

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

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

МІНЯЙЛО ІГОР ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 621.6.03:620.193

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ
ГІДРОРОЗПОДІЛЬНИКІВ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ**

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

_____ Мінняйло І.В.

Керівник роботи

Борак К.В.

доктор технічних наук, професор

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Міняйло Ігор Васильович. Підвищення довговічності гідророзподільників сільськогосподарської техніки. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

В магістерській роботі проведено аналіз технологій відновлення деталей золотникової пари показав, що для корпусу гідророзподільника найбільш перспективним є спосіб відновлення зношених поясків алмазним хонінгуванням, а для золотника – нанесення наноконпозиційного електролітичного покриття на основі заліза. Використання зазначеного покриття дає змогу усунути більшість недоліків існуючих способів відновлення. Порівняльні трибологічні випробування зразків пар тертя показали, що сумарний знос за масою пари тертя з наноконпозиційним електролітичним покриттям у 1,6–1,7 раза менший, ніж у пари тертя з класичним електролітичним покриттям, і в 1,3–1,4 раза менший, ніж у пари тертя без покриття. Експлуатаційні випробування показали, що величина витоків у гідророзподільників, золотникові пари яких були відновлені наноконпозиційним електролітичним покриттям, у 1,75 раза менша, ніж у гідророзподільників, золотникові пари яких відновлені за існуючою технологією, і у 1,2 раза менша, ніж у серійних. На підставі результатів експлуатаційних випробувань шляхом прогнозування залишкового ресурсу агрегатів було встановлено, що ресурс гідророзподільників із золотниковими парами, відновленими за запропонованою технологією, у 1,55 раза більший, ніж у гідророзподільників, золотникові пари яких відновлені за існуючою технологією, і у 1,2 раза більший, ніж у серійних гідророзподільників.

Ключові слова: гідророзподільник, наноконпозиційне електролітичне покриття, ресурс, золотникова пара.

ANNOTATION

Minyailo Igor Vasilyevich. Increasing the durability of hydraulic distributors in agricultural machinery. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering.
– Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

The master's thesis analyzed technologies for restoring spool valve parts and showed that the most promising method for restoring worn hydraulic distributor bodies is diamond honing, while for spools, it is applying an iron-based nanocomposite electrolytic coating. The use of this coating eliminates most of the disadvantages of existing restoration methods. Comparative tribological tests of friction pair samples showed that the total wear by mass of the friction pair with a nanocomposite electrolytic coating is 1.6–1.7 times less than that of the friction pair with a classic electrolytic coating and 1.3–1.4 times less than that of the friction pair without coating. Operational tests showed that the leakage rate in hydraulic distributors whose spool pairs were restored with a nanocomposite electrolytic coating is 1.75 times lower than in hydraulic distributors whose spool pairs were restored using existing technology, and 1.2 times lower than in serial ones. Based on the results of operational tests by predicting the residual life of the units, it was established that the life of hydraulic distributors with spool pairs restored using the proposed technology is 1.55 times greater than that of hydraulic distributors whose spool pairs were restored using existing technology, and 1.2 times greater than that of serial hydraulic distributors.

Keywords: hydraulic distributor, nanocomposite electrolytic coating, service life, spool pair.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	9
1.1. Характер, величина зносу і механізм зношування золотникової пари гідророзподільника.....	9
1.2. Аналіз способів відновлення працездатності золотникових пар гідророзподільників.....	13
1.3. Залізнення, модифіковане дисперсними частинками, як спосіб відновлення золотникових пар.....	19
РОЗДІЛ 2. МЕХАНІЗМ УТВОРЕННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ ПОКРИТТІВ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	25
2.1 Механізм утворення композиційних електролітичних покриттів.....	25
2.2. Методика отримання наноконпозиційних покриттів на основі заліза.....	30
2.3 Методика прискорених порівняльних трибологічних випробувань.....	38
2.4. Методика стендових випробувань.....	41
2.5. Методика експлуатаційних випробувань.....	45
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	47
3.1 Результати дослідження впливу нанорозмірних твердих частинок на мікротвердість електролітичного покриття заліза.....	47
3.2 Результати прискорених порівняльних трибологічних випробувань.....	49
3.3. Результати стендових випробувань.....	51
3.4. Результати експлуатаційних випробувань.....	52
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	56

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. В даний час більше 70% всіх сільськогосподарських робіт виконують тракторами та іншими сільськогосподарськими машинами, оснащеними гідравлічними системами, за допомогою яких забезпечуються підйом, опускання і привід робочих органів причіпного, напівпричіпного і навісного обладнання, а також сільськогосподарських знарядь. Вихід з ладу гідравлічної системи призводить до простою техніки, порушення агрономічних термінів обробки ґрунту або висіву, що є причиною значних економічних витрат. Ефективна робота сільськогосподарських тракторів значною мірою визначається технічним станом їх гідравлічної системи, на частку якої припадає до 24% основних несправностей і відмов. При цьому в самій гідравлічній системі найменш надійним є гідророзподільник, кількість відмов на який досягає 32%. Найбільш інтенсивно в процесі експлуатації гідророзподільників зношуються золотникові пари. Високий ступінь зносу зазначеного з'єднання обумовлений знакозмінними навантаженнями, високим тиском гідравлічної рідини, наявністю в ній абразивних частинок, конструктивними особливостями з'єднання, корозійною активністю поверхневих шарів деталей та іншими факторами.

Висока вартість гідророзподільників і часті їх відмови через знос золотникових пар визначають необхідність відновлення даного з'єднання, що в свою чергу забезпечить економічну ефективність експлуатації тракторів. Існуючі технології відновлення деталей золотникових пар гідророзподільників мають істотні недоліки, їх застосування обмежене необхідністю використання складного і дорогого обладнання або вони не забезпечують необхідного ресурсу сполучення. Найбільш перспективними є способи відновлення, що забезпечують ресурс деталей на рівні нових, передбачають автоматизацію процесів, зводять до мінімуму подальшу механічну обробку, протікають при низьких температурах. До таких способів в першу чергу відносяться електролітичні.

При відновленні золотникових пар гідророзподільників електролітичними способами виділяють залізнення і хромування, при цьому для деталей із зносом, що перевищує 0,1 мм, кращим є електролітичне залізнення як більш продуктивний і економічний спосіб, що дозволяє отримувати покриття товщиною до 1,5 мм з вихідною мікротвердістю до 495 HV. Однак при всіх перевагах спосіб відновлення золотникових пар із застосуванням електролітичного залізнення має значний недолік, що обмежує його застосування – ресурс відновлених даним способом деталей не досягає 80% від ресурсу нових, що призводить до підвищення собівартості внаслідок частих відмов сполучення. Причиною недостатнього ресурсу є невисока мікротвердість, зносо- і корозійна стійкість одержуваних покриттів. Для усунення цих недоліків останнім часом стали успішно розвивати технологію осадження нанокмпозиційних електролітичних покриттів. Метод заснований на модифікації існуючих електролітичних покриттів частинками карбідів, оксидів, боридів, сульфідів, полімерів тощо, що мають розміри від 10^{-5} мм і дозволяють значно змінювати фізико-механічні властивості таких покриттів.

У зв'язку з вищевикладеним пропонується вдосконалити існуючу технологію відновлення золотникових пар гідророзподільників модифікацією електролітичного залізнення нанорозмірними частинками і дослідити її.

Дана магістерська робота спрямована на дослідження процесу нанесення та визначення основних фізико-механічних властивостей нанокмпозиційних електролітичних покриттів на основі заліза з метою удосконалення існуючої технології відновлення золотникових пар гідророзподільників.

Мета роботи – збільшення міжремонтного ресурсу гідророзподільників шляхом застосування наноматеріалів під час відновлення золотників електролітичним залізненням.

У зв'язку з поставленою метою визначено завдання досліджень:

- на основі літературних даних визначити вид і ступінь зношування золотникових пар гідророзподільників сільськогосподарських тракторів та способи відновлення їх працездатності;

- провести лабораторні дослідження фізико-механічних властивостей нанокompозиційного електролітичного покриття на основі заліза та розробити технологічний процес відновлення золотникових пар гідророзподільників запропонованим способом;

- провести порівняльні стендові та експлуатаційні випробування гідророзподільників.

Об'єкт досліджень – золотник гідророзподільника, нанокompозиційне електролітичне покриття на основі заліза.

Предмет досліджень – процес зміни властивостей нанокompозиційного електролітичного покриття під впливом нанорозмірних частинок.

Методи наукового дослідження. Методологія досліджень побудована на основних принципах електролізу та гідравліки, умові адекватності дослідницьких підходів і засобів, які дають змогу отримати достовірні знання про об'єкт та його фізико-механічні властивості. Основні методи досліджень – емпіричні (спостереження, порівняння, підрахунок, вимірювання), експериментально-теоретичні, методи планування експериментів, статистичні методи обробки даних, аналіз, синтез і узагальнення отриманих результатів.

Перелік **публікацій** за темою роботи:

1. Дерев'янка Д.А., Ковальчук М.В., **Міняйло І.В.** Аналіз способів відновлення та зміцнення золотникових пар гідророзподільників. Міжнародній науково-практичній конференції до Дня автомобіліста та дорожника “Сучасне автомобілебудування, транспорт і дорожня інфраструктура ‘2025” (MAITRI 2025). Харків, 30-31 жовтня 2025 року. С.

2. Савченко В.М., Міняйло І.В. Аналіз способів відновлення працездатності золотникових пар гідророзподільників. Збірник тез доповідей XXVI Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської

механіки" (17–19 жовтня 2025 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. С.

3. Мінняло І.В. Методи підвищення зносостійкості гідророзподільників сільськогосподарської техніки. Студентські читання–2025: матеріали науково-практичної конференції науково- педагогічних працівників та здобувачів вищої освіти факультету інженерії та енергетики. 30 жовтня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 36-39.

Практичне значення одержаних результатів. Ресурс гідророзподільників із золотниковими парами, відновленими за запропонованою технологією, у 1,55 рази більший ніж у гідророзподільників, золотникові пари яких відновлені за існуючою технологією і у 1,2 рази більший, ніж у серійних гідророзподільників..

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 14 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 61 сторінка комп'ютерного тексту, містить 29 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1. Характер, величина зносу і механізм зношування золотникової пари гідророзподільника

Експлуатація гідросистем сільськогосподарських тракторів неминує відбуватися в умовах підвищеної запиленості навколишнього повітря [4]. Тверді частинки забруднень, потрапляючи в зазори прецизійних з'єднань, викликають зношування сполучених деталей, а також через появу підвищених сил тертя вони заклинюють деталі розподільної та регулюючої апаратури [1]. Надійна робота гідросистем сільськогосподарських тракторів багато в чому залежить від якості робочої рідини [1]. До параметрів гідросистеми, що істотно впливають на зміну фізико-хімічних властивостей робочої рідини, відносять: ступінь аерації і вентиляції бака, температурний і силовий режими роботи гідросистеми. З аерацією і вентиляцією бака пов'язані збільшення припливу і дифузії духу в робочу рідину. Це підсилює його розчинність у робочій рідині і, отже, прискорює окислення рідини і засмічення її частинками пилу, що знаходяться в повітрі. Так, за даними [4], при оранці за 7-годинний робочий день в бак гідросистеми трактора третього класу може надійти об'єм повітря, що містить від 0,2 до 3,4 г/м³ пилу.

Характер, величина зносу і механізм зношування золотникової пари гідророзподільника Р160. В роботі [6] встановлено, що при виконанні сільськогосподарських робіт на тракторах з навісними, напівнавісними та причіпними гідрофікованими машинами через сапун в бак гідросистеми сільськогосподарського трактора надходить до 0,3...0,35 м³/год повітря, в 1 м³ якого міститься від 0,16 до 160 г пилу (залежно від умов роботи).

Трактор Т-150, що має напрацювання 600 мото-год, має в гідробаку 5,526 г пилоподібної маси. При різних роботах, що виконуються мобільними машинами,

великий ступінь насичення повітря навколо них пилом. При оранці вона становить $0,05...1,1 \text{ г/м}^3$; при сівбі – $0,2...2,5 \text{ г/м}^3$; культивуванні – $0,9...2,2 \text{ г/м}^3$; при транспортних роботах – до $2,1 \text{ г/м}^3$; при плануванні земель – до $3,15 \text{ г/м}^3$. Основна її частина (62–63 %) – оксид кремнію – найбільш агресивний абразивний компонент, що має твердість у 2–3 рази вищу за твердість багатьох сталей [3].

Середня концентрація забруднення робочої рідини в гідравлічній системі становить 0,071 % за масою [4]. Концентрацію забруднення робочої рідини від 0,06 до 0,08 % мають 31 % гідросистем, від 0,05 до 0,09 % – 57,6 % і від 0,04 до 0,1 % – 78 %. Аналіз частинок забруднювача на дисперсний склад показав, що в основному (близько 95 %) вони мають розмір до 10 мкм, 10...25 мкм (3–5 %), 25...50 мкм (близько 2 %) [1].

Від ступеня зносу золотникової пари гідророзподільника залежать нормальна робота гідророзподільника і трудомісткість відновлення [3, 8]. Основними дефектами золотникової пари є розмірний знос і спотворення геометричної форми: для корпусу – овальність, конусність і бочкоподібність, а для золотників – конусність і сідлоподібність.

У корпусах зношуються робочі пояски отворів під золотники (рис. 1.1) [1]. Отвори корпусів зношуються нерівномірно в поздовжньому і поперечному перерізах. У першому випадку спостерігається ступінчастий знос поясків отворів, а в другому переважає овальна форма. Величина ступеня на окремих поясах досягає 0,01–0,02 мм і більше, а величина некруглості – 0,012–0,019 мм. По довжині і в поперечному перерізі пояски зношуються нерівномірно – від 0,023 до 0,066 мм. Овальність отворів у різних перерізах теж неоднакова і досягає 0,048 мм. Довжина найбільш зношеної частини пояскових отворів збігається з величиною перекриття поясками золотника в положеннях «нейтральне» і «плаваюче». Максимальне значення зносу отворів в корпусі під золотник зазвичай досягає 0,09 мм, проте на їх поверхні бувають подряпини і риски глибиною до 0,12 мм [5].

Золотники зношуються по поверхнях робочих поясків (рис. 1.2), сполучених з отворами корпусу. На зношених поверхнях спостерігаються блискуча і матова зони поясків. З'являються також подряпини вздовж всіх поясків, сліди схоплювання поверхонь. Середнє значення зносу золотників 0,014 мм, максимальне – 0,08 мм.

Виходячи з представлених даних можна скласти схему зносного стану золотникової пари гідророзподільника Р160 (рис. 1.3).

Таким чином, при експлуатації гідророзподільника основними показниками зносу прецизійних пар є зміни діаметрів і геометричних форм поясків золотника і корпусу гідророзподільника.

