

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи

освітнього ступеня "Магістр"

на тему:

**ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ
ПЛУНЖЕРНИХ ПАР ПАЛИВНИХ НАСОСІВ ВИСОКОГО
ТИСКУ КОМПОЗИТНИМИ ГАЛЬВАНІЧНИМИ ПОКРИТТЯМИ**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГМ-2-22
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

_____ Горган Роман Юрійович

Керівник: _____ Васильєв Дмитро Леонідович

Рецензент: _____

Дніпро 2023

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра: Інжинірингу технічних систем

Освітній ступінь: "Магістр"

Спеціальність: 208 "Агроінженерія"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

К.Т.Н. ДОЦЕНТ

(вчене звання)

(підпис)

Дудін В.Ю.

(прізвище, ініціали)

”_____” _____ 2023 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Горгану Роману Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Обґрунтування технології відновлення плунжерних пар паливних насосів високого тиску композитними гальванічними покриттями

керівник роботи д.т.н. доц. Васильєв Д.Л.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 09.11.2023 року
№ 3422

2. Строк подання студентом роботи до 1.10.2023

3. Вихідні дані до роботи Існуючі методи відновлення плунжерних пар паливних насосів автотракторних двигунів. Аналіз конструкцій, матеріалів та зносів плунжерних пар паливних насосів автотракторних двигунів. Показники стану охорони парці в базовому господарстві. Техніко-економічні показники роботи базового підприємства.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання та задачі досліджень. 2. Теоретичне обґрунтування ефективності відновлення плунжерних пар. 3. Методика експериментальних досліджень. 4. Результати експериментальних досліджень. 5. Охорона праці та безпека життєдіяльності. 6. Техніко-економічні показники роботи. Загальні висновки та пропозиції. Список літератури. Додатки

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Тема (1 аркуш, А4). 2. Мета і задачі досліджень (1 аркуш, А4). 3. Аналіз надійності агрегатів ПА (1 аркуш, А4). 4. Обладнання що, застосовується для експериментальних досліджень (1 аркуш, А4). 5 загальна методика проведення експериментальних досліджень (1 аркуш, А4). 6. Результати проведених експериментальних досліджень (4 аркуша, А4). 10. Маршрутна технологія відновлення ПП (1 аркуш, А4). 11. Економічні показники (1 аркуш, А4). 12. Висновки (2 аркуша, А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 4	Васильєв Д.Л., д.т.н., доцент		
5	Деркач О. Д., к.т.н., доцент		
6	Вінніченко І. І., д.е.н., професор		
Нормоконтролер	Івлєв В.В., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання: _____.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Пошукова частина роботи	до 01.10.2023	
2	Теоретичне обґрунтування роботи	до 25.10.2023	
3	Експериментальне підтвердження роботи	до 15.11.2023	
4	Охорона праці та безпека життєдіяльності	до 20.11.2023	
5	Економічне обґрунтування роботи	до 25.11.2023	
6	Демонстраційна частина	до 01.12.2023	

Студент

_____ Горган Р.Ю..
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Васильєв Д.Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Горган Р.Ю. Обґрунтування технології відновлення плунжерних пар паливних насосів високого тиску композитними гальванічними покриттями / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2023.

Робота складається з шести розділів із загальними висновками, списку використаних джерел та додатку.

У першому розділі представлено аналітичне дослідження надійності вузлів паливної апаратури автотракторних двигунів. Також проаналізовано види зносу елементів паливної системи, а також методи відновлення деталей паливної апаратури.

У другому розділі наведено теоретичне обґрунтування особливостей методу отримання дисперсно-зміцнених гальванічних композитних покриттів.

У розділі 3 розроблено методіку експериментального дослідження та наведено обладнання і інструменти для виконання гальванічних покриттів та їх обробки.

У розділі 4 наведено результати експериментальних досліджень.

П'ятий розділ присвячено питанням охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Розділ 6 присвячений техніко-економічному обґрунтуванню.

Робота складається з 76 сторінок пояснювального матеріалу і 12 слайдів.

Ключові слова - КАПІТАЛЬНИЙ РЕМОНТ, ГАЛЬВАНІЧНІ ПОКРИТТЯ, ВІДНОВЛЕННЯ, ПЛУНЖЕР, ГІЛЬЗА ПЛУНЖЕРА, ПЛУНЖЕРНА ПАРА, ПАЛИВНА АПАРАТУРА.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ. МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ ПЛУНЖЕРНИХ ПАР ПНВТ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ. ЦІЛІ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	12
1.1 Особливості експлуатації плунжерних пар ПНВТ	12
1.2 Аналіз експлуатації плунжерних пар ПНВТ	15
1.3. Висновки. Постановка цілей і завдань дослідження	21
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДПОЗИЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ ГАЛЬВАНІЧНИХ КОМПОЗИТНИХ	23
ПОКРИТТІВ З ДІЕЛЕКТРИЧНИМ НАПОВНЮВАЧЕМ.....	23
2.1 Процес отримання дисперсно-зміцнених гальванічних композитних покриттів з діелектричним наповнювачем.....	23
2.2. Висновки	30
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	31
3.1 Програма досліджень.....	31
3.2 Вимоги до процесу нанесення дисперсно-зміцнених гальванічних композитних покриттів на основі хрому з діелектричним наповнювачем	31
3.3 Методика вибору наповнювача для отримання гальванічних композитних покриттів на основі композитних покриттів на основі хрому	33
3.4 Технологічне оснащення для реалізації методу	36
3.5. Методика проведення експериментальних досліджень.....	38
3.6. Висновки	43

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ НАНЕСЕННЯ ДИСПЕРСНО-ЗМІЦНЕНИХ КОМПОЗИТНИХ ГАЛЬВАНІЧНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ ХРОМУ	44
4.1 Дослідження впливу основних показників процесу на мікротвердість покриття	44
4.3 Дослідження впливу основних показників процесу на шорсткість поверхні після покриття	48
4.4. Структура покриттів	50
4.5. Результати трибологічних випробувань	52
4.10. Модернізація технології відновлення плунжерних пар з урахуванням ведення операції нанесення гальванічних дисперсно-зміцнених покриттів на основі хрому.....	54
4.11 Висновки	56
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	58
5.1 ОП на ділянці з гальванічного відновлення деталей. Загальні відомості	58
5.2. Аналіз шкідливих і небезпечних факторів, які присутні при виконанні гальванічних робіт	59
5.3. Заходи безпечної роботи працівників у гальванічному цеху	62
5.4. Заходи щодо захисту від небезпечних факторів.....	63
5.5. Висновок	64
6. КАЛЬКУЛЯЦІЯ СОБІВАРТОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ПЛУНЖЕРНОЇ ПАРИ	65
6.1. Розрахунок економічних показників	65
6.2. Висновок по розділу 6	68
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	69

ЛІТЕРАТУРА	71
ДОДАТКИ.....	75

ВСТУП

Одне з найважливіших завдань ремонтного виробництва сільськогосподарської техніки полягає в підвищенні довговічності машин і механізмів. Експлуатаційна надійність елементів паливної системи дизельних двигунів значною мірою визначає екологічну безпеку двигуна, стабільність і безвідмовність його роботи, а також його експлуатаційно-економічні показники.

Знос плунжерних пар дизельного двигуна сільськогосподарської техніки є причиною відмови системи живлення в 30-50% випадків усіх відмов силових установок [1, 2, 3]. Це спричинено високим тиском під час прокачування палива, якістю застосовуваних матеріалів під час виготовлення вузлів, якістю складання, заклинюванням тощо. Але головна причина полягає в якості використовуваного дизельного палива, яке у своєму складі має тверді механічні частинки, що веде до появи ефекту абразивного зношування.

