легирования, нанесения металлополимерного материала, комбинированная технология.

Annotation

ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES OF ENVIRONMENTALLY SAFE RESTORATION AND SIMULTANEOUS STRENGTHENING OF SEATING BEARING FOR AGRICULTURAL MACHINES

B.O. Sarzhanov

The paper presents the results of studies of various methods of restoring seats for rolling bearings (RB). The analysis made it possible to single out, as the most promising, the method of electrospark alloying (ESA) and deposition of metal-polymer materials (MPM) from all the considered methods. The combination of these technologies (ESA + application of MPM) made it possible to recommend for practical application a range of technological processes that allow using less energy-consuming and environmentally friendly technologies to restore RB seats.

In order to determine the most promising and environmentally friendly technology for restoring and strengthening the seating surfaces for the RB, comparative comparative tests were carried out on an SMTs-2 friction machine according to the disk-flat sample scheme, which served as a counterbody. A rectangular specimen made of VK8 hard alloy with a working surface roughness $R_a = 1.6 \mu\text{m}$ was used as a counterbody.

As a result of studies of the wear resistance of coatings of samples made of steel 12Kh18N10T, it was found that the relative wear of uncoated specimens was 6.3; 4.7; 2.6 and 2.5 times higher than for specimens with coatings formed in the sequence: cementation by the ESA method (CEIL) → ESA Al → ESA T15K6 → MPM application; EILT15K6 → application of MMM reinforced with VK6 hard alloy; EILT15K6 → wire-reinforced MPM and EILT15K6 → MMM application.

Key words: bearing, seat, wear, restoration, Electrospark alloying, application of metal-polymer material, combined technology.