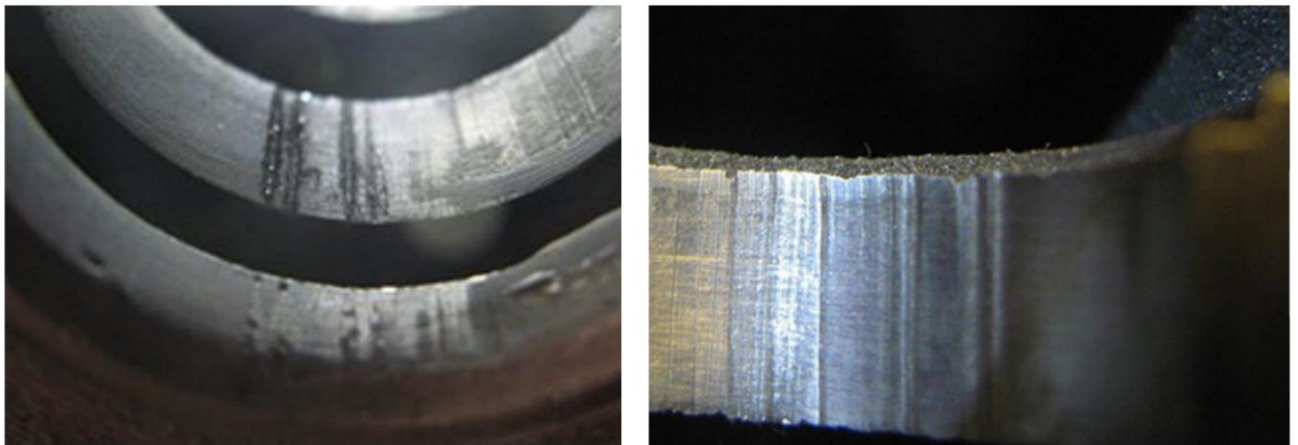


Рис. 1.1. Зношена поверхня робочих поясків отворів корпусу гідророзподільника Р160

Причини порушення геометричної форми деталей золотникових пар визначаються в основному гідроабразивним зносом при вмісті механічних домішок у гідравлічній рідині.

З представлених даних видно, що найбільший сумарний знос, що виникає в золотниковій парі гідророзподільника Р160, може досягати значень 0,2 мм, тому для відновлення її працездатності повинна існувати можливість створення шару покриття на поясах золотників розміром 0,25-0,3 мм (з урахуванням припусків на механічну обробку золотників і корпусу) з високою зносо- і корозійною стійкістю.

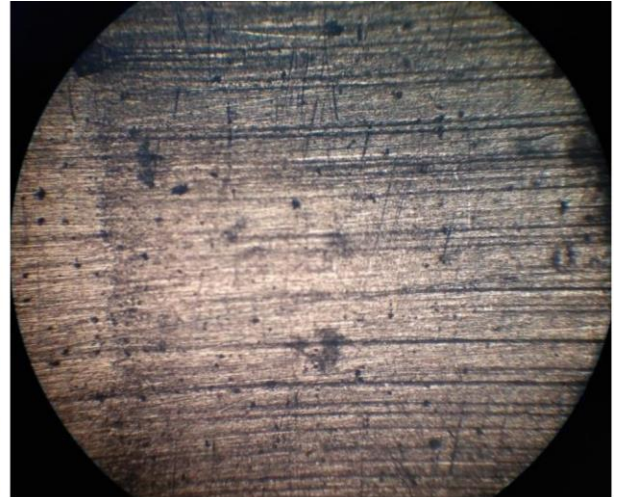


Рис. 1.2. Зношена поверхня робочих пояскових золотника гідророзподільника Р160

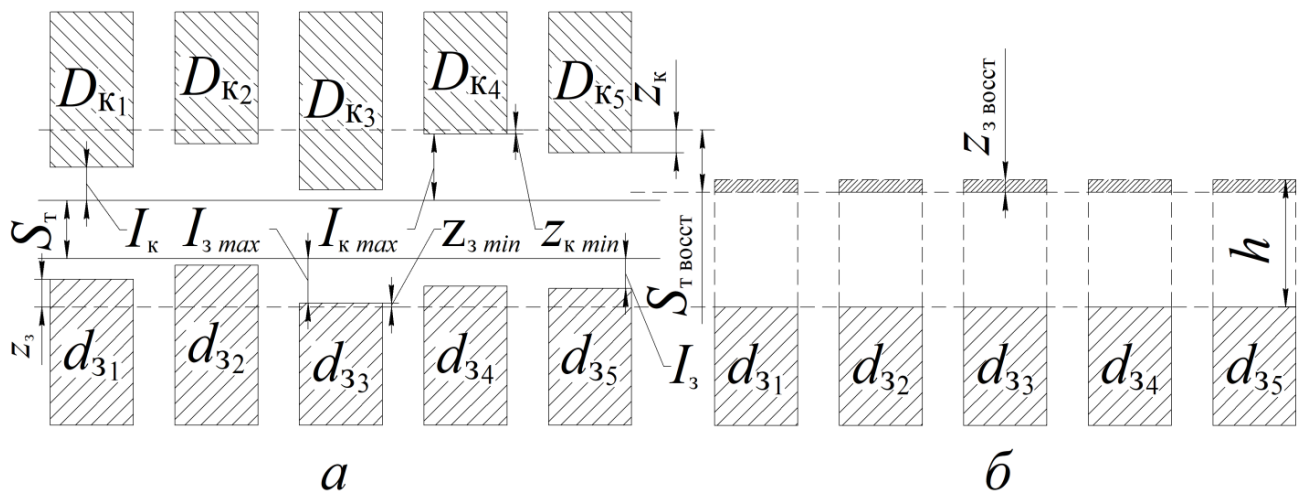


Рис. 1.3. Схема зношеного стану (а) і відновлення (б) золотникової пари гідророзподільника Р160: $D_{K1}...D_{K5}$ – діаметральні розміри поясків корпусу; $d_{31}...d_{35}$ – діаметральні розміри поясків золотника; I_K , I_3 – зношення поясків корпусу та золотника відповідно; $I_{K \max}$, $I_{3 \max}$ – максимальні зношення корпусу та золотника відповідно; S_T – технологічний зазор золотникової пари; $S_{T \text{ ВОССТ}}$ – відновлений технологічний зазор золотникової пари; Z_K , Z_3 – припуски на механічну обробку поясків корпусу і золотника відповідно; $Z_{K \min}$, $Z_{3 \min}$ – мінімальні припуски на механічну обробку найбільш зношеного пояска корпусу і золотника відповідно; $Z_3 \text{ відновл}$ – припуски на механічну обробку поясків золотника після відновлення; h – товщина нанесеного шару електролітичного покриття; $D_K = 32 + 0,080 \text{ мм}$; $d_3 = 32 - 0,025 \text{ мм}$; $I_{K \max} = 0,12 \text{ мм}$; $I_{3 \max} = 0,08 \text{ мм}$

1.2. Аналіз способів відновлення працездатності золотникових пар гідророзподільників

Гідророзподільники, що надходять у ремонт, підлягають дефектації корпусу. Корпуси з тріщинами бракують, якщо тріщини проходять крізь внутрішні канали. Вибойни на площинах прилягання верхньої та нижньої кришок корпусів не допускаються – їх усувають шліфуванням на плоскошліфувальному верстаті. За відсутності бракувальних ознак основним дефектом, що потребує відновлення, є зношення отворів під золотники [1].

За незначного зношування отворів під золотники корпусів (менше 0,01 мм) їх поділяють на розмірні групи та відновлюють шляхом комплектування з подальшим доведенням спільно із золотником [1].

За значного зношування отворів під золотники корпусу (понад 0,01 мм) їхню геометричну форму відновлюють розточуванням, розгортанням із подальшим доведенням або алмазним хонінгуванням [1].

Доведення отворів корпусів виконують ручними притирами або на вертикально-доводильних верстатах із закріпленням притира в патроні. Спочатку здійснюють притирку пастою із зерном 30 мікрон. Для чистового доведення застосовують пасту із зерном 7 мікрон [1].

Діаметри поясоків відновлених отворів вимірюють пневматичним довгоміром або індикаторним нутроміром і поділяють отвори корпусів під золотники на 18 розмірних груп із кроком 0,004 мм. Відхилення геометричної форми не повинно перевищувати 0,004 мм [1].

Для операції розточування отворів із подальшим доведенням характерним є досить великий розкид діаметрів, які часто виходять за межі регламентованих розмірних груп. Крім того, якщо корсетність, що з'являється після розточування, не має помітного впливу на геометрію отвору, то на заключній операції доведення з'являється бочкоподібність, яка призводить до підвищеного зношування отворів під золотник [1].

Розгортання, у порівнянні з розточуванням, зменшує поле розсіювання розміру в кілька разів. Разом із покращенням геометрії отвору покращується і шорсткість обробленої поверхні, яка становить $Ra=1,15$ мкм. Подальше доведення додатково зменшує цей показник до $Ra=0,15$ мкм, проте збільшує поле розсіювання діаметра у 1,5 раза, при цьому спостерігається погіршення геометрії [1].

Найбільш доцільним під час відновлення геометрії отворів корпусів гідророзподільників є алмазне хонінгування. Воно виконується на вертикально-хонінгувальних верстатах у дві операції: попереднє хонінгування та остаточне хонінгування. Для попереднього хонінгування застосовують бруски з великою зернистістю, а для остаточного – відповідно з дрібною. Припуск на остаточне хонінгування становить 0,005–0,008 мм [1].

У результаті повного циклу хонінгування шорсткість оброблюваної поверхні досягає значень $Ra=0,04$ мкм [2]. Крім того, під час виконання цієї операції відпадає потреба у попередньому виправленні геометрії зношених отворів, що забезпечує суттєве підвищення точності обробки. Діапазон поля розсіювання діаметральних розмірів скорочується у 1,5 раза, а діапазон розсіювання овальності та конусності – у 2 рази порівняно з розгортанням [1].

Таким чином, алмазне хонінгування за результатами більшості досліджень рекомендується як найбільш раціональна операція при відновленні отворів корпусів гідророзподільників під золотники [1].

Золотники гідророзподільника Р160, що надходять у ремонт підлягають дефектації [1].

Золотники з тріщинами, пробоїнами, значними задирками, скручуванням або коробленням бракують. За відсутності бракувальних ознак основним дефектом, що потребує усунення, є зношення поясків золотника [1].

За незначного зношення поясків (менше 0,01 мм) проводять їх шліфування на безцентрово-шліфувальних верстатах до повного усунення зносу, після чого здійснюють доведення та комплектування із відповідними отворами корпусу [1].

У випадках значного зношення робочих поясків (понад 0,01 мм) їх відновлюють нанесенням шару металу методами електроіскрової обробки, газового або дугового наплавлення, напиленням порошків і металів, а також електролітичними способами з подальшим шліфуванням і доведенням [1].

Доведення поділяється на чорнове та чистове. Чорнове доведення виконують пастою із зерном 30 мікрон на притирочних верстатах із чавунними розрізними притирами, на поверхню яких наносять пасту. Чистове доведення проводять аналогічно, але використовують пасту із зерном 7 мікрон [1].

Після чистового доведення золотники розподіляють на розмірні групи з інтервалом 0,004 мм і здійснюють комплектування методом селективного складання з корпусом гідророзподільника. При цьому золотники, що мають розміри поясків менші, ніж передбачено розмірними групами для виготовлення, направляють на відновлення шляхом нанесення шару металу [1].

Електроіскрову обробку виконують електродом із міді або з використанням зварювального дроту СВ08Г2С, з подальшою механічною обробкою, що включає лезову розгортку та доведення на чавунному притирі. Однак головним недоліком цього методу є невисокі фізико-механічні показники отриманого шару і, як наслідок, низький ресурс відновленого з'єднання [1].

Наплавлення виконують із використанням спеціальних наплавних електродів або наплавного дроту. Важливими недоліками наплавлення є низька продуктивність, нестабільна якість наплавленого шару (оскільки процес виконує робітник вручну), складні умови праці та недостатній захист плакувального металу від окиснення [1].

Під час проведення автоматичного дугового наплавлення можна уникнути зазначених вище недоліків, оскільки усувається вплив індивідуальної майстерності працівника. Цей спосіб широко застосовується для відновлення та виготовлення деталей тракторів і машин. Проте суттєвими недоліками, що обмежують його використання, є значне проплавлення та перемішування

основного й плакувального металів, а також складність якісного замикання зварного шва під час наплавлення кільцевих деталей [1].

Останніми роками досить широкого поширення набули методи напилення порошків і металів на відновлювану поверхню. При цьому нанесений шар виявляє специфічні властивості. До числа найбільш перспективних способів належать електродугове, плазмове, газопорошкове та детонаційне напилення [1].

Електродугове напилення не потребує використання складного технологічного обладнання. Необхідний хімічний склад шару можна забезпечити підбором спеціальних дротів. За сили струму 750 А сталеве покриття утворюється зі швидкістю 36 кг/год, що робить цей спосіб досить продуктивним. До недоліків цього методу належать перегрів і окиснення напилюваного матеріалу при низьких швидкостях подачі дроту, слабка адгезія нанесеного шару, висока пористість покриття тощо. Крім того, відбувається вигорання легувальних елементів унаслідок виділення значної кількості теплоти під час горіння дуги. Цей спосіб може бути ефективним при нанесенні покриттів на великі площі масивних деталей [1].

Плазмове напилення, у порівнянні з електродуговим має низку важливих переваг. Регулювання швидкості та температури плазмового струменя шляхом підбору конструкції плазмотрона та режимів напилення розширює діапазон застосовуваних матеріалів. Отримані покриття відзначаються високою щільністю та добрим зчепленням з основою. Проте відносно низька продуктивність, високий рівень шуму, інтенсивне ультрафіолетове випромінювання і складне технологічне обладнання – це недоліки, що обмежують широке використання цього способу [1].

Детонаційне напилення здійснюють за допомогою спеціалізованих гармат, у які послідовно подають вибухову суміш і напилюваний матеріал. Запалення вибухової суміші відбувається за допомогою іскри. Висока швидкість руху та сильний нагрів частинок забезпечують отримання щільного й міцного покриття.

Напилення цим методом можливе лише на виробках, стійких до деформації під дією ударної хвилі, що виникає [1].

Через високий рівень шуму (до 140 дБ) процес напилення проводять у спеціальних камерах із подвійними стінами, а спостереження здійснюють через оглядове вікно. Цей метод є малопродуктивним і за показниками ергономічності практично не застосовується у ремонтному виробництві [1].

Електролітичне покриття на зношені пояски золотників наносять двома способами – залізненням і хромуванням. У зв'язку з тим, що електрохімічний еквівалент заліза становить 1,042 г/л·год, а хрому – 0,324 г/л·год, вихід струму при нанесенні покриття на основі заліза у 5 разів вищий, ніж при хромуванні. Тому як більш продуктивний і економічний метод залізнення є переважним. Під час залізнення можна отримати товщину шару покриття від 0,1 до 1,5 мм із початковою твердістю HV 406–495 одиниць [1].

Останнім часом найбільшого поширення набув метод залізнення у гарячих хлористих електролітах, температура яких досягає 70...90 °С. Цей процес детально описаний у літературі. Водночас процес відновлення зношених деталей методом залізнення має певні недоліки, що обмежують його застосування. До них належать низька мікротвердість та недостатня зносостійкість отриманих покриттів, що призводить до зниження ресурсу відновленого sprzęження. Рекомендовані склади електролітів для залізнення досить повно наведені у науковій літературі [1].

Спосіб відновлення хромуванням, на відміну від залізнення, дає змогу отримувати покриття, які за багатьма показниками, зокрема за зносостійкістю, перевищують серійний золотник. Для нанесення покриття використовують електроліти, основним компонентом яких є хромовий ангідрид. Такі покриття характеризуються високою твердістю – до HV 1000 [1].

Водночас застосування цього способу обмежене через такі причини [1]:

- в осадженому шарі хромового покриття наявні напруження розтягування, величина яких зростає зі збільшенням товщини шару, унаслідок чого виникають труднощі з отриманням якісного покриття завтовшки понад 0,05 мм;

- деталі, відновлені хромовим покриттям, мають погану прирабовуваність, що ускладнює процес селективного складання з подальшою припрацюванням золотника в корпусі гідророзподільника;

- процес хромування є дорогавартісним через високу ціну хромового ангідриду та необхідність використання додаткових очисних споруд для нейтралізації хромовмісних відходів гальванічного виробництва [1].

Отже, процеси залізнення та хромування стосовно відновлення зношених деталей є достатньо простими й дозволяють отримувати якісні покриття з необхідними фізико-механічними властивостями, однак їх застосування обмежується наведеними вище недоліками [1].