З огляду на те, що для виготовлення плунжерних пар застосовують високолеговану сталь, а самі вони є прецизійними деталями, що накладає високі технологічні та економічні вимоги до їхнього виробництва, очевидно, що їхнє відновлення призведе до значної економії матеріальних і часових витрат. Основними способами відновлення працездатності плунжерних пар паливних насосів високого тиску (ПНВТ) є шліфування під ремонтний розмір з подальшим контактним приварюванням сталеві стрічки, індукційним відцентровим наплавленням, термопластичним деформуванням, електродуговою металізацією [1, 4].

Всі перераховані вище методи вимагають обов'язкової фінішної операції шліфування, яка, будучи за своєю суттю високотемпературним методом впливу, веде до утворення на відновленій поверхні мікротріщин, які, будучи концентраторами напружень, призводять до відколів і викришування на робочій поверхні деталей. Це веде до заклинювання плунжерної пари і, як наслідок, повного виходу з ладу ПНВТ. При цьому необхідно пам'ятати, що всі високотемпературні процеси ведуть до подальшого викривлення і, як наслідок, до просторових деформацій відновлюваних вузлів, що значною мірою

знижує їхній ресурс, а це небажано для прецизійних деталей, до числа яких належить плунжерна пара ПНВТ.

З огляду на вищесказане, зрозуміло, що найперспективнішими способами відновлення для плунжерних пар ПНВТ мають бути процеси, що протікають за низьких температур, які мінімізують, а в ідеалі унеможливають подальше механічне оброблення. До таких методів насамперед можна віднести гальванічні способи відновлення і насамперед хромування. Цей спосіб дає змогу наносити найбільш зносостійкі покриття, проте він має цілу низку недоліків. Хромування, що застосовується під час відновлення зношених деталей, значно знижує надійність прецизійних вузлів. Причина цього - недолік, притаманний усім зносостійким хромовим покриттям, а саме: низька корозійна стійкість і негерметичність їх при високих тисках у системі, що проявляються внаслідок наявності в покритті розвиненої сітки пір та тріщин, яка є результатом високих розтягувальних залишкових напружень у ньому, що перевищують межу міцності хрому, що спричиняє його руйнування та, як наслідок, призводить до виходу з ладу плунжерної пари [5]. Розтріскуванню покриттів сприяє і механічна обробка деталі до відновлення та покриття і після його нанесення. Крім цього гідропневморозподільники відрізняються малими діаметрами робочих органів, що призводить до неконтрольованої зміни концентрації робочого середовища в процесі осадження покриттів, та відповідно до зміни його густини. Це не дає змоги вести процес відновлення з підтриманням стабільних електрохімічних і гідродинамічних параметрів обробки.

Вихід із ситуації, що склалася під час відновлення деталей, пропонується знайти шляхом отримання в процесі електролізу стискаючих залишкових напружень, що виключить можливість розтріскування покриття під час експлуатаційних навантажень. Це дає змогу досягати нестационарного методу осадження дисперсно-зміцнених гальванічних композитних покриттів (ГКП), який не потребує фінішної механічної обробки шліфуванням, - гальваноконтрастного осадження (ГКО). Відновлення плунжерних пар ПНВТ пропону-

ється методом нанесення ГКП на основі хрому, оскільки ця матриця має до-
сить високу мікротвердість і зносостійкість.

Мета роботи - підвищення експлуатаційної ефективності плунжерних
пар ПНВТ дизельних двигунів сільськогосподарської техніки при відновлен-
ні дисперсно-зміцненим композитним покриттям на основі хрому з діелект-
ричним наповнювачем.

Досягнення поставленої мети вимагає розв'язання таких завдань дослі-
дження

1. На підставі літературних даних і патентного пошуку вивчити причи-
ни відмов сільськогосподарських машин через вихід з ладу плунжерних пар
ПНВТ і способи їх відновлення;

2. Обґрунтувати теоретично можливість забезпечення необхідної зно-
состійкості плунжерних пар ПНВТ при відновленні їх гальванічним компо-
зитним покриттям на основі хрому з діелектричним наповнювачем.

3. Розробити регресійні моделі, що пов'язують технологічні параметри
відновлення деталей з фізико-механічними властивостями робочих повер-
хонь виробів і визначити раціональні режими нанесення гальванічного компо-
зитного покриття на основі хрому з діелектричним наповнювачем.

4. На основі розробленого способу запропонувати технологію віднов-
лення плунжерних пар ПНВТ із застосуванням гальванічного композитного
покриття на основі хрому з діелектричним наповнювачем.

5. Провести стендові та експлуатаційні випробування плунжерних пар і
визначити техніко-економічну ефективність розробленої технології їх відно-
влення.

Об'єкт досліджень. Композитні гальванічні покриття на основі хромо-
вої матриці з діелектричним наповнювачем, нанесені способом гальванокон-
тактного осадження (ГКО) на зношену поверхню.

Предмет дослідження. Фізико-механічні характеристики композитних
гальванічних покриттів з діелектричним наповнювачем, отриманих методом
ГКО, та закономірності їх формування.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ. МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ ПЛУНЖЕРНИХ ПАР ПНВТ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ. ЦІЛІ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Особливості експлуатації плунжерних пар ПНВТ

На сучасному етапі 92 % сільськогосподарської техніки використовують як силову установку дизельні двигуни [2].

У процесі експлуатації надійність обладнання знижується. Аналіз відмов агрегатів тракторів дозволив виявити найменш надійні з них [2, 5, 6, 7]. Дані наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Розподіл кількості відмов агрегатів тракторів, %.

Найменування агрегатів і систем	Трактора		
	ХТЗ-170	ХТЗ17221	Т-16
Двигун загалом	26,5	30,3	25,5
у тому числі			
система живлення	38,8	37,0	46,7
система охолодження	29,0	30,0	26,6
система змащення	12,4	5,0	6,0
газорозподільний механізм	7,1	10,0	5,3
Компресор	6,2	5,0	7,1
головка блоку, болти, тощо	6,5	13,0	8,3
Електрообладнання	18,2	20,4	17,8
Ходова частина	13,5	9,3	11,8
Гальмівна система	13,7	12,0	18,8
Трансмісія	10,7	16,7	12,6
Платформа	11,2	7,1	7,2