У разі відновлення золотникової пари гідророзподільника Р160 особливе значення має товщина отримуваного покриття через значні зношування золотника та корпусу, які можуть досягати 0,2 мм. У зв'язку з цим спосіб хромування не може бути застосований для вирішення поставленого завдання, оскільки товщина покриття, що отримується цим методом, обмежена величиною 0,05–0,06 мм [1].

Останнім часом досить широкого поширення набув спосіб відновлення та зміцнення деталей композиційними електролітичними покриттями (КЕП) на основі заліза. На відміну від класичного електролітичного залізнення, цей метод передбачає внесення у електроліт залізнення дисперсних частинок [1].

Під час модифікації класичного залізнення дисперсними матеріалами покращуються фізико-механічні властивості отриманих покриттів, і головне – у кілька разів підвищуються їхня мікротвердість, зносостійкість, антифрикційні характеристики, термостійкість та корозійна стійкість [1].

Наведене вище дає підстави вважати, що застосування цього способу під час відновлення та зміцнення золотників гідророзподільника Р160 є цілком доцільним.

Отже, можна зробити висновок, що найбільш раціональними способами відновлення золотникової пари гідророзподільника Р160 є:

- для відновлення отворів корпусу під золотники – алмазне хонінгування;
- для відновлення та зміцнення поясків золотника – нанесення композиційного електролітичного покриття на основі заліза [1].

1.3 Залізнення, модифіковане дисперсними частинками, як спосіб відновлення золотникових пар

КЕП – це металеве покриття, що містить включення металевих і неметалевих складових, отримане катодним відновленням металу під дією електричного струму від зовнішнього джерела [6].

Перша робота, присвячена отриманню КЕП, була опублікована ще в 1929 р. У ній описано утворення самозмащувального мідного покриття з кислого електроліту, що містить колоїдні частинки графіту [6]. Утворення покриттів з включеннями неметалевих домішок з електролітів, що містять домішки, описано в 1933 р. [6].

Однак тільки з 1959 р. почалися широкі дослідження КЕП, що проводилися різними великими промисловими компаніями. Хоча деякі КЕП були відомі і раніше, наприклад, нікель-корунд, що застосовується для виготовлення сходів підводних човнів, нікель-карборунд, що використовується для отримання зубних борів, нікель-алмаз для виготовлення абразивних інструментів і т. д. [6].

Включення дисперсних частинок в електролітичні покриття дає можливість поліпшити механічні та антикорозійні властивості таких покриттів,

не змінюючи зовнішньої форми виробів, на які вони наносяться. КЕП поєднують в собі властивості металів (електро- і теплопровідність, пластичність та ін.) і неметалів (жароміцність, хімічна стійкість, висока твердість, змащувальні властивості та ін.) [1].

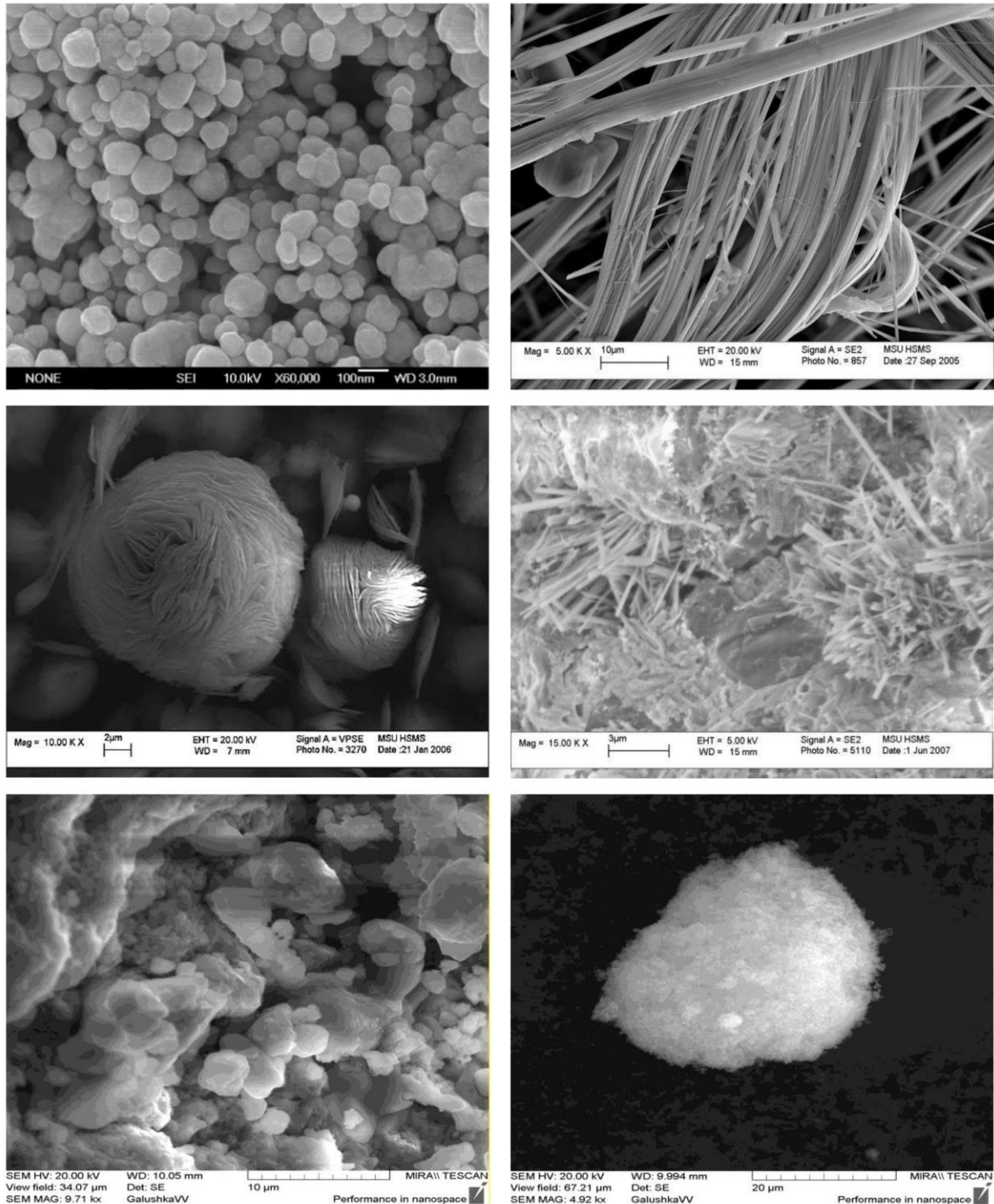


Рис. 1.4. Зовнішній вигляд частинок для модифікації електролітичних покриттів

Переваги таких покриттів:

- вони утворюються безпосередньо на поверхні виробу і мають задану величину;
- матеріали виходять компактними, практично безпористими;
- є можливість регулювання фізико-механічних властивостей одержуваних покриттів видом і кількістю доданих дисперсних матеріалів;
- використовуються економічні електролітичні методи і прийоми.

Ці дуже цінні властивості покриттів створюють передумови для їх широкого використання в різних галузях промисловості, в тому числі в ремонтній галузі.

Важливою перевагою КЕП, порівняно з твердими електролітичними покриттями, є збереження у них підвищених значень твердості в часі, тоді як звичайні покриття з початковою високою твердістю втрачають твердість вже в перші дні після отримання [8].

Зносостійкість КЕП в кілька, а іноді і в десятки разів більше, ніж зносостійкість класичних покриттів. Відомо, що підвищення твердості електролітичних покриттів на 10-20% часто призводить до багаторазового зростання їх зносостійкості [7]. Так, включення карборунду в срібло, а карбідів титану, вольфраму і хрому – в нікель зменшує знос в десятки разів. Однак збільшення твердості іноді супроводжується підвищенням крихкості або внутрішніх напружень покриттів. Найчастіше це відбувається при використанні в якості дисперсної фази органічних добавок [1].

Для різних випадків стирання існує оптимальне значення твердості, при якому спостерігається мінімальний знос покриття. Так, мінімальний знос покриттів золотом або його сплавами різних видів електричних контактів спостерігається при одному з наступних значень твердості: 100, 120, 150 або 160 HV в діапазоні від 60 до 300 HV [5]. Для металургійної сталі мінімальний знос відповідає твердості HV 300. Зазначені особливості в певних межах можуть бути характерними і для КЕП [2].

Порушення структури матриці, що викликається диспергуванням в ній частинок сторонніх речовин, може призвести до підвищення або зниження внутрішніх напружень [6]. При вивченні внутрішніх напружень залізних покриттів, отриманих із суспензій з частинками MoS_2 , виявлено, що вони зменшуються з 110 до 60 МПа, а при наявності в електроліті Al_2O_3 підвищуються з 60 до 240 МПа. Однак при включенні Al_2O_3 збільшується в'язкість покриттів і зменшується оклюзія водню (наводнення). При впровадженні частинок MoS_2 підвищуються крихкість покриттів і їх наводнення [5].

Методом акустичної емісії були досліджені внутрішні напруження в КЕП на основі заліза, нікелю, сплавів Fe-Ni і Fe-Zn, що містять корунд [7].

Принцип методу полягав у зміні інтенсивності пружних хвиль, що виникають при навантаженні зразка з покриттям, що викликають утворення мікротріщин. Як в КЕП, так і в класичних покриттях виникало однакова кількість пружних хвиль, проте наявність в матриці дисперсних частинок призводила до порушення поля напружень дислокацій і тим самим до ослаблення внутрішніх напружень, а також зменшення крихкості покриттів [2].

Залежно від кількості дисперсних частинок, що впроваджуються в електролітичні покриття, змінюється не тільки структура останніх, але і їх наводнення [9]. Кількість включеного в покриття водню визначають вимірюванням його об'єму при вилученні у вакуумі і пропорційно вмісту другої фази. Високотемпературний відпал призводить до максимального виділення водню з покриття, при цьому підвищується їх пластичність і знижується крихкість.

Для отримання КЕП можуть бути використані дисперсні матеріали як природного, так і штучного походження.

Одним з головних завдань створення композиційних покриттів є поліпшення їх фізико-механічних властивостей, можливість формування покриття із заданими параметрами, які будуть задовольняти вирішенню поставленої перед дослідником задачі. Для відновлення і зміцнення золотника

гідророзподільника, що працює в рідкому середовищі з інтенсивним гідроабразивним зносом, вирішальну роль відіграють, перш за все, товщина одержуваного покриття, його зносостійкість і мікротвердість [1].

Існує думка [1], що спільна робота різнорідних матеріалів дає ефект, рівнозначний створенню нового матеріалу, що володіє істотно вищими фізико-механічними властивостями. Саме це послужило підставою того, що КЕП, як перспективні покриття, широко використовуються не тільки в нашій країні, але і за кордоном – в США, Англії, Японії, Франції, Німеччині та інших країнах [3, 5, 5–7, 9, 10].

Висока зносостійкість КЕП на основі заліза в порівнянні з класичним залізуванням пояснюється гетерогенною структурою композиційного покриття (принцип Шарпі), в якій поєднуються властивості основи з електролітичного заліза і частинок дисперсної фази, що забезпечують найвигідніші триботехнічні характеристики КЕП для різних умов зношування (стійкість до схоплювання та ін.) і специфічний рельєф поверхні тертя, що сприяє кращому збереженню мастильної плівки [7].

Підвищення зносостійкості пов'язують з тим, що частинки дисперсної фази, виходячи в процесі зносу покриття на поверхню тертя, утворюють граничні плівки, що запобігають металевому контакту і руйнуванню мікроділянок поверхні, підтримуючи режим граничного тертя [5].

Мікротвердість як комплексний показник властивостей КЕП має дещо іншу інтерпретацію. Розрізняють мікротвердість заліза в чистому вигляді, мікротвердість частинок дисперсної фази і загальну мікротвердість КЕП на основі заліза [4, 5]. Однак у літературі наведено мало відомостей про теорію та механізм підвищення мікротвердості при включенні частинок в електролітичне покриття.

З вищевикладеного випливає, що існуючі методи відновлення золотників гідророзподільника мають ряд істотних недоліків, у зв'язку з чим актуальним

завданням є розробка нового способу їх відновлення та зміцнення, позбавленого цих недоліків.

Перспективним способом відновлення та зміцнення золотників гідророзподільника Р160 є нанесення КЕП на основі заліза. При цьому досягається необхідна товщина відновлюваного шару (0,25–0,3 мм), з'являється можливість регулювання фізико-механічних властивостей у заданих межах, відсутній термічний вплив на деталь, що призводить до її викривлення. Крім того, для отримання таких покриттів не потрібні витрати на дороге обладнання, оскільки можна використовувати існуюче обладнання гальванічних цехів, оскільки процес практично не відрізняється від класичного залізнення.

Висновки по розділу

Проведений аналіз технологій відновлення деталей золотникової пари показав, що для корпусу гідророзподільника найбільш перспективним є спосіб відновлення зношених пояскових частин алмазним хонінгуванням, а для золотника – нанесення композиційних електролітичних покриттів на основі заліза. Застосування композиційних електролітичних покриттів дає можливість виключити недоліки існуючих способів відновлення, проте композиційне залізнення недостатньо вивчене і вимагає подальшого розгляду.

РОЗДІЛ 2

МЕХАНІЗМ УТВОРЕННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ ПОКРИТТІВ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Механізм утворення композиційних електролітичних покриттів

Композиційні електролітичні покриття являють собою металеві матриці із заданим розподілом у них різноманітних зміцнювачів, в якості яких застосовують порошки, волокна та матеріали з відмінними від матриці властивостями. Такі покриття характеризуються межею розділу фаз; за характером структури вони дисперсно-зміцнені і їх можна отримувати різними способами. КЕП осідають з електроліту з додаванням дисперсної фази одного виду (AlN , MoS_2 , Al_2O_3 , TiC , SiC та ін.) або декількох видів одночасно [7].

Різні поєднання матеріалів матриці і дисперсної фази дозволяють отримати сотні типів КЕП, які поєднують в собі властивості електролітично осаджених металів (електро- і теплопровідність, зносостійкість, пластичність та ін.), а також металів і неметалів (жаростійкість, хімічна стійкість, твердість та ін.), які можуть бути включені в покриття при накладенні поляризуючого струму [7]. Це істотно розширює можливості гальванотехніки.

Електроліти для отримання КЕП готують шляхом додавання порошків другої фази в кількості від 0,1 до 10 %. Включення дисперсних частинок викликає зміну структури електроліту, що призводить до зміни ряду його технологічних особливостей – виходу металу по струму, розсіюючої здатності, а також фізико-механічних властивостей одержуваних покриттів. Це пояснюється тим, що змінюються електропровідність електроліту і поляризація при додаванні в нього дисперсних частинок [6].

Зустріч дисперсних частинок з поверхнею катода здійснюється перемішуванням електроліту природним або штучним шляхом. Природне

перемішування виникає у зв'язку з броунівським рухом несумірних частинок в електроліті, їх електростатичним переносом, седиментацією і міграцією.

Штучне перемішування може бути здійснено пропелерною мішалкою, газом або повітрям, ультразвуком, застосуванням обертових анодів та ін. [8].

При цьому найбільш перспективним є застосування ультразвуку. Ультразвукові коливання забезпечують надтонке диспергування, яке не реалізується іншими способами, збільшуючи міжфазну поверхню реагуючих елементів [56]. Кавітація, що виникає під дією ультразвукових коливань у рідині, та супроводжуючі її потужні мікропотоки, звуковий тиск і «звуковий вітер» сприяють зниженню опору переносу частинок у рідині та інтенсифікації процесу підведення частинок до катода [7].

Затримання частинок на поверхні катода відбувається за рахунок таких маловивчених явищ, як адгезія, адсорбція, налипання, зустріч частинок з центрами кристалізації покриття, що формуються блоками, зародками та іншими структурними утвореннями в покритті [5, 6]. Однак затримці частинок другої фази на поверхні катода перешкоджають їх зіткнення між собою. Сприяють зіткненню частинок протилежність їх заряду, рух електроліту, седиментація та інші явища. Це може призвести до виламування частинок з поверхні катода, внаслідок чого побудова логічної та математичної моделі утворення КЕП ускладнена. Наявність дефектів структури електролітичних покриттів, таких як пори, тріщини, капіляри, мікро- та макронерівності, також перешкоджає утриманню розмірних частинок на поверхні катода [6].

Отже, на утримання частинок на поверхні катода з одного боку впливають властивості самих частинок, з іншого – сукупність властивостей металу катода, властивості та склад електроліту і режими електролізу.

Дисперсні частинки впливають на їх заростання, спотворюючи електричні та дифузійні поля, екрануючи частини поверхні катода, змінюючи фактичну площу катода і тим самим щільність катодного струму. Все це, в свою чергу,

впливає на адсорбцію частинок і молекул, пасивацію і характер формування, а також зростання покриття [1].

Варто відзначити вплив частинок, що рухаються з пружними зіткненнями з катодом або ковзають по його поверхні. Цей вплив проявляється, перш за все, в активізації поверхні катода видаленням з неї адсорбованих бульбашок газу, гідроксидів і згладжуванні поверхні. Результати ряду робіт з цього питання узагальнили автори [7]. Вони довели, що тверді частинки, механічно впливаючи на катод, сприяють збільшенню щільності катодного струму, зміщенню потенціалу електрода, зниженню катодної пасивації. Твердість дисперсної фази і її частка в електроліті визначають зміну поляризації катода. Рухомі частинки перешкоджають утворенню дендритів, пітінгів і пор, що викликаються накопиченням і зростанням бульбашок водню. Ряд дослідників [8] відзначають ці закономірності при осаді заліза, а також нікелю та інших металів.

Дисперсні частинки впливають на їх заростання, спотворюючи електричні та дифузійні поля, екрануючи частини поверхні катода, змінюючи фактичну площу катода і тим самим щільність катодного струму. Все це, в свою чергу, впливає на адсорбцію частинок і молекул, пасивацію і характер формування, а також зростання покриття [1].

Дисперсні частинки впливають на їх заростання, спотворюючи електричні та дифузійні поля, екрануючи частини поверхні катода, змінюючи фактичну площу катода і тим самим щільність катодного струму. Все це, в свою чергу, впливає на адсорбцію частинок і молекул, пасивацію і характер формування, а також зростання покриття [1].

Варто відзначити вплив частинок, що рухаються з пружними зіткненнями з катодом або ковзають по його поверхні. Цей вплив проявляється, перш за все, в активізації поверхні катода видаленням з неї адсорбованих бульбашок газу, гідроксидів і згладжуванні поверхні. Результати ряду робіт з цього питання узагальнили автори [7]. Вони довели, що тверді частинки, механічно впливаючи на катод, сприяють збільшенню щільності катодного струму, зміщенню

потенціалу електрода, зниженню катодної пасивації. Твердість дисперсної фази і її частка в електроліті визначають зміну поляризації катода. Рухомі частинки перешкоджають утворенню дендритів, пітінгів і пор, що викликаються накопиченням і зростанням бульбашок водню. Ряд дослідників [8] відзначають ці закономірності при осаді заліза, а також нікелю та інших металів сприяє також утворення кисневих і гідроксидних сполук металів в процесі електролізу. Такі сполуки є проміжними продуктами електрохімічних реакцій і посередниками в механізмі перетворення гідратованого іона в атом і іон кристалічної решітки [2]. Гідроксидні сполуки гідрофільні, мають позитивний заряд і добре утримують біля катода негативно заряджені дисперсні частинки.

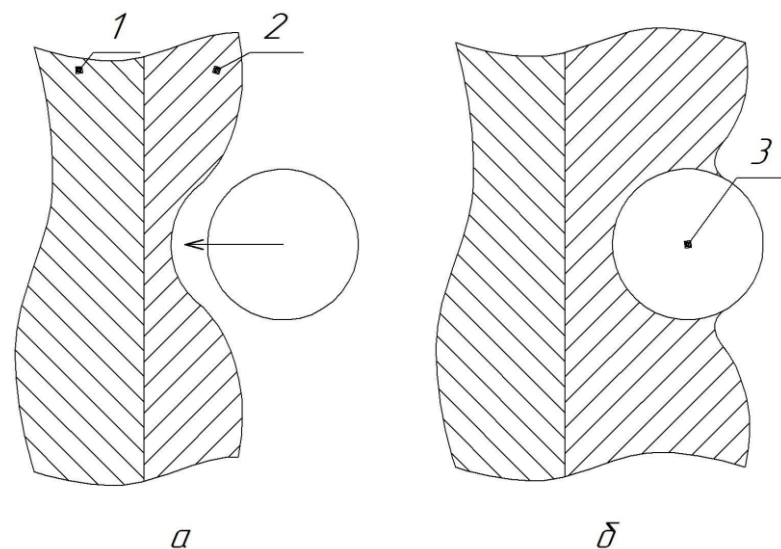


Рис. 2.1. Екранування нанорозмірною частинкою покриття: а – утворення поглиблення; б – заростання наночастинки в поглибленні; 1 – деталь; 2 – покриття; 3 – нанорозмірна частинка

Позитивний вплив проміжних продуктів електрохімічної реакції посилюється, якщо в області електродних потенціалів відповідної робочої щільності катодного струму заряд катода є негативним [1].

Частинки дисперсної фази добре заростають покриттям при адгезії до катода. Електропровідні частинки здатні заростати як з основи, так і з вершини, збільшуючи при цьому шорсткість поверхні катода.

Неелектропровідні частинки заростають з основи; покриття виходять непористі, щільні, зазвичай без піттингу і дендритів, незначно впливаючи на шорсткість покриття (рис. 2.2) [1].

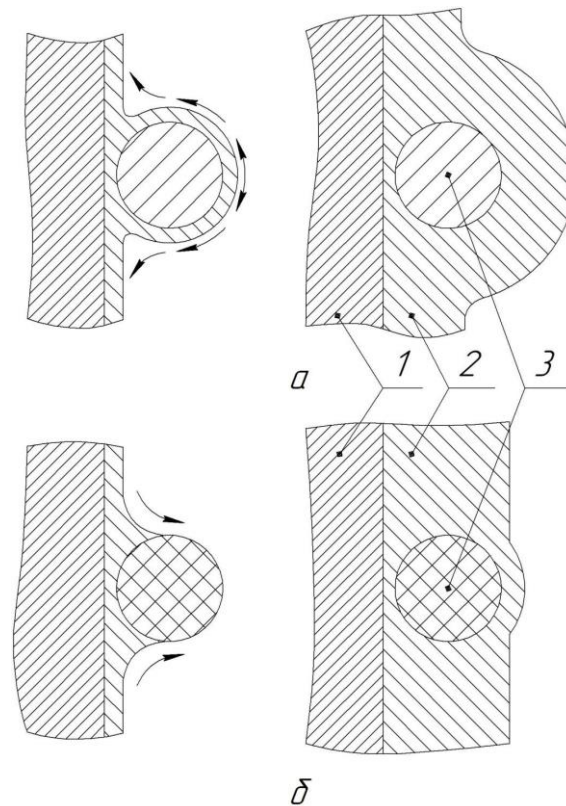


Рис. 2.2. Схема заростання нанорозмірних частинок: а – струмопровідних; б – діелектричних; 1 – деталь, 2 – покриття, 3 – нанорозмірна частинка

Таким чином, для утворення КЕП бажаний безпосередній контакт частинки з катодом. Однак утворення КЕП цілком можливе за наявності рідкого прошарку товщиною менше деякої критичної відстані. При цьому найбільш переважними є неелектропровідні частинки, оскільки вони практично не змінюють шорсткість одержуваних покриттів. Включені в покриття дисперсні частинки змінюють структуру і фізико-механічні властивості покриття [5].

Характерна ознака електролізу для отримання КЕП – нерівноважний стан. Одні електроліти досить швидко досягають стану рівноваги і для отримання КЕП не використовуються. Для них потрібно додавання енергії для підтримки частинок у зваженому стані. Інші електроліти повільно переходять у стан рівноваги і більш придатні для отримання КЕП. Кінетична стійкість електролітів

залежить від багатьох факторів, таких як щільність і температура, розмір і властивості дисперсної фази, її концентрація [7].

Електроліт завжди прагне до рівноважного стану, при якому площа міжфазної поверхні мінімальна [2]. Рівноваги швидше досягають ті електроліти, у яких розміри частинок дисперсної фази більші. Зі зменшенням розміру частинок система набуває найбільшої кінетичної стійкості, оскільки площа міжфазної поверхні збільшується. Такий стан найбільш характерний для колоїдних електролітів.

Більшість вчених [1, 3, 4, 6] у проведених дослідженнях показують, що для отримання КЕП із суспензій з розмірами частинок 0,01...0,02 мм необхідне постійне спрямоване переміщення частинок до катода. Однак якщо розмір частинок у суспензії до 0,001 мм, достатньо попереднього перемішування суспензії перед осадженням покриття.

Покриття, отримані з частинками нанометрового діапазону, мало вивчені і представляють великий науково-практичний інтерес. У зв'язку з цим дослідження впливу нанорозмірних частинок на електролітичні покриття є актуальним завданням.

2.2. Методика отримання нанокомпозиційних покриттів на основі заліза

Для нанесення нанокомпозиційних покриттів на основі заліза було проведено аналіз існуючих електролітів отримання покриттів на основі заліза. У ремонтній промисловості до електролітів висувають такі вимоги [5, 9]:

- 1) електроліт повинен забезпечувати можливість отримання на деталях покриттів з високими фізико-механічними властивостями;
- 2) властивості одержуваних покриттів повинні бути в суворій відповідності із заданими режимами електролізу і регулюватися цими режимами в широких межах;

- 3) процес отримання покриттів повинен бути максимально продуктивним;
- 4) електроліт повинен бути простим за складом і надійним в експлуатації;
- 5) реактиви, що застосовуються для приготування, повинні бути дешевими і не дефіцитними;
- 6) способи контролю та коригування електроліту повинні бути простими та доступними.

Цим вимогам повністю відповідають хлористі електроліти залізнення. У практиці електроосадження заліза застосовуються два види електролітів – холодні та гарячі [1, 2]. Використання гарячих хлористих електролітів обумовлено їх перевагами в порівнянні з холодними. З гарячих електролітів залізо осідає з меншим перенапруженням, що забезпечує більшу продуктивність процесу осадження. Електроліт допускає застосування високої щільності катодного струму до 50 А/дм². Нанесення покриттів заліза в гарячих електролітах протікає з високим виходом металу по струму (до 90–95 %) і зі швидкістю осадження до 0,4–0,5 мм/год. Електроліти дозволяють отримувати щільні дрібнозернисті покриття товщиною до 1,5 мм з високими механічними властивостями, які можуть змінюватися в широких межах залежно від умов електролізу. Процес осадження заліза при цьому відрізняється стабільністю, а порушення режимів електролізу не так різко відбивається на якості покриттів, як в інших типах електролітів.

Гарячі хлористі електроліти залізнення досліджені досить детально. У літературі [1] представлені численні рекомендації щодо вибору умов електролізу, що дозволяють отримувати покриття з необхідними фізико-механічними властивостями. Відповідно до цих рекомендацій було обрано середньоконцентрований гарячий хлористий електроліт залізнення, прийнятий за основу для отримання покриття та дослідження його фізико-механічних властивостей. Його склад, г/л [4, 5]:

- хлорид заліза ТУ 6-02-609-86 ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) – 200...300;
- соляна кислота ДСТУ (HCl) – 1...1,5;

- хлористий марганець ДСТУ (MnCl_2) – 5...10.

Режими електролізу:

- щільність катодного струму – 20 A/дм^2 ;
- температура електроліту – 80°C .
- час нанесення покриттів – 90 хв під дією струму прямої полярності.

Аналіз існуючих технологій створення нанорозмірних матеріалів для модифікації електролітичних покриттів дозволив вибрати метод плазмової переконденсації, яким отримують порошки різних металів розміром частинок від 10^{-5} до 10^{-4} мм. Метод заснований на випаровуванні крупнодисперсного порошку (сировини) в плазмовому потоці з температурою $4500\text{...}6000^\circ\text{C}$ і конденсації пари у вигляді частинок необхідного розміру [3-5]. На рис. 2.1 і 2.2 представлені зовнішній вигляд і принципова схема установки для отримання нанорозмірних порошків (НРП).

Виходячи з висунутих вимог, а також на підставі літературних джерел і проведених раніше досліджень у даному напрямку [3], для отримання НКЕП була запропонована наступна група НРП у концентраціях 1, 3, 5 г/л: карбід вольфраму (WC), карбід кремнію (SiC), карбід титану (TiC), нітрид алюмінію (AlN) і оксид алюмінію (Al_2O_3).

Електроліт-суспензію на основі заліза готували в кілька етапів. Для розагрегативання частинок і підвищення седиментаційної стійкості електроліту готували концентровану суспензію. Рецептурну кількість нанорозмірних частинок попередньо заливали електролітом і шляхом розтирання їх протягом 10 хв доводили суспензію до пастоподібного стану. Потім у суміш додатково додавали електроліт і отримували концентровану суспензію, яку далі обробляли за допомогою ультразвукового генератора УЗГ-2М (рис. 2.5) з частотою 22 кГц і амплітудою 50 Гц протягом 10–12 хв.