Кабіна з арматурою	3,2	1,4	1,3
Рульове управління	2,1	2,4	4,8
Інші	0,9	0,4	0,2

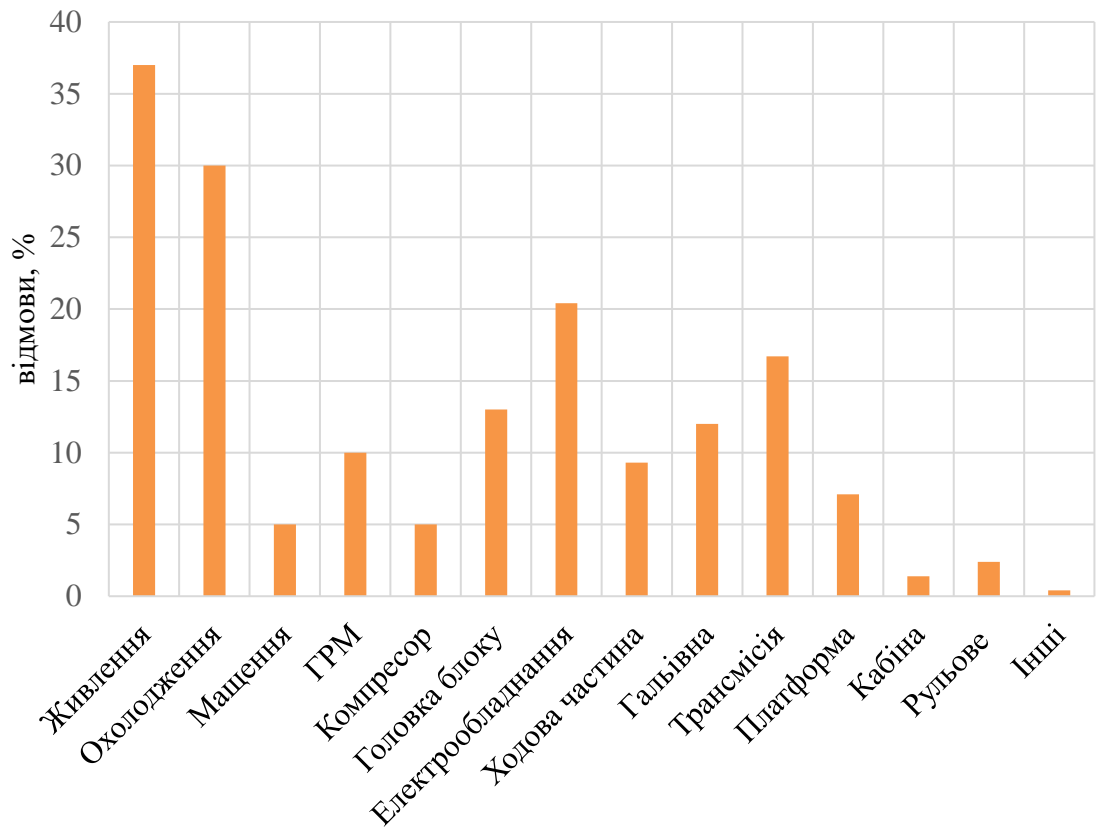


Рис. 1.1. Відмови систем та механізмів трактора ХТЗ 17221

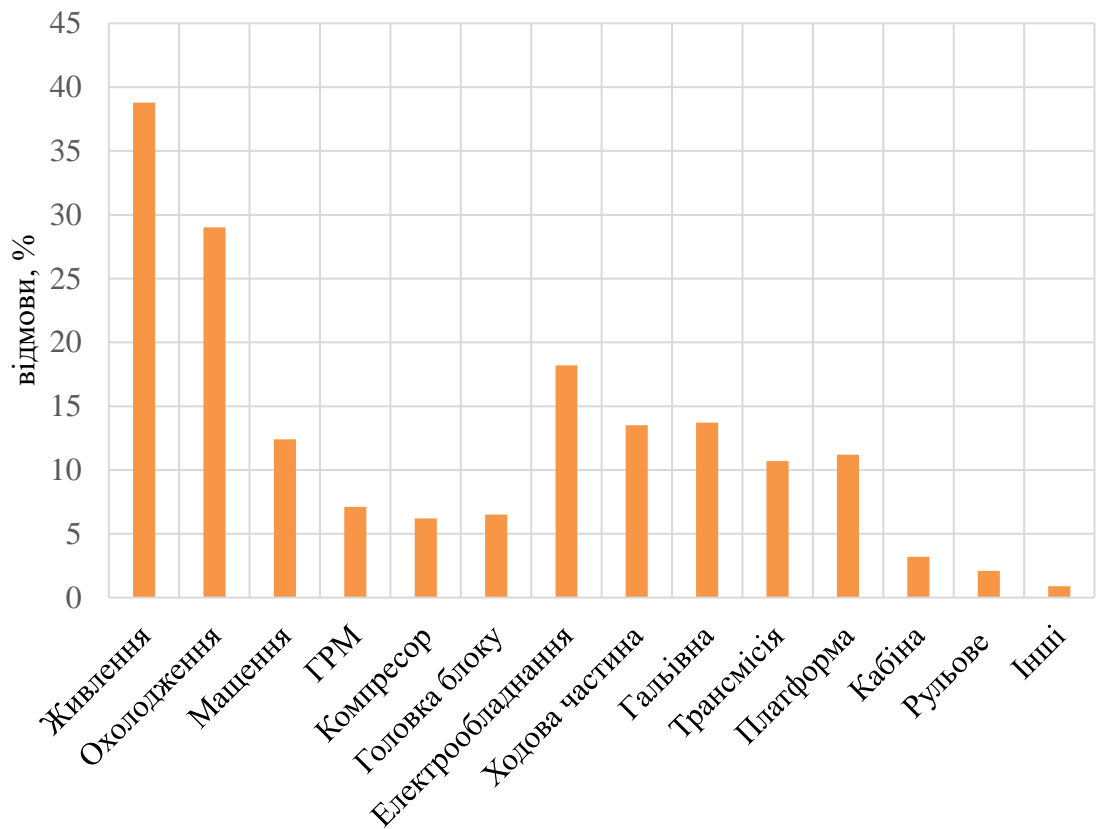


Рис. 1.2. Відмови систем та механізмів трактора ХТЗ 170

Як видно з таблиці 1.1, найчастіші відмови припадають на систему живлення двигуна, одним із відповідальних елементів якої є плунжерна пара ПНВТ. Зниження ефективності її роботи призводить до падіння потужності двигуна, зниження ресурсу циліндрпоршневої групи (ЦПГ) внаслідок прискореного утворення нагару, спричиненого порушенням подавання пального в камеру згоряння, зносу кривошипно-шатунного механізму внаслідок нерівномірних динамічних навантажень [2, 6, 7].

Плунжерні пари дуже чутливі до якості дизельного пального і, особливо, до наявності в ньому механічних домішок, тому що технологічний зазор між поршнем і гільзою становить 0,6 - 2 мкм. Попадання твердих включень, що перебувають у паливі між рухомими частинами плунжерної пари, призводить до значного їхнього зношування і, як наслідок, виходу плунжерної пари і ПНВТ з ладу [2, 6, 7].

Розподіл відмов плунжерних пар різних насосів наведено на рис. 1.3.

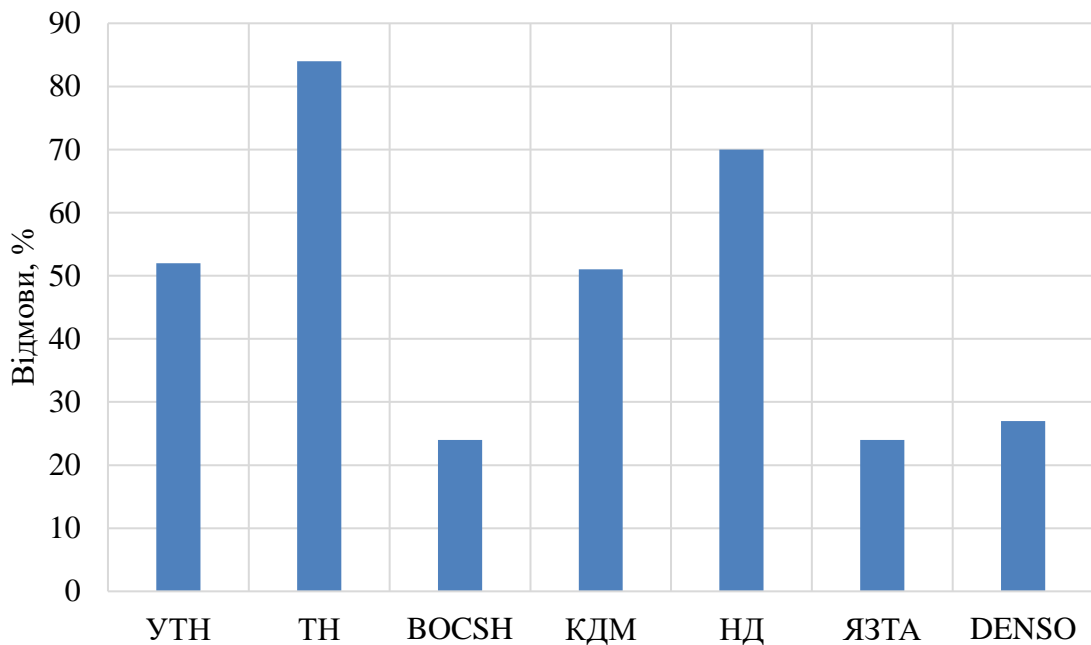


Рис. 1.3. Відмови плунжерних пар різних паливних насосів

1.2 Аналіз експлуатації плунжерних пар ПНВТ

Плунжерні пари експлуатуються в умовах підвищеного тиску робочого середовища, високої його швидкості протікання, а також наявності механічних домішок у середовищах, що переміщуються.

Літературні дані [2, 5, 6, 7] свідчать, що основним фактором, який спричиняє зношування елементів плунжерної пари, є наявність механічних домішок у паливі, яке перекачується. Детальне вивчення складу дизельного пального показало, що 90% забруднення складається з кварцу та оксидів металів (Fe_2O_3 , Al_2O_3 , ZnO тощо). Як відомо мікротвердість таких включень дуже висока і становить для кварцу 10300 - 11000 МПа, для оксиду алюмінію 10000 - 12000 МПа. Для порівняння, мікротвердість робочих поверхонь плунжерних пар ПНВТ коливається в межах 9000 - 10500 МПа [8]. Порівнюючи ці дані, стає очевидною причина абразивного зношування контактних поверхонь.

Слід зазначити, що в процесі експлуатації плунжерних пар відбувається абразивне стирання робочих поверхонь внаслідок потрапляння твердих

часток у робочий зазор між поршнем і втулкою та гідроабразивне спрацьовування, спричинене впливом часток домішки пального за їхнього швидкісного руху відносно робочих поверхонь.

Гідроабразивне спрацьовування спричинене спільною дією палива і твердих частинок, що містяться в ньому. Механізм зносу полягає у зрізанні мікрошарів, вимиванні порушених шарів матеріалу та впровадженні рідини в робочі поверхні.

Особливість зносу плунжерних пар проявляється в утворенні зон підвищеного зносу, що дістали назву місцевих зносів, які не охоплюють всю верхню плунжерної пари. Так, у гільзи найбільший знос спостерігається вище за впускне і нижче за перепускне вікно, а у плунжера в зонах безпосередньо біля впускного вікна і біля відсічної кромки.

Розташування цих зон зносу не випадкове і пояснюється найбільш інтенсивним протіканням палива в моменти нагнітання і перетікання його в кінцевому моменті нагнітання.

Більшість авторів [2, 7, 8] у своїх роботах зазначають, що найбільшого зносу зазнає частина плунжера, що примикає до впускного вікна гільзи. Величина зносу безпосередньо біля кромки досягає 30 - 35 мкм, а на відстані 1 мм від кромки 20 - 25 мкм. По ширині знос досягає 7,5 мм по колу плунжера симетрично щодо впускного вікна, а по довжині знос досягає 9 - 10 мм від верхньої кромки.

Особливістю виникнення місцевих зносів можна назвати утворення западин зі збільшеною глибиною до країв у плунжера і у гільзи. Це свідчить про наявність процесу гідроабразивного зношування.

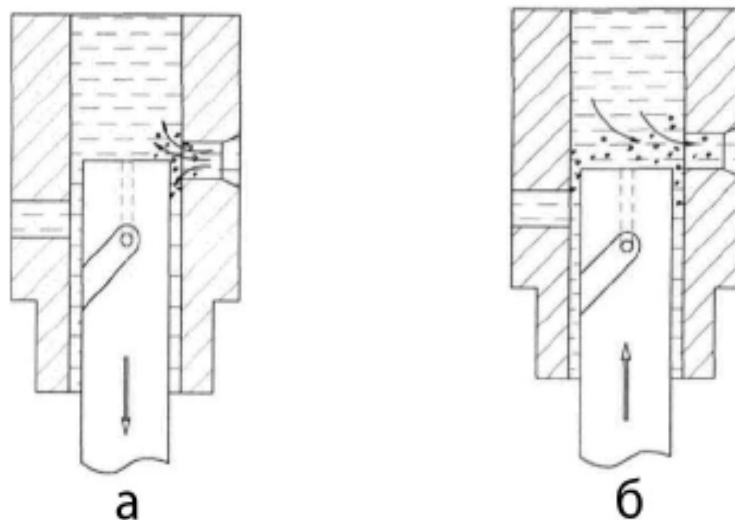
На підставі вищесказаного логічно уявити, що процес зношування плунжерної пари протікає за такою схемою. У початковий момент часу подачі палива (рис. 1.4а) абразивні частинки, що містяться в ньому, піддають зносу кромку впускного вікна гільзи і кромку плунжера навпроти вікна гільзи. У момент часу, відповідний початку нагнітання палива (рис. 1.4б), процесу нагнітання (рис. 1.4в) і під час відсікання подачі (рис. 1.4 г), тверді частки, які

перебувають у паливі та рухаються разом із ним, піддаються зносу крайки вікон гільзи і плунжера. Частинки, що потрапили в технологічний зазор плунжерної пари, піддають абразивному зношуванню циліндричну поверхню плунжера і гільзи.

У циклі відсічення подачі (рис. 1.4г) струмінь палива завихрюється при виході з перепускного вікна.

Це призводить до того, що абразивні частинки, що містяться в паливі, б'ються об поверхню плунжера, яка розташована вище відсічної кромки. Внаслідок цього на плунжері утворюються численні мікроскопічні вм'ятини. Паливо, що рухається з великою швидкістю, розмиває дефектні осередки, до яких належать мікроскопічні вм'ятини. У процесі експлуатації плунжерної пари разом із паливом у технологічний зазор потрапляють абразивні частинки (рис. 1.4в). Частинки, що мають розмір, менший від технологічного зазору між гільзою і плунжером, рухаючись разом із паливом, наносять подряпини на поверхню плунжера і гільзи. Більші частки розклинює в зазорі плунжерної пари, і вони зношують робочі поверхні деталей внаслідок абразивного зношування з утворенням борозенок, напрямком яких збігається з напрямком руху плунжера (рис. 1.5).

Необхідно зазначити, що за інших рівних умов швидкість зношування плунжерної пари ПНВТ зростає в разі збільшення протікання палива через зазори.



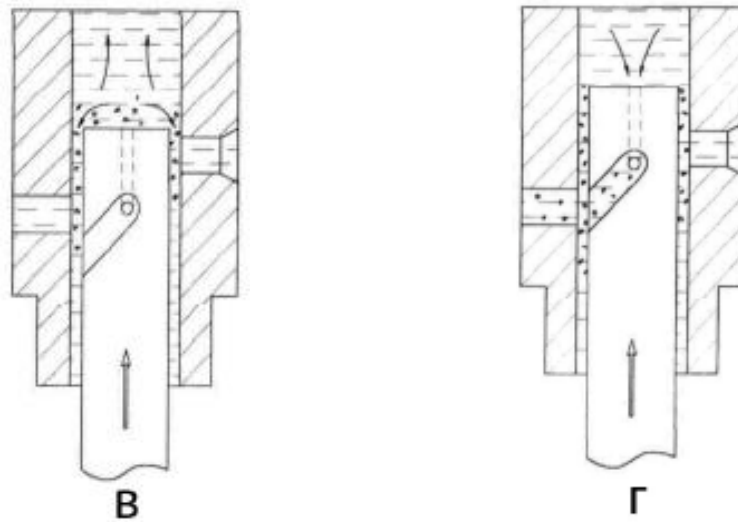


Рисунок 1.4 - Характер зносу

а - момент впорскування палива; б - початок впорскування палива; с - момент закінчення впорскування палива; д - момент відключення

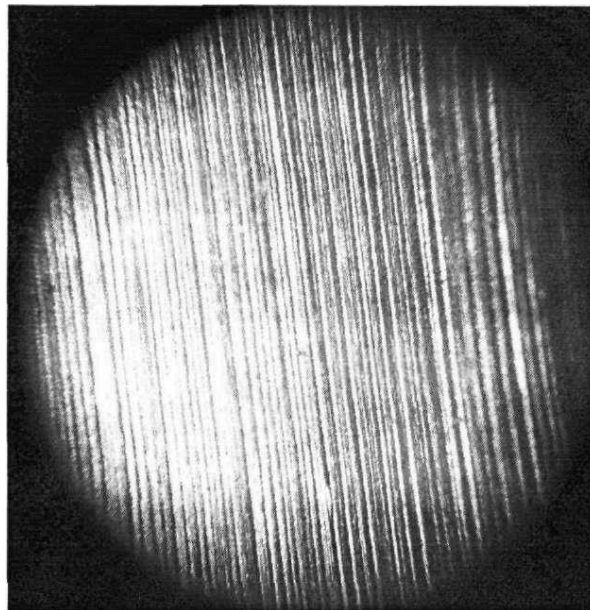


Рис. 1.5 - Зовнішній вигляд поверхні плунжера після експлуатації (x80)

Згідно [9] знос плунжерних пар поділяється на такі види: абразивний, натири, кавітація, корозія і руйнування робочих поверхонь, їх розподіл наведено на рис. 1.6.