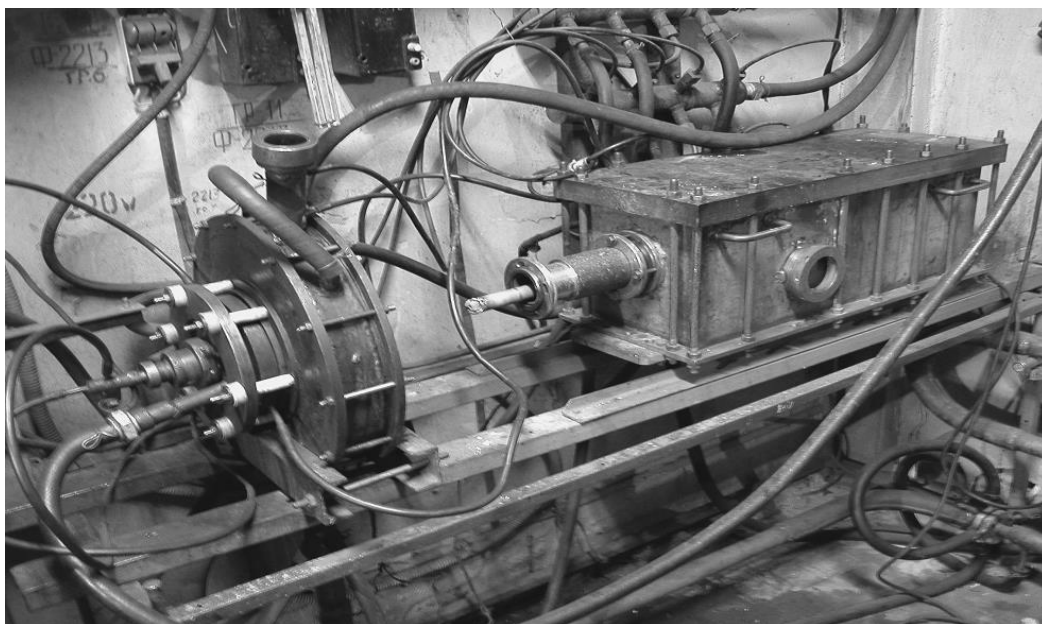


Рис. 2.3. Установка для отримання НРП

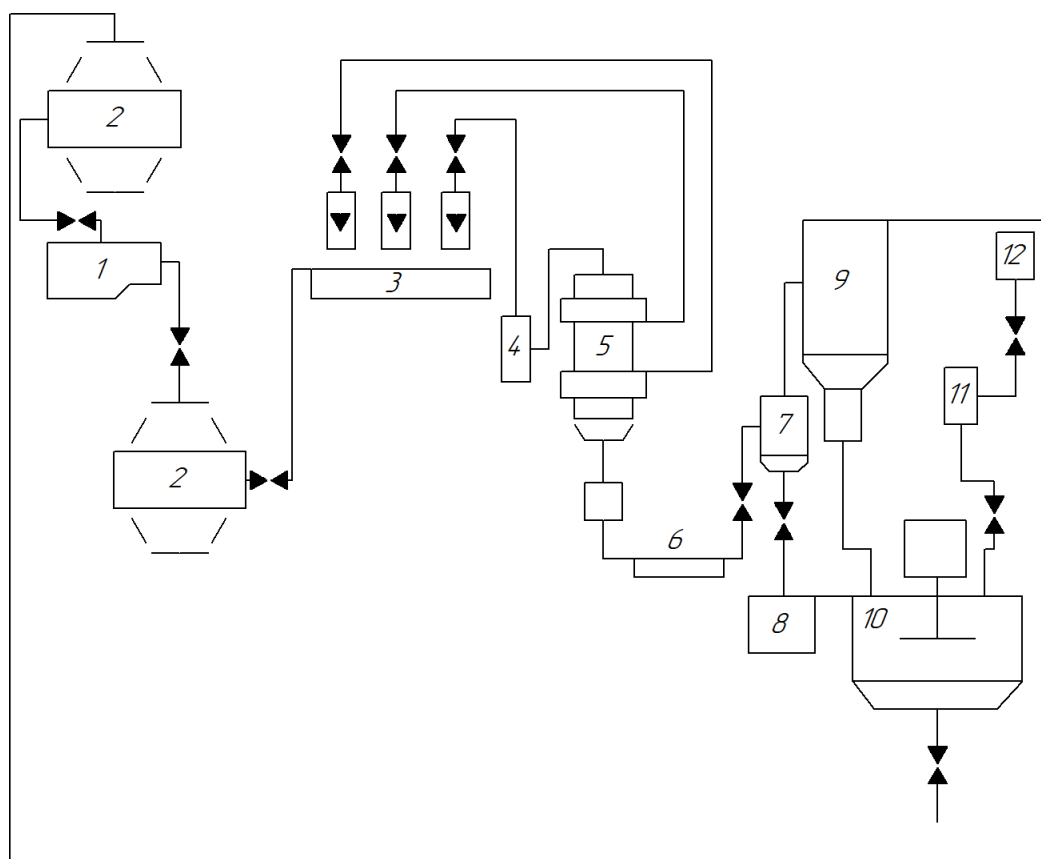


Рис. 2.4. Принципова схема установки для отримання НРП методом плазмової перекоонденсації: 1 – компресор; 2 – ресивер; 3 – газова рампа; 4 – дозатор для дисперсної сировини; 5 – плазмовий випарник; 6 – холодильник; 7 – циклон; 8 – бункер уловлювання; 9 – фільтр; 10 – реактор; 11 – дозатор для рідкого вуглеводню; 12 – ємність з рідким вуглеводнем.



Рис. 2.5. Ультразвуковий генератор УЗГ-2М.

Далі отриману суспензію вносили у ванну залізнення при інтенсивному перемішуванні електроліту [5].

Технологічний процес отримання НКЕП складався з декількох основних операцій:

- підготовка поверхні деталі;
- нанесення покриття на зразок;
- нейтралізація отриманого покриття;
- контроль товщини покриття; контроль якості покриття.

Підготовка поверхні деталі до нанесення покриттів включала в себе знежирення і декапірування [2].

Знежирення деталі проводили в 10%-му розчині гідроксиду натрію ДСТУ (NaOH) [52]. Режим обробки:

- температура електроліту – 50 °С;
- щільність катодного струму – 20 А/дм²;
- час знежирення – 5 хв під дією струму прямої полярності.

Потім зразки промивали в гарячій воді при температурі 70–80 °С протягом 1–2 хв і далі в проточній воді при кімнатній температурі протягом 1–2 хв.

Для видалення з поверхні деталі жирових плівок, окалини та продуктів корозії проводили її декапування в 30 %-му розчині сірчаної кислоти.

Режим обробки:

- температура електроліту – 30 °С;
- щільність катодного струму – 10 А/дм²;
- час травлення – 1 хв під дією струму прямої полярності.

Після декапірування деталей промивали в проточній воді кімнатної температури протягом 1–2 хв.

Нанесення покриття на зразок проводили на лабораторному гальванічному обладнанні (рис. 2.6), схема якого представлена на рис. 2.7.



Рис. 2.6. Обладнання для нанесення нанокomпозиційних електролітичних покриттів

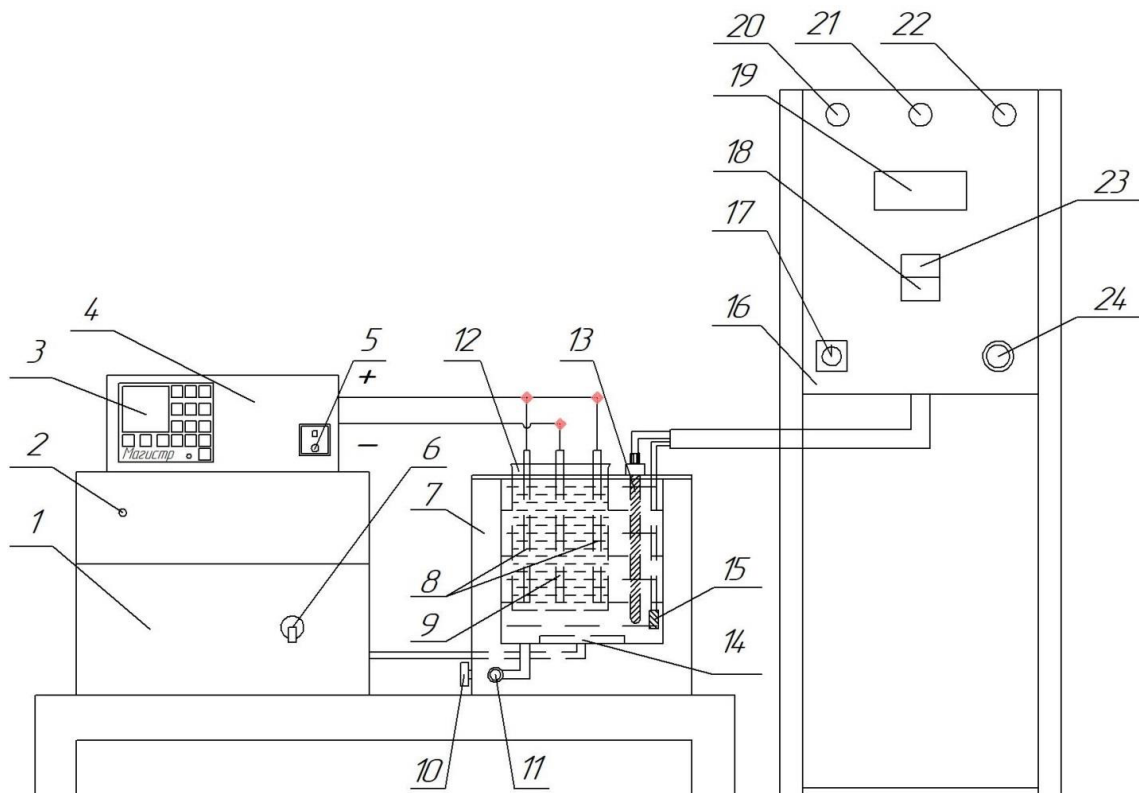


Рис. 2.7. Схема лабораторного гальванічного обладнання: 1 – ультразвуковий генератор (УЗГ); 2 – індикатор роботи УЗГ; 3 – інформаційне табло і панель управління джерелом струму; 4 – джерело струму ГІТП 500-30(5)х12Р-220-П2/-В2; 5 – кнопка ввімкнення (вимкнення) джерела струму; 6 – тумблер ввімкнення (вимкнення) УЗГ; 7 – установка для нанесення нанокompозиційних електролітичних покриттів; 8 – аноди; 9 – катод (деталь); 10 – зливний кран; 11 – зливний канал; 12 – ємність для електроліту; 13 – ТЕН; 14 – ультразвуковий елемент; 15 – температурний датчик; 16 – шафа автоматичного регулювання температури; 17 – тумблер увімкнення (вимкнення) шафи регулювання температури; 18 – кнопка зупинки автоматичного регулювання температури; 19 – інформаційне табло і панель управління шафи; 20 – індикатор живлення; 21 – індикатор нагріву; 22 – індикатор рівня рідини; 23 – кнопка ввімкнення автоматичного регулювання температури; 24 – аварійне відключення шафи.

Обладнання включає в себе установку 7 для нанесення нанокompозиційних електролітичних покриттів власного виготовлення, оснащену трьома ультразвуковими елементами 14, з'єднану з ультразвуковим генератором 1. Під

дією ультразвуку відбувається розагрегування частинок до нанометрового діапазону, опір їх коагуляції, а також підведення нанорозмірних частинок до катода для кращого заростання їх електролітичним покриттям [6, 7]. Підтримка температури здійснюється шафою автоматичного управління температурою 16, до якої підключені ТЕН 13 і температурний датчик 15. Підтримка заданої щільності катодного струму здійснюється за допомогою джерела струму 4.

Нейтралізацію отриманого покриття проводили в 30%-му розчині гідроксиду натрію (NaOH). Режими обробки:

- температура розчину 50 °С;
- час обробки – 10 хв.

Контроль товщини покриття здійснювали за допомогою мікрометричної скоби СР 25. Зразки з товщиною покриття менше 0,2 мм і більше 0,25 мм відбраковували.

Контроль якості покриття здійснювали за ДСТУ. Зразки з здуттями, порами, непокритими ділянками і з відшаруванням покриття вибраковували.

У процесі роботи гальванічної ванни склад електроліту безперервно змінювався. Для підтримки заданої концентрації компонентів електроліт коригували шляхом введення в нього нових порцій компонентів відповідно до методики [5, 8]. Аналіз і коригування електроліту проводили після кожної партії з трьох деталей в процесі роботи і перед запуском ванни в роботу щодня.

Для простоти щоденного коригування ванни її роботу завершували разом із завершенням нанесення покриття на чергову партію з трьох деталей. Випарувану воду доливали в електроліт тільки при коригуванні. Для коригування рН використовували 10%-й розчин соляної кислоти (HCl). Додавання 100 мл цього розчину підвищує значення рН на 0,1. Показник рН вимірювали перед завантаженням кожної партії деталей іонометричним перетворювачем І-500.

2.3 Методика прискорених порівняльних трибологічних випробувань

Порівняльні трибологічні випробування НКЕП на основі заліза проводили в умовах тертя ковзання на машині тертя МІ-1М (рис. 2.8), принципова схема якої представлена на рис. 2.9. Контактуються зразків здійснювали за схемою «ролик – колодка» (рис. 2.10).



Рис. 2.8. Машина тертя МІ-1М

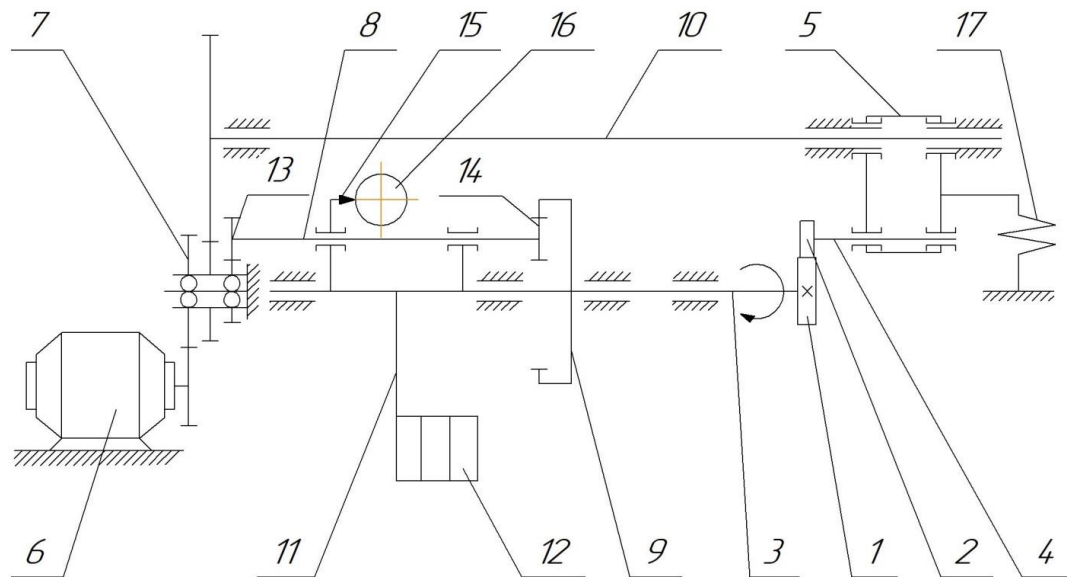


Рис. 2.9. Схема машини тертя МІ-1: 1 – ролик; 2 – колодка; 3 – шпиндель; 4 – вал каретки; 5 – корпус каретки; 6 – електродвигун; 7 – блок зубчастих коліс; 8, 10 – вали; 9 – зубчасте колесо з внутрішнім зачепленням; 11 – маятник; 12 – вантажі; 13, 14 – зубчасті колеса; 15 – олівець; 16 – барабан; 17 – навантажувальний пристрій.

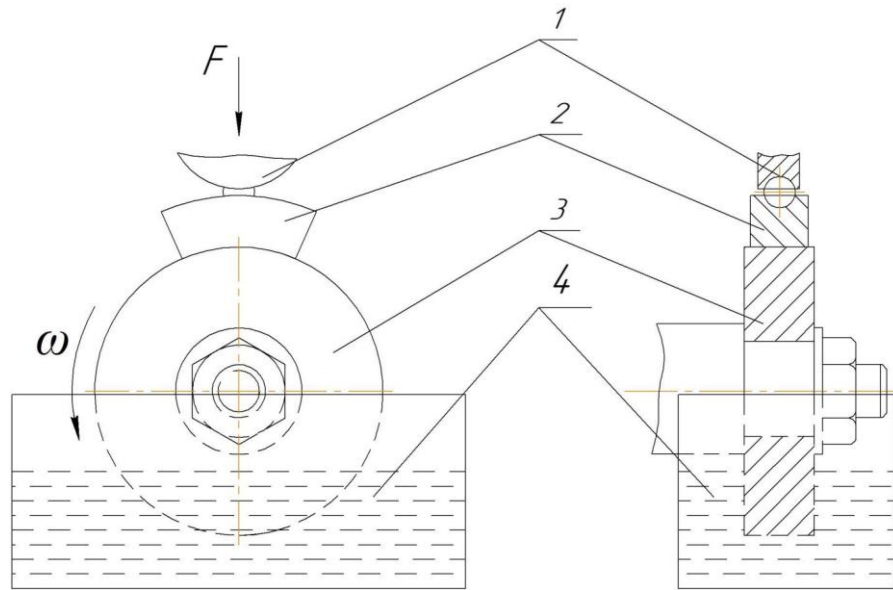


Рис. 2.10. Схема «ролик – колодка»: 1 – фіксатор колодки; 2 – колодка; 3 – ролик; 4 – мастильне середовище, F – прикладена сила, Н; ω – частота обертання ролика, хв^{-1} .