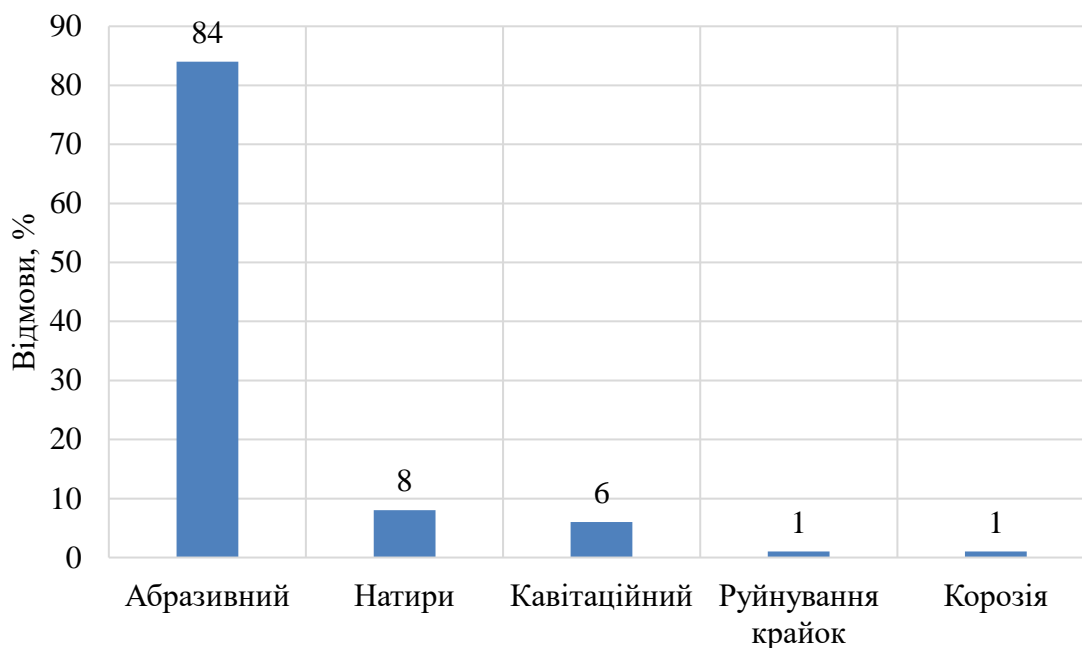


Рис. 1.6. Види зносу плунжерної пари

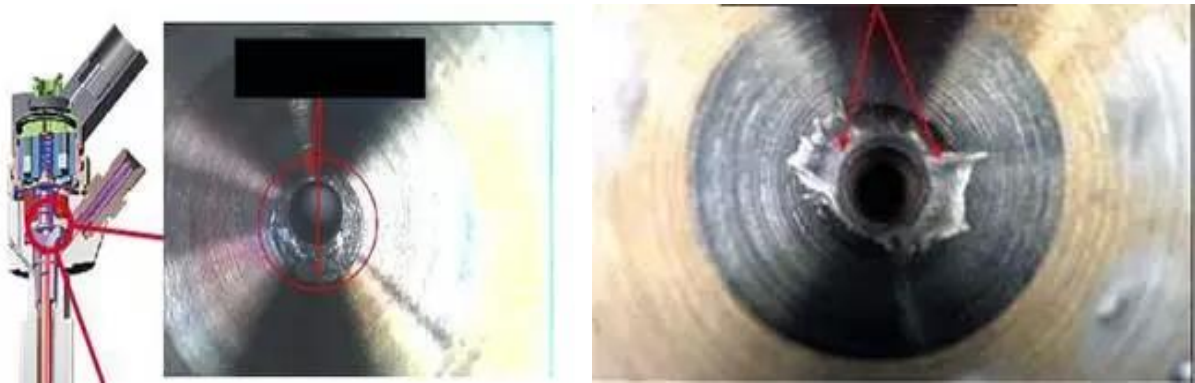
Представлений механізм зношування плунжерної пари ПНВТ пояснює всі розглянуті вище особливості зносу.

Однак, до всього вищесказаного необхідно додати, що крім абразивних частинок, які чинять негативний вплив на довговічність плунжерної пари, в паливі ще є вода, присутність якої сприяє утворенню електролітів водорозчинних кислот, які спричиняють активну корозію сталевих деталей [10].

Підбиваючи підсумки сказаного, видно, що знос деталей має складний гідроабразивний характер. За статистикою плунжер зношується в 1,5-2 рази більше, ніж втулка, і величина його зносу не перевищує 40 мкм.

У зв'язку з цим технологія відновлення плунжерних пар ПНВТ повинна забезпечувати отримання поверхневого шару з високою корозійною стійкістю, товщиною не менше 40 мкм і мікротвердістю не менше 12000 МПа, щоб перевершити мікротвердість домішок палива.

Приклади руйнування та зносу деталей паливної апаратури наведені на рис. 1. 7.



Абразивний знос мультиплікатора форсунки



Руйнування плунжера ПНВТ



Абразивний знос робочої поверхні та сліди захоплення



Бруд, та вода в колодязі плунжерної пари

Рис. 1.7. дефекти деталей паливної апаратури

1.3. Висновки. Постановка цілей і завдань дослідження

На підставі аналізу літературних даних, можна зробити такі висновки:

1. Ресурс плунжерної пари безпосередньо залежить від фізико-механічних властивостей поверхневого шару, механічних властивостей поверхневого шару плунжера і гільзи, а також від мікрогеометрії поверхні;

2) Характер зносу плунжерних пар полягає в утворенні зон підвищеного зносу, що дістали назву місцевих зносів, які не охоплюють усю поверхню плунжерної пари, що за наявності відповідних технологій дає змогу проводити "місьцеве" відновлення, яке є значно економнішим, ніж стандартне;

3. Для забезпечення задовільної зносостійкості плунжерних пар, твердість поверхневого шару поверхонь, що контактують, має бути не меншою за 12000 МПа.

4. Забезпечення нормальних умов експлуатації вимагає наявності поверхневого шару з мікрогеометрією $Ra \leq 0,04$ мкм.

Мета цих досліджень - підвищення довговічності та зниження собівартості відновлення плунжерних пар ПНВТ дизельних двигунів сільськогоспо-

дарської техніки способом гальваноконтактного осадження композитного покриття на основі хрому з діелектричним наповнювачем.

Відповідно до мети було поставлено такі завдання:

1. На підставі літературних даних і патентного пошуку вивчити причини відмов сільськогосподарських машин через вихід з ладу їхніх ПНВТ і способи їх відновлення;

2. Обґрунтувати теоретично можливість забезпечення необхідної зносостійкості плунжерних пар ПНВТ при відновленні їх гальванічним композитним покриттям на основі хрому з діелектричним наповнювачем.

3. Розробити регресійні моделі, що пов'язують технологічні параметри відновлення деталей з фізико-механічними властивостями робочих поверхонь виробів і визначити раціональні режими нанесення гальванічного композитного покриття на основі хрому з діелектричним наповнювачем.

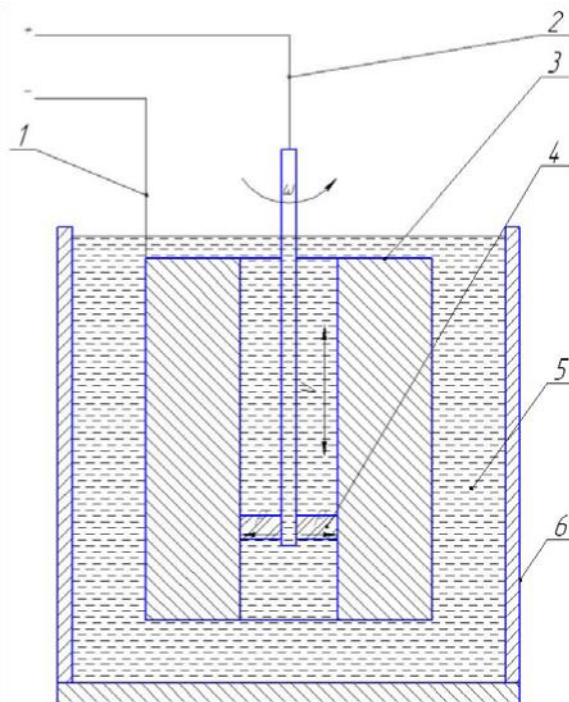
4. На основі розробленого способу запропонувати технологію відновлення плунжерних пар ПНВТ із застосуванням гальванічного композитного покриття на основі хрому з діелектричним наповнювачем.

5. Провести стендові та експлуатаційні випробування плунжерних пар і визначити техніко-економічну ефективність розробленої технології їх відновлення.

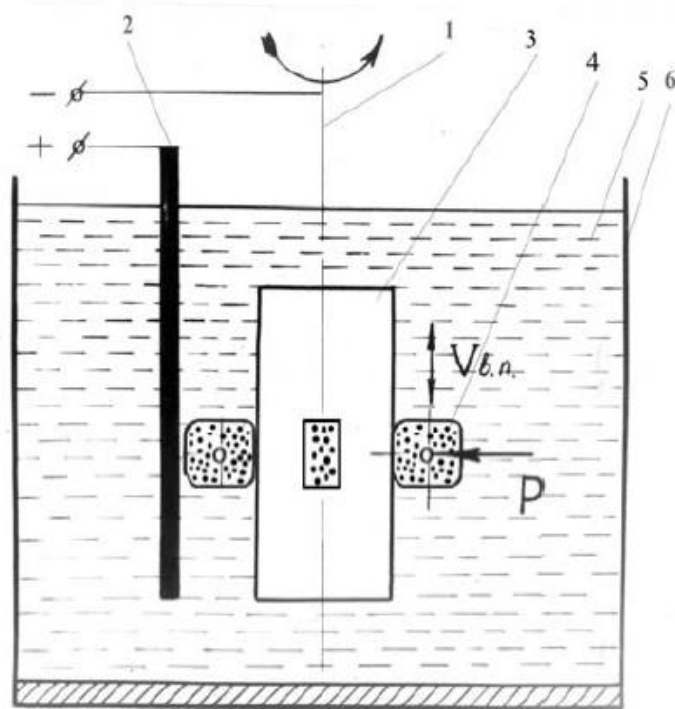
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДПОЗИЦІЇ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ ГАЛЬВАНІЧНИХ КОМПОЗИТНИХ ПОКРИТТІВ З ДІЕЛЕКТРИЧНИМ НАПОВНЮВАЧЕМ

2.1 Процес отримання дисперсно-зміцнених гальванічних композитних покриттів з діелектричним наповнювачем

Особливість методу отримання дисперсно-зміцнених гальванічних композитних покриттів полягає у впровадженні твердих включень у гальванічну матрицю за одночасної періодичної пружно-пластичної деформації зростаючих шарів покриття в процесі їх осадження за допомогою інструменту. Принципова схема обробки показана на рис. 2.1. Слід враховувати, що періодичний механічний вплив на кристали гальванічного хрому, що ростуть, викликає тимчасову зупинку їхнього росту в момент проходження зони механічної активації інструментом. Це формує шар композитного покриття.



а



б

Рисунок 2.1 - Схема нанесення гальванічних композитних покриттів на внутрішні поверхні (а) і на зовнішні поверхні (б):

1 - катод; 2 - анод; 3 - деталь; 4 - інструмент; 5 - електроліт, 6 - бак.

Після проходження інструменту ріст кристалів поновлюється до наступного їхнього контакту з інструментом, що формує наступний шар гальванічного композитного покриття. З огляду на цю особливість способу, зрозуміло, що на поверхні деталі виходить шаруватий композит [11].

Як наповнювачі використовують порошки нітридів, карбідів, оксидів, силіцидів тощо. [12, 13, 14]. Слід зазначити, що у зв'язку з тим, що матеріали, які застосовують як наповнювач, мають різні фізико-механічні властивості, тому впровадженню в покриття піддаються як струмопровідні, так і не струмопровідні матеріали.

Порівняно зі стандартними гальванічними покриттями металами, гальванічні композитні покриття мають цілу низку переваг: здатність отримувати покриття з фізико-механічними властивостями, недосяжними для звичайних гальванічних покриттів, можливість отримувати гальванічні сплави.

З огляду на вищевикладене, величезний інтерес становить виявлення механізму отримання дисперсно-зміцнених гальванічних композитних покриттів.

У літературі [13, 14] розглядаються три основні стадії:

1. потрапляння частинок на поверхню катода;
2. утримання частинок на катоді;
3. зарощування частинок, що залишилися на катоді.

Потрапляння частинок на поверхню катода під час отримання дисперсно-зміцнених гальванічних композитних покриттів відбувається внаслідок прямого контакту інструменту з катодом. Інструмент містить у своєму складі частинки наповнювача, які мають бути впроваджені в гальванічну матрицю. Контактуючи з поверхнею оброблюваної деталі за рахунок сил тертя тверді частинки відокремлюються від інструменту і залишаються на поверхні катода. Як доведено в роботах [12, 13, 14] для отримання гальванічних композитних хромових покриттів тиск інструменту має бути не менше 0,1 МПа, а швидкість його переміщення по поверхні деталі не менше 0,015 м/хв.

Утримання частинок на катоді відбувається внаслідок адгезії, електричної взаємодії частинок з катодом, адсорбції тощо. [13]. Таким чином, зрозуміло, що для утримання частинок на відновлюваній поверхні необхідна як сукупність властивостей частинки, так і властивості гальванічної матриці та режими осадження.

Етап зарощування частинок, що залишилися на катоді, характеризує кількість дисперсних частинок, впроваджених у гальванічну матрицю, адгезію отриманого композитного покриття та його фізико-механічні властивості.

З огляду на те, що за твердженням авторів [12, 14] дефекти композитного покриття зароджуються зазвичай на гострих виступах і гранях частинок, слід застосовувати за можливості частинки кулястої форми.

Дослідження авторів у царині механізму утворення гальванічних композитних покриттів (ГКП) [14], дає змогу стверджувати, що утворення ГКП з

використанням струмопровідного і не струмопровідного наповнювача відбувається за різним сценарієм.

Отримання ГКП з використання електропровідних частинок здійснюється за зарощування частинки в покритті по всьому її периметру від вершини до основи (рисунок 2.2 а, б), а за використання частинок з малою електропровідністю зарощування починається біля її основи та поступово поширюється на всю частинку (рисунок 2.2 в, г).