Для отримання достовірних результатів дослідження експериментальні зразки були виготовлені з матеріалів, ідентичних матеріалам відповідної пари тертя гідророзподільника Р160 3/1-222. Для роликів була використана сталь 15Х ДСТУ. Їх діаметр 50 мм, ширина – 10 мм.

Ролики піддавали поверхневому гартуванню до твердості HV 655...800, потім шліфували і полірували до отримання шорсткості робочої поверхні $Ra = 0,32$ мкм. Колодки виготовляли з чавунного кільця СЧ 21ДСТУ із зовнішнім діаметром 68 мм, внутрішній діаметр шліфували під розмір ролика і полірували до отримання шорсткості робочої поверхні $Ra = 0,32$ мкм. Твердість колодок відповідала твердості корпусу гідророзподільника HV 179...252. Коефіцієнт взаємного перекриття зразків склав 0,11.

Випробування проводили відповідно до ДСТУ в двох середовищах – на чистому та забрудненому промисловому маслі І-20 ДСТУ. В якості забруднювача використовували кварцовий абразив $1K_1O_101$ ДСТУ з розмірами частинок 0,008...0,012 мм при концентрації 0,08 % за масою мастильного середовища.

Режими випробувань встановлювали на підставі попередніх експериментів. При цьому вибирали такі режими, які забезпечували б отримання відчутних зносів пар тертя за мінімальний час. Перед випробуваннями з метою формування початкової мікрогеометрії та структури робочих поверхонь зразки пар тертя піддавали припрацюванню.

Навантаження прикладали на верхній зразок через попередньо відварений механізм навантаження машини тертя МІ-1М. Тарувальний графік механізму навантаження наведено на рис. 2.11. Пуск і зупинку машини здійснювали за відсутності навантаження на зразки. Після запуску приводу навантаження плавно доводили до необхідної величини протягом 1 хв.

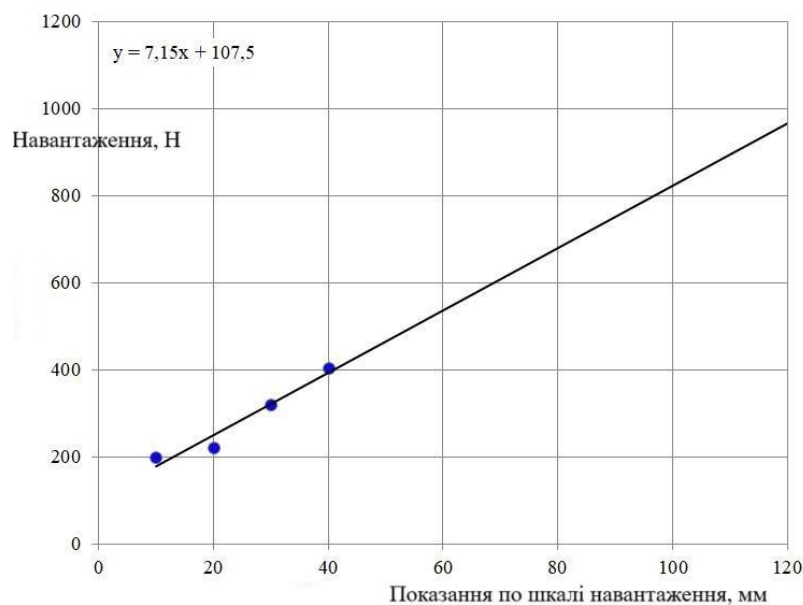


Рис. 2.11. Тарувальний графік механізму навантаження машини тертя МІ-1М

У процесі випробувань фіксували такі параметри: сумарний знос зразків за масою та момент тертя у випробуваній парі. Безперервне вимірювання моменту тертя на машині тертя здійснювали за допомогою маятникового механізму 11 (див. рис. 2.9). Фактичні значення моменту тертя визначали за тарувальним графіком (див. рис. 2.11), побудованим у статичному режимі відповідно до інструкції з експлуатації машини тертя.

Знос зразків визначали шляхом їх зважування на вагах HR-250AZG 1-го класу точності OIML R 76–1–2011 [3]. Перед кожним зважуванням деталі промивали у бензині та висушували протягом 1 год у сушильній шафі ПЕ-0042 за температури 80 °С.

2.4. Методика стендових випробувань

Для оцінювання запропонованої технології відновлення золотникової пари гідророзподільників Р160 наноконпозиційним електролітичним залізненням та порівняння її з існуючою технологією застосовували методи прискорених лабораторних випробувань, які дають змогу за короткий проміжок часу та за незначних матеріальних витрат отримати необхідні результати.

Ефективність розробленої технології відновлення та зміцнення визначали шляхом порівняння величини витоків, що виникають у гідророзподільниках, золотникові пари яких відновлювали за запропонованою технологією (рис. 2.12), з величиною витоків у гідророзподільниках, золотникові пари яких відновлювали за існуючою технологією (класичним електролітичним залізненням). Для об'єктивності оцінювання розробленої технології отримані результати порівнювали з величинами витоків золотникових пар нових гідророзподільників, що серійно виготовляються заводом-виробником.

Випробуванням піддавали два серійні гідророзподільники, два гідророзподільники, золотникові пари яких були відновлені за існуючою технологією, і два гідророзподільники, золотникові пари яких відновлювали за запропонованою технологією з використанням НКЕП на основі заліза.

Перед початком випробувань гідророзподільники регулювали та перевіряли відповідно до [3] на стенді КИ-4815М (рис. 2.13).

Прискорені випробування кожного розподільника проводили із застосуванням штучного забруднювача робочої рідини, яким був кварцовий

порошок марки 1K1O101 [3] (середній діаметр фракції 0,008...0,012 мм) при концентрації 0,08 % за масою робочої рідини.



Рис. 2.12. Гідророзподільники Р160 3/1-222, відновлені за запропонованою технологією з використанням НКЕП на основі заліза



Рис. 2.13. Стенд КИ-4815М для випробувань гідророзподільників

Під час випробування гідророзподільників на стенді встановлювали насос продуктивністю $12 \cdot 10^4 \text{ см}^3/\text{хв}$. Як робочу рідину застосовували моторну оливу М10Г2 температурою $50 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Для проведення прискорених випробувань використовували пристрій для імітації роботи золотникової пари (рисунок 3.20), який забезпечує перемикання золотника з положення «підйом» у положення «опускання» з певною періодичністю.

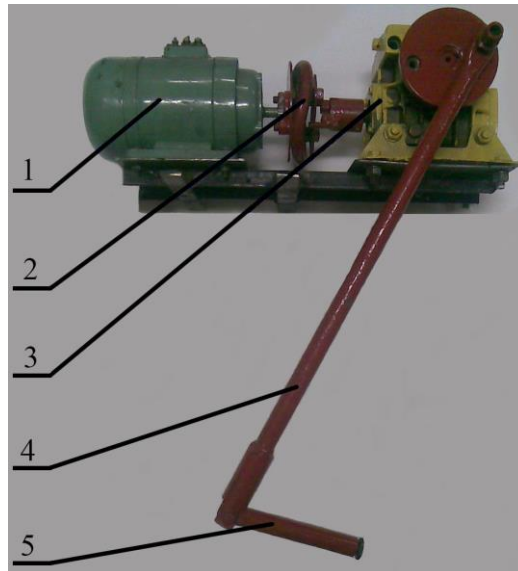


Рис. 2.14. Пристрій для моделювання роботи гідророзподільника: 1 – електродвигун; 2 – пружна муфта; 3 – черв'ячний редуктор; 4 – шатун; 5 – подовжувач.

Тривалість випробувань кожного золотника становила 40 год. Схему підключення гідророзподільника для стендових випробувань подано на рис. 2.15.

Випробування проводили у два етапи. На першому етапі здійснювали приработку кожного золотника (тиск 16 МПа, олива без забруднювача, тривалість 8 год). Другий етап проводили за основних режимів роботи (тиск 16 МПа, олива, забруднена абразивом, тривалість 32 год).

Золотникові пари перевіряли на герметичність за величиною витоків кожні 8 год випробувань за допомогою засобів контролю КИ-28084М (рис. 2.16). Для цього до гідророзподільника підключали відкалібрований за температури 50 ± 5 °С і тиску 16 МПа дросель-витратомір КИ-1097-1: вхідний канал дроселя під'єднували до напірного каналу 4 перевірюваної золотникової пари, а вихідний канал – до її зливного каналу 5.

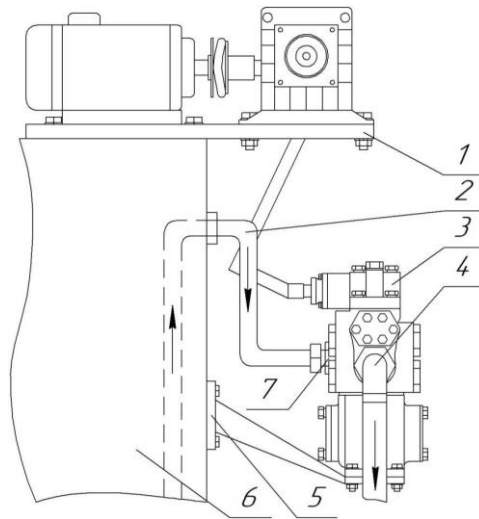


Рис. 2.15. Схема проведення лабораторних випробувань гідророзподільника Р160 3/1-222 на стенді КИ-4815М: 1 – пристрій для моделювання роботи гідророзподільника; 2 – нагнітальний маслопровід; 3 – гідророзподільник; 4 – зливний маслопровід; 5 – опорний кронштейн; 6 – стенд КИ-4815М; 7 – канал для під’єднання гідророзподільника до робочого насоса.

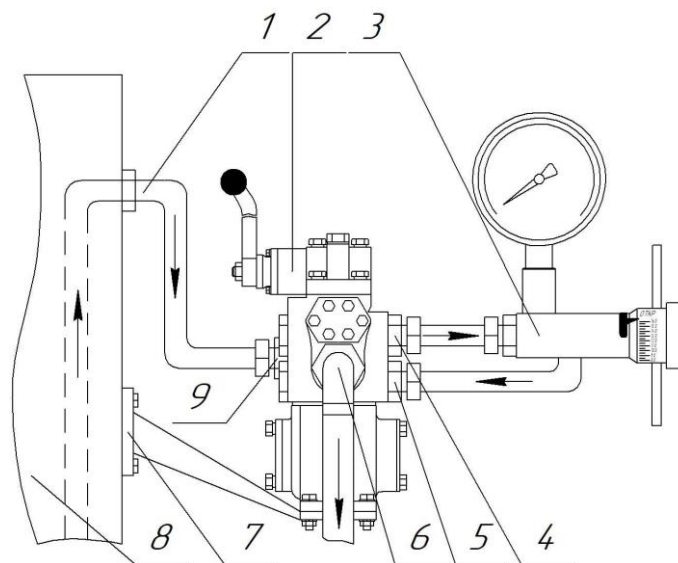


Рис. 2.16. Схема вимірювання витоків гідророзподільника Р160 3/1-222 на стенді КИ-4815М: 1 – нагнітальний маслопровід; 2 – гідророзподільник; 3 – дросель-витратомір КИ-1097-1; 4 – напірний канал золотникової пари; 5 – зворотний канал золотникової пари; 6 – зливний маслопровід; 7 – опора кріплення гідророзподільника на установчій плиті стенда; 8 – стенд КИ-4815М; 9 – канал для під’єднання гідророзподільника до робочого насоса.

2.5. Методика експлуатаційних випробувань

Експлуатаційні порівняльні випробування проводили на тракторах К700А, що виконували різні нормовані сільськогосподарські роботи. Було задіяно шість тракторів, з яких два були укомплектовані гідророзподільниками Р160 3/1-222 із золотниковими парами, відновленими за запропонованою технологією НКЕП на основі заліза; два трактори – гідророзподільниками, золотникові пари яких були відновлені за чинною технологією електролітичного залізнення; і два трактори – серійними гідророзподільниками.

Тривалість випробувань кожного трактора змінювалася залежно від господарства за умови дотримання таких вимог:

- перед початком випробувань у всі трактори було залито нову оливу М10Г2 та промито всі фільтри гідравлічної системи;
- усі трактори в межах одного господарства виконували однакові роботи за приблизно однакових навантажувальних умов;
- різниця між сумарними напрацюваннями всіх випробуваних тракторів у одному господарстві становила не більше 50 мото-годин.

Під час експлуатаційних випробувань здійснювали контроль напрацювання тракторів та технічного стану гідророзподільників. Через кожні 100–150 мотогодин проводили перевірку величини витоків у золотникових парах гідророзподільників за схемою, наведеною на рисунку 2.17, із використанням комплекту КИ-28084М (рис. 2.18). Для визначення витоків у золотникових парах гідророзподільника вхідний канал дросель-витратоміра КИ-1097-1 (позиція 3) під'єднували до вихідного каналу розподільника (позиція 4), а його вихідну магістраль — до вхідного каналу (позиція 5). За такого підключення витoki через зливний канал (позиція 6) відводяться у гідробак, тоді як через дросель-витратомір проходить основний задросельований потік гідравлічної рідини.

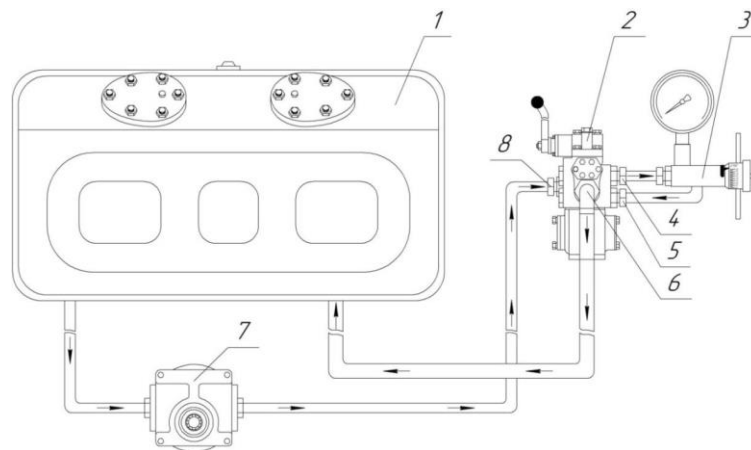


Рис. 2.17. Схема вимірювання витоків під час проведення експлуатаційних випробувань гідророзподільників Р160 3/1-222, встановлених на трактори К-700А: 1 – гідробак 700А.46.14.000; 2 – гідророзподільник; 3 – дросель-витратомір КИ-1097-1; 4 – вихідний канал гідророзподільника; 5 – вхідний канал гідророзподільника; 6 – канал відведення гідравлічної рідини у бак стенда; 7 – насос НШ-100А-3Л; 8 – канал для під'єднання гідророзподільника до робочого насоса.



Рис. 2.18 Комплект засобів діагностування гідравлічних систем КИ 28084М

Щоб виключити випадкову похибку під час вимірювання витоків у золотниковій парі, усі вимірювання виконували триразово, а кінцеве значення вимірюваної величини визначали як середнє арифметичне результатів трьох вимірювань.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Результати дослідження впливу нанорозмірних твердих частинок на мікротвердість електролітичного покриття заліза

Для визначення впливу виду та концентрації нанорозмірного матеріалу на мікротвердість отриманого електролітичного покриття на основі заліза були виготовлені зразки з обраною групою НРП за методикою, описаною в третій главі. Зовнішній вигляд металографічних шліфів після дослідження наведено на рис. 3.1.

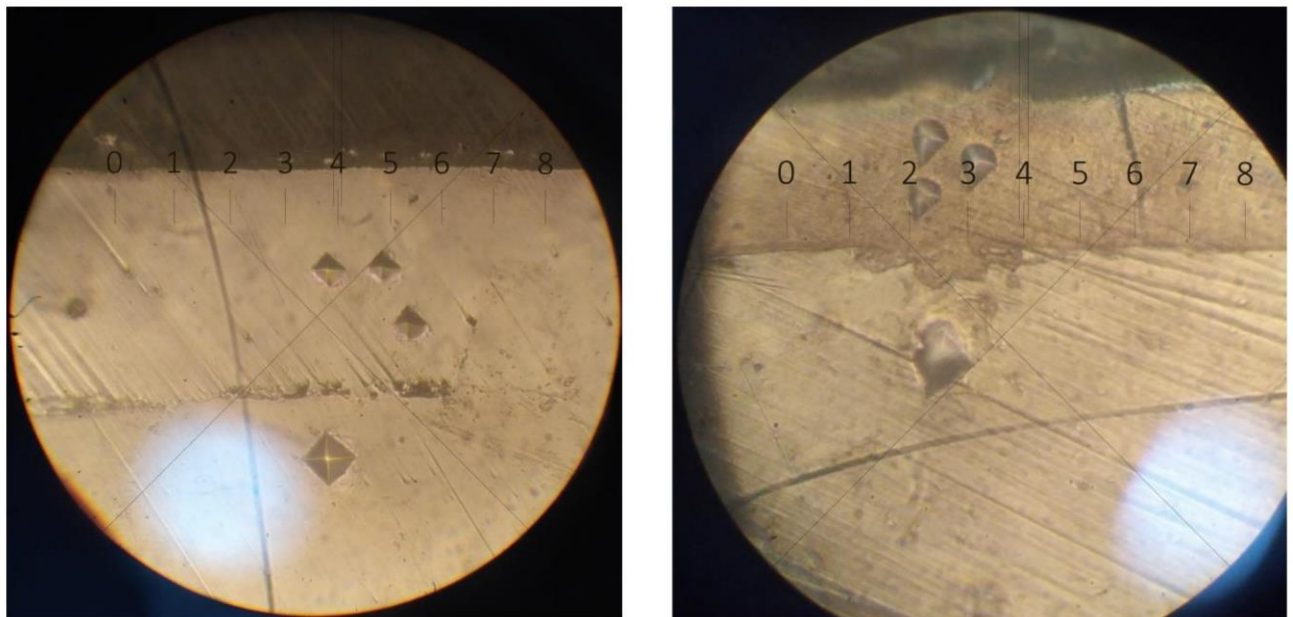


Рис. 3.1. Шліфи зразків з наноконпозиційним покриттям після вимірювання мікротвердості

Результати вимірювання мікротвердості наведено на рисунку 3.2.

Як видно з представлених даних, найбільшою мікротвердістю – 682 HV – характеризуються покриття, нанесені з електроліту залізнення з концентрацією нанорозмірних частинок нітриду алюмінію 3 г/л.

Висока мікротвердість електролітичних покриттів із включенням частинок нітриду алюмінію, порівняно з іншими нанорозмірними частинками, пояснюється, ймовірно, не лише їхньою високою твердістю, а й хімічними властивостями нітридів. Під час взаємодії з кислотами, присутніми в електроліті залізнення, вони виділяють азот, упродовження якого в електролітичне покриття додатково підвищує його фізико-механічні характеристики [1].

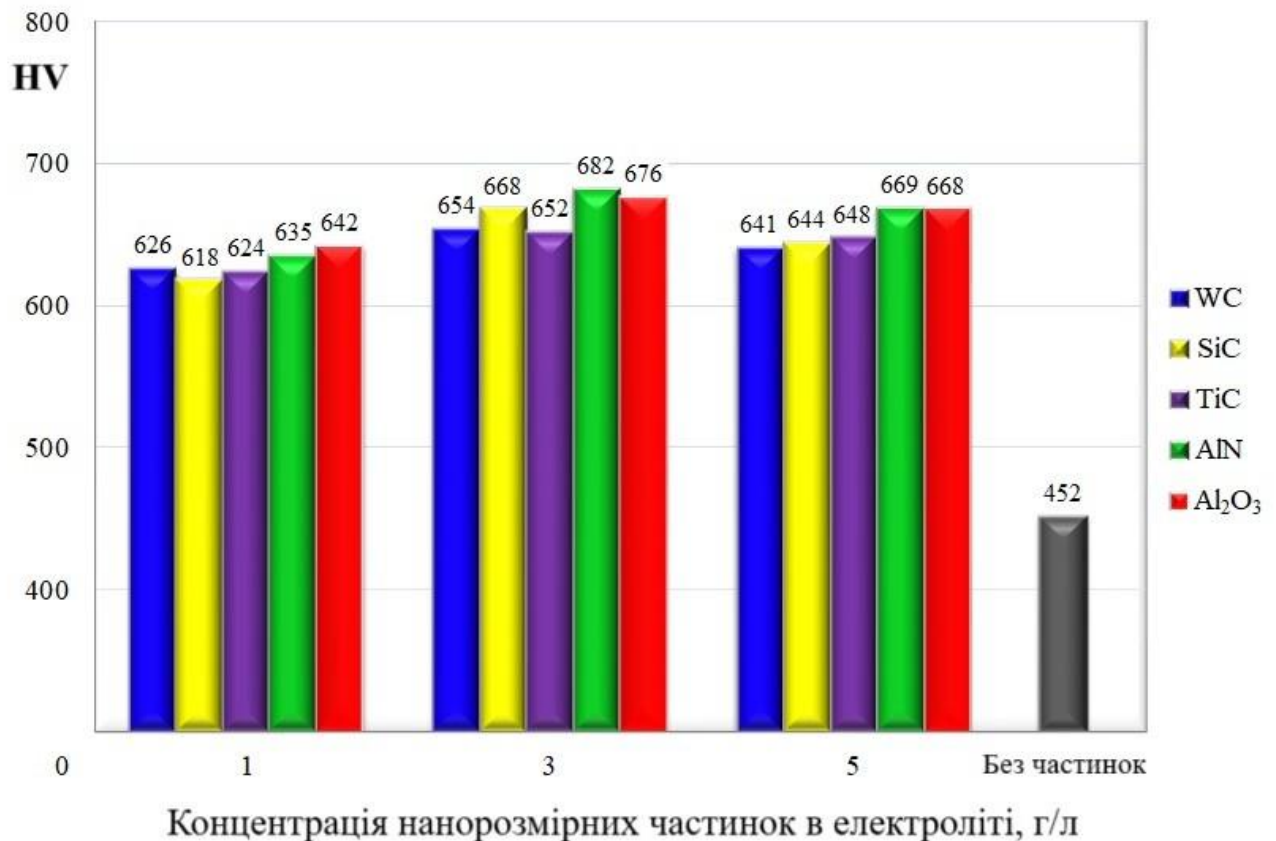


Рис. 3.2. Гістограма мікротвердості НКЕП залежно від виду та концентрації нанорозмірних частинок в електроліті.

Розбіжність між теоретичними значеннями мікротвердості та експериментальними результатами не перевищує 15 %, що свідчить про високу достовірність проведених теоретичних досліджень і справедливості теоретичної залежності.

У результаті вивчення мікротвердості покриттів було визначено найбільш перспективний матеріал і його концентрацію, які дали змогу досягти максимальної мікротвердості покриття порівняно з іншими досліджуваними

матеріалами. У зв'язку з цим усі подальші експерименти проводили лише з нанодисперсним порошком нітриду алюмінію.

3.2 Результати прискорених порівняльних трибологічних випробувань

Прискорені порівняльні трибологічні випробування проводили відповідно до методики, викладеної в третій главі. Випробуванням піддавали зразки без покриття (матеріал серійного золотника), з класичним електролітичним покриттям (відновлення за чинною технологією) та з НКЕП на основі заліза (відновлення й упрочнення за запропонованою технологією). Результати випробувань наведено на рис. 3.3 і 3.4, а зовнішній вигляд пар тертя до та після випробувань – на рис. 3.5.

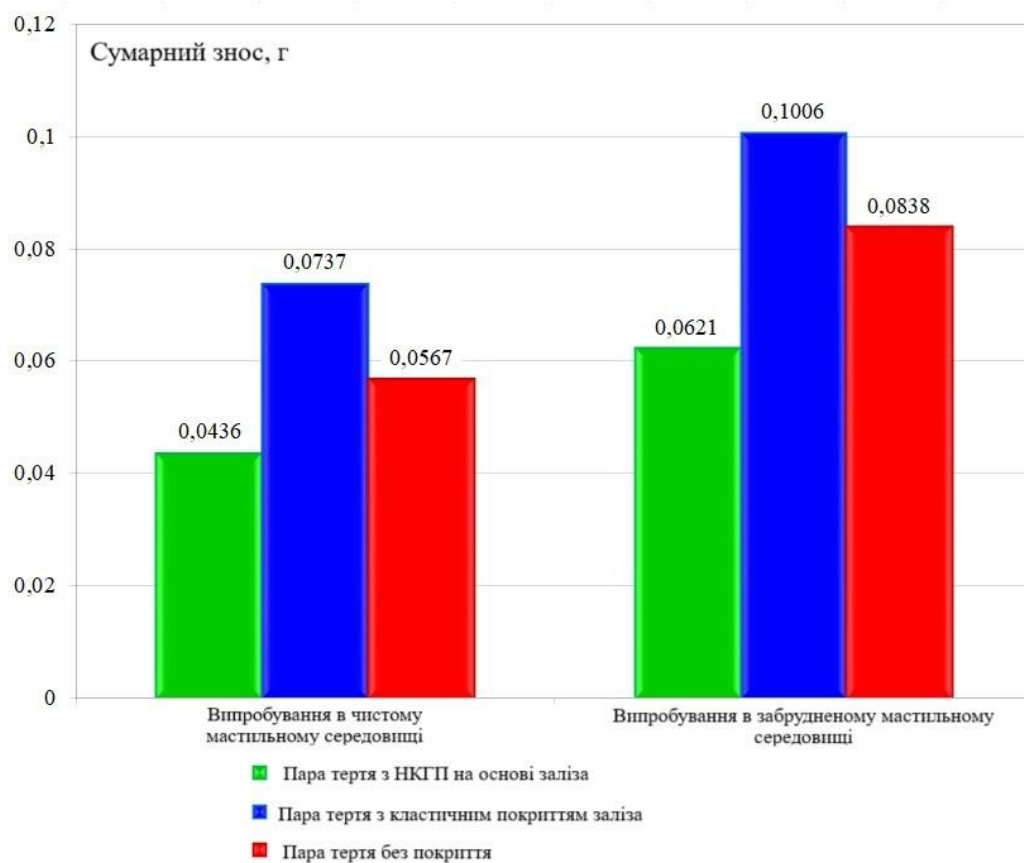


Рис. 3.3. Сумарний масовий знос пар тертя після прискорених порівняльних трибологічних випробувань

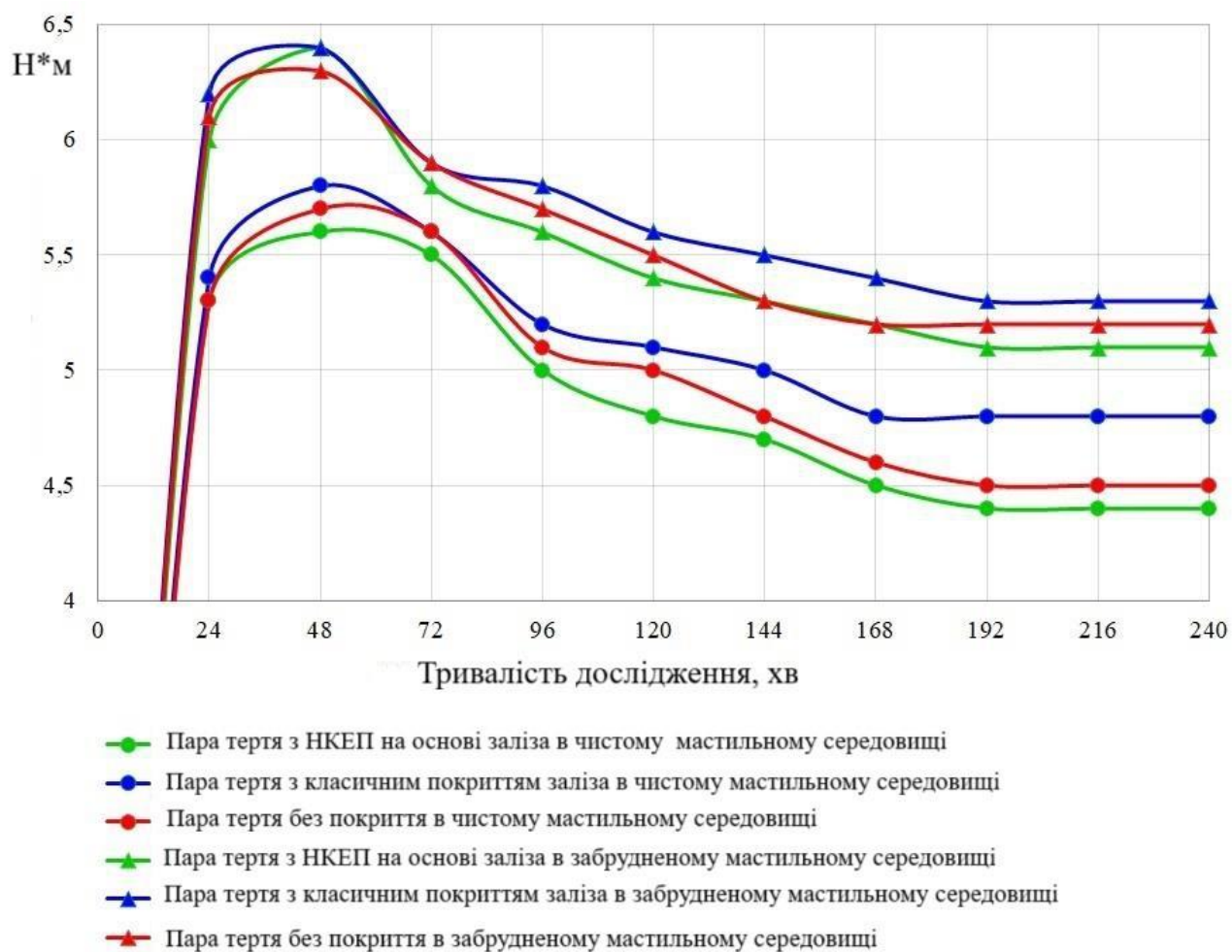


Рис. 3.4. Зміна моменту тертя впродовж прискорених порівняльних трибологічних випробувань.