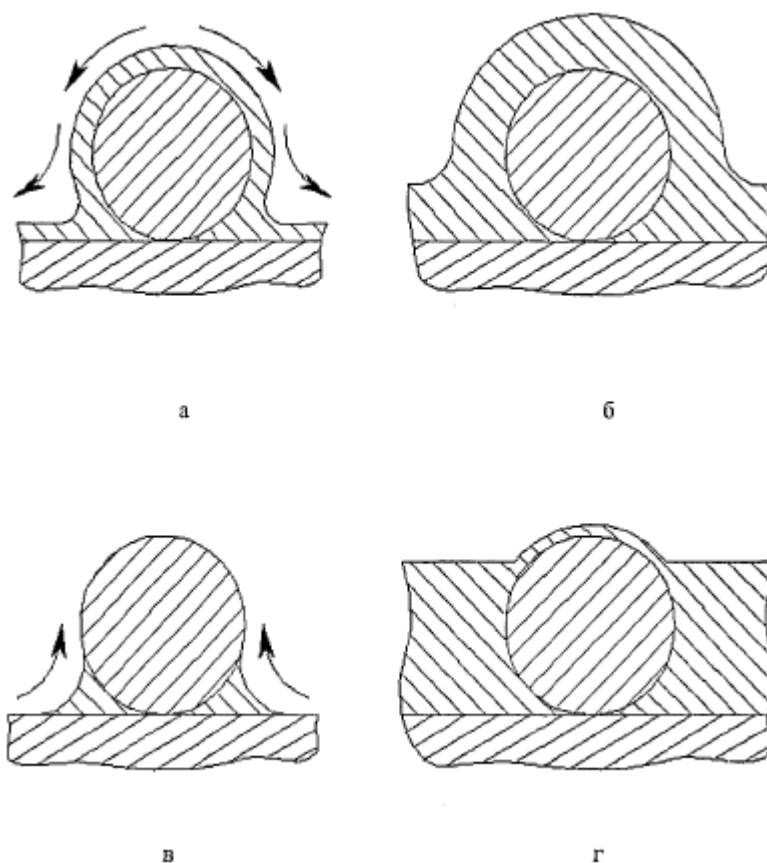


Рисунок 2.2. Схема заростання дисперсних струмопровідних дисперсних (а і б) і не струмопровідних (в і г) частинок

Механізм утворення гальванічних композитних покриттів у разі використання наповнювача різної провідності здійснюється таким чином. Якщо використовуються електропровідні частинки, то під час контакту з катодом вона зарощується гальванічною матрицею товщиною δ по всьому периметру контакту з катодом (рис. 2.3 а). Покриття, що осідає на поверхню деталі, має пружно-пластичні властивості.

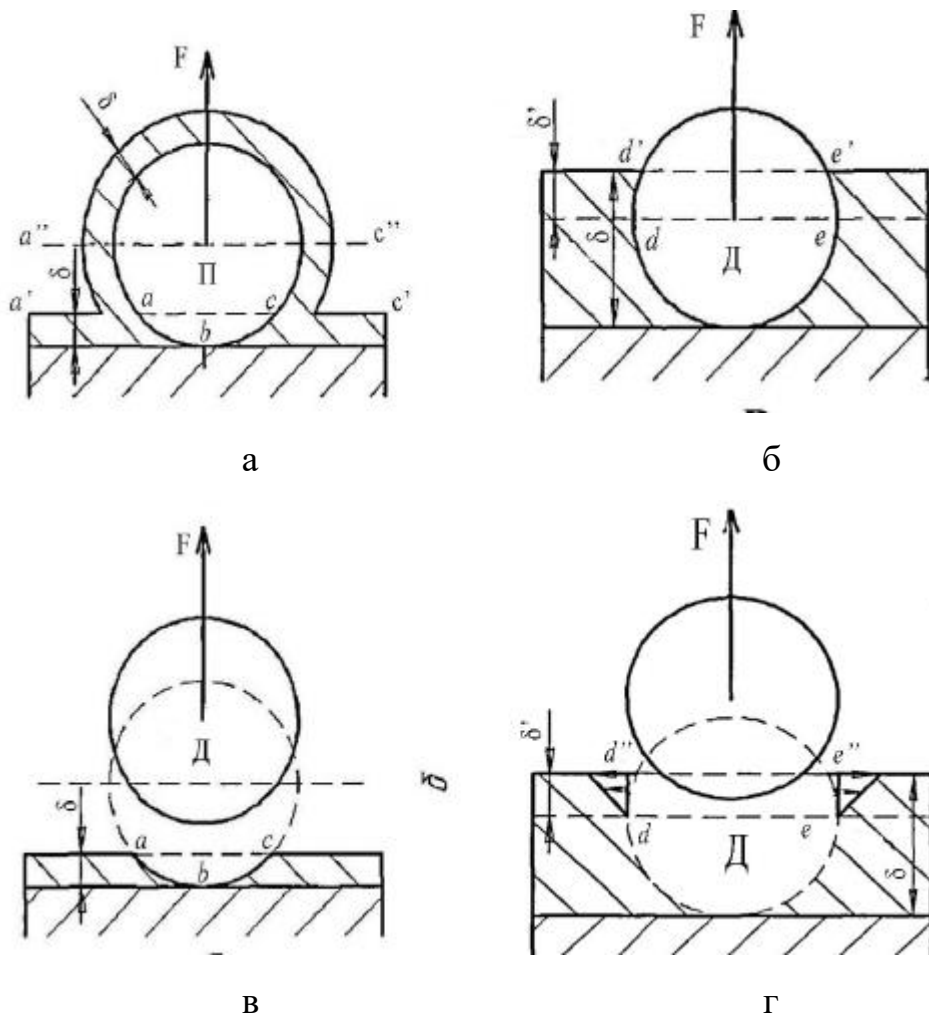


Рисунок 2.3 - Схема утворення гальванічних композитних покриттів при використанні струмопровідного (П) та діелектричного (Д) наповнювача

У цьому випадку утримання частинки на катоді можливе за умови, що сила реакції f при пружному деформуванні матеріалу покриття інструментом не перевищує міцності шару гальванічної матриці

$P_{\text{гм}} = \sigma_p F_{\text{гм}}$, обложеної по периметру частинки $\pi \cdot \delta$ її контакту з нею $F_{\text{гм}} = \pi \cdot \delta$ за час контакту твердої частинки між двома послідовними проходами інструментом даної точки і силу зчеплення f_c частинки з покриттям по контуру впровадження abc :

$$f < \sigma_p \pi \delta + f_c \quad (2.1)$$

де: σ_p - межа міцності матеріалу гальванічної матриці на розрив, МПа;

π - периметр контакту частинки з гальванічною матрицею, м;

δ - товщина шару металу матриці, що осаджується на частинку між двома послідовними проходами інструменту, м.

У разі застосування наповнювача для гальванічної матриці у вигляді діелектричного матеріалу (рис. 2.3 б) частинку зарощують не по периметру, а по півсфері, яка відповідає контуру впровадження її в гальванічну матрицю. При цьому висота металу, що утримує частинку на катоді дорівнює товщині осадженого шару гальванічної матриці δ .

У разі, коли δ не перевищує половини діаметра впроваджуваної частинки, її утримання на катоді практично неможливе через низьке зчеплення між гальванічною матрицею і впроваджуваною частинкою по контуру впровадження абс. У цьому разі під час повторного контакту цієї частинки з інструментом, вона буде видалена з катода. Однак, у разі, якщо товщина осадженого шару гальванічної матриці між двома послідовними проходами інструменту в цій точці покриття перевищує половину діаметра впровадженої частинки (рис. 2. 3 в), то вона буде затримана в гальванічній матриці завдяки міцності під час зсуву $P_{zm} = \sigma_{zc} \cdot F_{zm}$ шару обложеного металу, що контактує з частинкою на верхньому кордоні півсфери $dd' - ee'$ та становить

$$\delta' = \delta - 0,5d, \quad (2.2)$$

де d - діаметр вмонтовуваної частинки, мм, за умови, що сила впливу на частку основи завдяки її пружній деформації під час проходження інструменту не перевищує міцності матеріалу гальванічної матриці товщиною δ' :

$$f < P_{\delta'}, \quad (2.3)$$

У разі, якщо умова (2.1) не виконуватиметься і виникне ситуація, за якої $f > P_{\delta}'$, що зображено на рисунку 2.3 г, частинка наповнювача гальванічного композитного покриття буде видалена з катода зі зсувом металу матриці в напрямку, нормальному до напрямку реакції сили контакту частинки $dd''-ee''$.