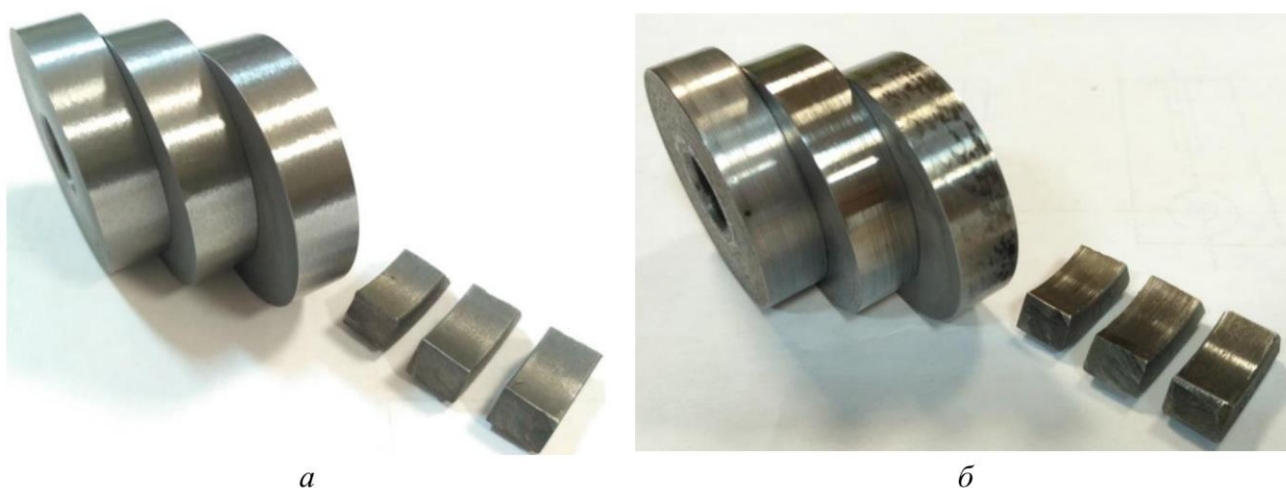


Рис. 3.5 Зовнішній вигляд пар тертя для прискорених порівняльних трибологічних випробувань: а – до випробувань; б – після випробувань

З рис. 3.5 видно, що найменший сумарний масовий знос спостерігається у пари тертя, ролики якої мають НКЕП на основі заліза – як під час випробувань у чистому мастильному середовищі, так і в забрудненому.

Під час випробувань у чистому мастильному середовищі сумарний масовий знос пари тертя з досліджуваним покриттям становив 0,0436 г, що у 1,7 раза менше, ніж у пари тертя з класичним електролітичним покриттям заліза, і у 1,3 раза менше, ніж у пари тертя зі сталі 15Х без покриття.

У забрудненому мастильному середовищі сумарний масовий знос пари тертя з НКЕП на основі заліза становив 0,0621 г, що у 1,6 раза менше, ніж у пари тертя з класичним покриттям, і у 1,35 раза менше, ніж у пари тертя зі сталі 15Х без покриття.

Під час прискорених порівняльних трибологічних випробувань було також зафіксовано зміну моменту тертя (див. рисунок 4.8). Так, для зразків з НКЕП на основі заліза в чистому мастильному середовищі наприкінці випробувань момент тертя досяг 4,4 Н·м, що на 9 % менше, ніж у зразків із класичним покриттям заліза, і на 2 % менше, ніж у зразків зі сталі 15Х без покриття. У забрудненому мастильному середовищі для зразків із НКЕП момент тертя становив 5,1 Н·м, що на 4 % нижче, ніж у зразків із класичним покриттям, і на 2 % нижче, ніж у зразків зі сталі 15Х без покриття.

З викладеного вище випливає, що НКЕП на основі заліза має підвищену зносостійкість порівняно з класичним електролітичним залізненням та сталлю 15Х.

3.3. Результати стендових випробувань

Випробування проводили відповідно до методики, описаної в третій главі. Працездатність гідророзподільника оцінювали за величиною витоків у золотниковій парі. Працездатним вважається гідророзподільник, величина витоків у якого не перевищує 40 см³/хв [2, 5].

Результати стендових випробувань наведено на рис. 3.6.

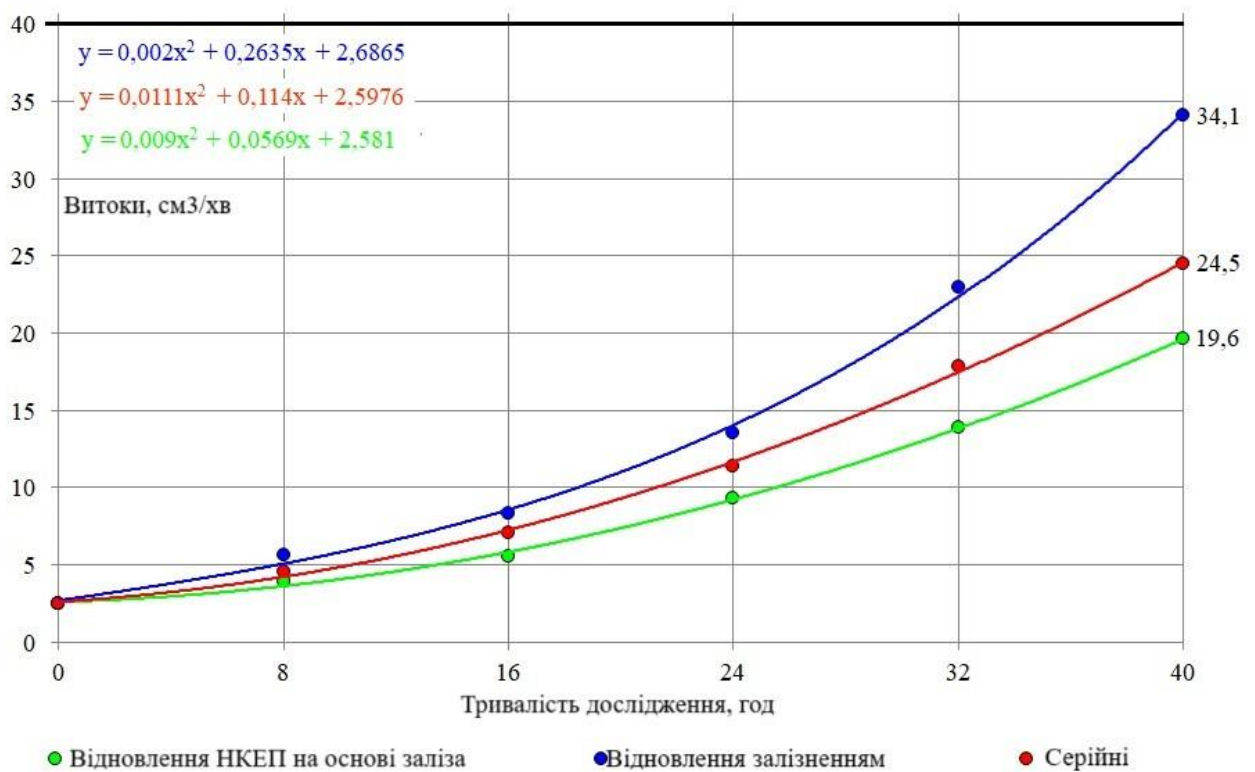


Рис. 3.6. Результати стендових випробувань гідророзподільників

Після проведення стендових випробувань було встановлено, що жоден з гідророзподільників не досяг граничного стану. Величина витоків у гідророзподільників, золотникові пари яких були відновлені з використанням НКЕП на основі заліза, становила 19,6 см³/хв, що у 1,75 раза менше порівняно з гідророзподільниками, золотникові пари яких відновлювали за чинною технологією, і у 1,25 раза менше, ніж у серійних гідророзподільників.

3.4. Результати експлуатаційних випробувань

Результати експлуатаційних випробувань найбільш повно відображають процес зношування золотникових пар, оскільки в цьому випадку знос не моделюється, а виникає під дією реальних навантажень під час роботи тракторів.

Випробування проводили за методикою, описаною в третій главі. Результати експлуатаційних випробувань наведено на рис. 3.7.

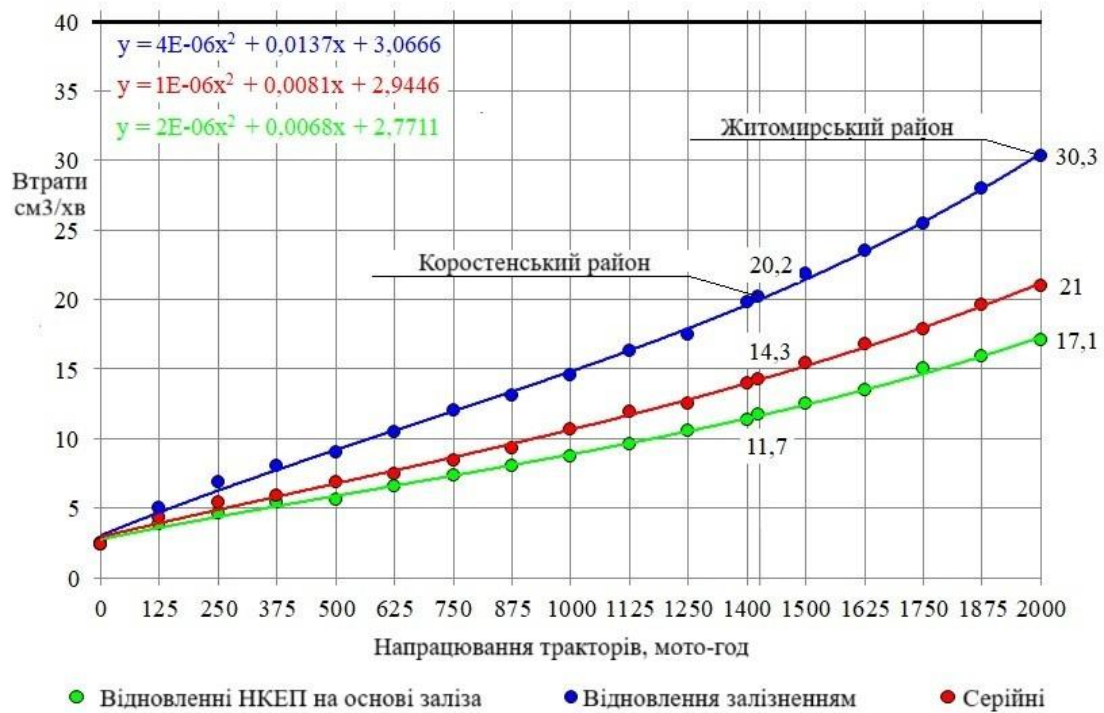


Рис. 3.7. Результати експлуатаційних випробувань гідророзподільників

Протягом усього періоду випробувань відмов дослідних гідророзподільників не зафіксовано. Середнє напрацювання тракторів, що випробовувалися в Коростенському районі, становило 1400 мото-годин. Величина витоків у гідророзподільниках, золотникові пари яких були відновлені НКЕП на основі заліза, становила 11,7 см³/хв, що у 1,75 раза менше порівняно з гідророзподільниками, золотникові пари яких відновлені за чинною технологією, і у 1,2 раза менше, ніж у серійних гідророзподільників.

Середнє напрацювання тракторів, що випробовувалися в Житомирському районі, становило 2000 мото-годин. Величина витоків гідророзподільників, золотникові пари яких були відновлені НКЕП на основі заліза, становила 17,1 см³/хв, що у 1,8 раза менше, ніж у гідророзподільників, золотникові пари яких відновлені за чинною технологією, і у 1,25 раза менше, ніж у серійних гідророзподільників.

Наведені дані дають змогу спрогнозувати залишковий ресурс гідророзподільників.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Аналіз літературних даних показав, що на гідравлічну систему сільськогосподарських тракторів припадає до 24 % відмов від їх загальної кількості. Однією з основних причин низької надійності гідравлічної системи є недостатній ресурс гідророзподільників (до 32 % відмов). Найінтенсивніше в процесі експлуатації зношуються золотникові пари, погіршення технічного стану яких призводить до порушення нормальної роботи всієї гідросистеми та підвищення собівартості виконуваних робіт. Причини порушення геометричної форми деталей золотникових пар визначаються переважно гідроабразивним зносом за наявності механічних домішок у гідравлічній рідині. Під час аналізу зношеного стану було встановлено, що найбільший сумарний знос, який виникає у золотниковій парі гідророзподільника, не перевищує 0,2 мм. Існуючі способи відновлення зазначеного спряження мають суттєві недоліки – вони трудомісткі та не забезпечують необхідного ресурсу. Проведений аналіз технологій відновлення деталей золотникової пари показав, що для корпусу гідророзподільника найбільш перспективним є спосіб відновлення зношених поясків алмазним хонінгуванням, а для золотника – нанесення наноконпозиційного електролітичного покриття на основі заліза. Використання зазначеного покриття дає змогу усунути більшість недоліків існуючих способів відновлення.

Порівняльні трибологічні випробування зразків пар тертя показали, що сумарний знос за масою пари тертя з наноконпозиційним електролітичним покриттям у 1,6–1,7 раза менший, ніж у пари тертя з класичним електролітичним покриттям, і в 1,3–1,4 раза менший, ніж у пари тертя без покриття.

Стендовими випробуваннями було встановлено, що величина витоків у гідророзподільників, золотникові пари яких відновлювали за розробленою технологією, у 1,7 рази менша, ніж у гідророзподільників, золотникові пари яких

були відновлені за існуючою технологією, і у 1,25 рази менша порівняно з серійними.

Експлуатаційні випробування показали, що величина витоків у гідророзподільників, золотникові пари яких були відновлені нанокompозиційним електролітичним покриттям, у 1,75 рази менша, ніж у гідророзподільників, золотникові пари яких відновлені за існуючою технологією, і у 1,2 рази менша, ніж у серійних.

На підставі результатів експлуатаційних випробувань шляхом прогнозування залишкового ресурсу агрегатів було встановлено, що ресурс гідророзподільників із золотниковими парами, відновленими за запропонованою технологією, у 1,55 рази більший, ніж у гідророзподільників, золотникові пари яких відновлені за існуючою технологією і у 1,2 рази більший, ніж у серійних гідророзподільників.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дерев'янка Д.А., Ковальчук М.В., Міняйло І.В. Аналіз способів відновлення та зміцнення золотникових пар гідророзподільників. Міжнародній науково-практичній конференції до Дня автомобіліста та дорожника "Сучасне автомобілебудування, транспорт і дорожня інфраструктура '2025" (MAITRI 2025). Харків, 30-31 жовтня 2025 року. С.
2. Савченко В.М., Міняйло І.В. Аналіз способів відновлення працездатності золотникових пар гідророзподільників. Збірник тез доповідей XXVI Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2025 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. С.
3. Міняйло І.В. Методи підвищення зносостійкості гідророзподільників сільськогосподарської техніки. Студентські читання–2025: матеріали науково-практичної конференції науково- педагогічних працівників та здобувачів вищої освіти факультету інженерії та енергетики. 30 жовтня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 36-39.
4. Мельянцов П.Т. Додаткові показники ремонтпридатності гідравлічних трансмісій мобільних машин при технічному обслуговуванні і ремонті. Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка, № 134. 2013 С. 44-51.
5. Martyak N. M. Annealing behavior of electroless nickel coatings. Metal Finish. 1994. Vol. 92, №6. P. 111-113.
6. 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.
7. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Міжнародний науковий журнал «Проблеми трибології». 2020. № 2. С 34–41.

8. Борак К. В. Impact of soil moisture on wear intensity of the actuating elements of soil processing machines. Проблеми трибології. 2020. № 2. С 34–41.
9. Rogovskii, I. L., Borak, K. V., Maksimovich, E. Yu., Smelik, V. A., Voinash, S. A., Maksimovich, K. Yu., & Sokolova, V. A. (2020). Wear resistance of blade and disc working bodies of tillage tilling machines hardened by electrodes. T-series. Journal of Physics : Conference Series. 1679 (4), art. №. 042084.
10. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.
11. Гевко Б. М., Білик С. Г., Ліник А. Ю., Фльонц О. В. Гідропривод і гідроавтоматика сільськогосподарської техніки. Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені І. Пулюя, 2015. 384 с.
12. Черновол М.І., Черкун В.Ю. Надійність сільськогосподарської техніки: підручник. Кіровоград: КОД, 2010. 320 с.
13. Погорілець М., Волянський М., Гідропривод сільськогосподарської техніки. Київ: Вища освіта, 2004. 368 с.
14. Дідур В.А., Савченко О.Д., Пастушенко С.І., Мовчан С.І.. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод. Запоріжжя: Прем'єр, 2005. 464 с.