Аналізуючи вищесказане, видно, що більш сприятливим є режим отримання гальванічних композитних покриттів з використанням діелектричних частинок. Це пов'язано з тим, що як видно зі схеми їхнього одержання (рис. 2.2) та як стверджують дослідники [14], покриття з використанням струмопровідних часток доволі пухкі та потребують додаткового механічного оброблення з метою ущільнення шарів покриття та зменшення шорсткості обложеного шару. При використанні не електропровідних частинок виходить більш рівномірне за товщиною покриття з меншою шорсткістю шару, що осаджується.

Тому доцільним є використання як наповнювача гальванічної матриці не електропровідних частинок розміром 0,01 - 0,03 мкм. Більші частинки за твердженням авторів [1, 6, 13, 15] важко піддаються зарощуванню шаром гальванічної матриці. Крім цього, необхідно враховувати, що твердість впроваджуваних частинок для зміцнення гальванічного покриття має бути більшою за твердість металу гальванічної матриці. У роботах, проведених раніше [13, 14, 15, 16], як наповнювач гальванічної матриці використовували карбід титану (TiC). У даній роботі, з огляду на вищесказане, доцільно використовувати порошок оксиду алюмінію (Al_2O_3) оскільки, не поступаючись карбиду титану за основними фізико-механічними параметрами, за своїми діелектричними властивостями він значно перевершує його. Електропровідність TiC становить 0,518 Ом-1м-1 проти електропровідності Al_2O_3 10-16 Ом-1м-1.

2.2. Висновки

- 1 Вивчено та розкрито процес отримання дисперсно-зміцнених гальванічних композитних покриттів;
2. Теоретично обґрунтовано доцільність застосування як дисперсного наповнювача гальванічних композитних покриттів діелектричних матеріалів;
3. Розкрито й аналітично описано механізм зміцнення гальванічних покриттів при впровадженні в них дисперсних наповнювачів;
4. Теоретично обґрунтовано й аналітично доведено можливість підвищення зносостійкості гальванічного композитного покриття при впровадженні в нього дрібнодисперсного наповнювача з мікротвердістю, яка перевершує мікротвердість гальванічної матриці.

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма досліджень

З огляду на цілі, поставлені в роботі, було прийнято таку програму досліджень:

- Дослідження режимних параметрів осадження гальванічних композитних покриттів на основі хрому з діелектричним наповнювачем на фізико-механічні властивості осадів;

- Дослідження мікроструктури покриттів;

- Стендові та експлуатаційні випробування ПНВТ з плунжерними парами, відновленими за пропонованою технологією. З метою забезпечення експериментальної чистоти та усунення випадкових похибок експерименту, вживалися такі заходи:

- Зразки для випробувань у межах однієї групи виготовляли зі сталі однієї марки та однієї плавки;

- Покриття наносили на одному обладнанні з електролітичної ванни одного складу за суворого дотримання технології;

- Протягом усього експерименту температура в приміщенні підтримувалася на рівні 20 ± 2 °C і відносної вологості повітря $55 \pm 5\%$;

- Коригування електроліту проводили щодня перед початком роботи.

3.2 Вимоги до процесу нанесення дисперсно-зміцнених гальванічних композитних покриттів на основі хрому з діелектричним наповнювачем

У представлений роботі висувається наукова гіпотеза: отримання високих фізико-механічних параметрів композитного покриття, що наноситься, досягається впровадженням в осад діелектричного дрібнодисперсного напов-

нювача з рівномірним деформуванням шарів гальванічної матриці, які облягають.

Необхідні умови процесу:

- Підтримка концентрації робочого середовища в заданих межах.
- Дотримання відповідності величини режимних параметрів процесу значенням, що визначаються технологією.
- Контроль ступеня зносу інструменту.

Одним із найважливіших моментів під час нанесення гальванічних покриттів є якість підготовки відновлюваної поверхні та подальша фінішна обробка нанесеного шару [1, 15, 16].

Однак варто зауважити, що механічна обробка поверхні деталі має низку істотних недоліків. Цей процес має високий ступінь вибраковування деталей, що досягає величини 97% для товстошарових покриттів [17, 18]. Крім того, механічна обробка веде до появи в товщі шару, що наноситься, мікротріщин, які є причиною тріщиноутворення покриття, що наноситься, і появи в ньому пористості. Цей факт унеможлиблює використання цих деталей в агресивних середовищах, коли до деталей висуваються вимоги корозійної стійкості [19].

У зв'язку з цим метою роботи буде розробка методу нанесення хромових покриттів на поверхні плунжерної пари ПНВТ, за якого механічне оброблення, як до нанесення гальванічного шару, так і після нього, буде або усунене, або зведене до мінімуму за суворого дотримання режиму осадження гальванічного композитного покриття.

Аналіз наявних робіт з висвітленої тематики показав, що всі наявні методи нанесення покриттів для відновлення деталей тією чи іншою мірою потребують попереднього механічного оброблення деталі (методи катодно-механічного осадження) або фінішного оброблення, після нанесення шару хрому (стандартна технологія відновлення). Жоден з наявних методів нанесення гальванічних композитних покриттів не захищений від одного важливого недоліку - нерівномірності розподілу композитного матеріалу за об'є-

мом гальванічної матриці. Існуючі способи використовують або вільний наповнювач в електроліті, або жорстке закріплення деформаційних брусків, що є причиною появи задирок на осаджуваному покритті. Для усунення цього недоліку використовують механічну обробку шару хрому, як того вимагає обов'язкова стандартна технологія нанесення гальванічних покриттів [1].

У зв'язку з цим, у роботі потрібно розробити технологію, що дає змогу отримувати якісні розмірні композитні покриття з нанесенням щільного зносостійкого хрому на внутрішні та зовнішні поверхні малого діаметра.

3.3 Методика вибору наповнювача для отримання гальванічних композитних покриттів на основі композитних покриттів на основі хрому

Вибір матеріалу зміцнювальної фази гальванічних композитних покриттів ґрунтувався на таких основних положеннях:

- Наповнювач повинен мати достатню твердість з метою підвищення мікротвердості отриманого композитного покриття;
- Частинки зміцнювальної фази композитного покриття повинні мати високу хімічну стійкість до компонентів робочого середовища;
- Ультрадисперсний порошок, що використовується для отримання композитних гальванічних покриттів, повинен бути діелектричним матеріалом з метою підвищення рівномірності одержуваних покриттів.

З огляду на вищевикладене та ґрунтуючись на літературних даних щодо виробництва та застосування ультрадисперсних матеріалів [29, 31, 51, 61, 67, 91, 117], було відібрано речовини, які наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Фізико-механічні характеристики ультрадисперсних порошків

Властивості ультрадисперсних часток	Al ₂ O ₃	SiC	TiC	WC
Щільність, г/см ³	3,97	3,21	4,9	15,8
Температура плавлення, °С	2050	2150	3140	2770
Коефіцієнт лінійного розширення $\alpha \cdot 10^{-6}, K^{-1}$	—	4,5	7,4...9,3	5,1...7,2
Питома теплоємність, кДж/(кг·К)	0,92	1,76	0,42	0,17
Теплопровідність, Вт/(м·К)	40	45...150	36	—
Електропровідність, см/м	$1 \cdot 10^{-14}$	770	$1,8 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^6$
Мікротвердість, ГПа	25...27	17...19	18...20	21...23
Температура кипіння, °С	2980	2780 (розкладення)	4300	6000

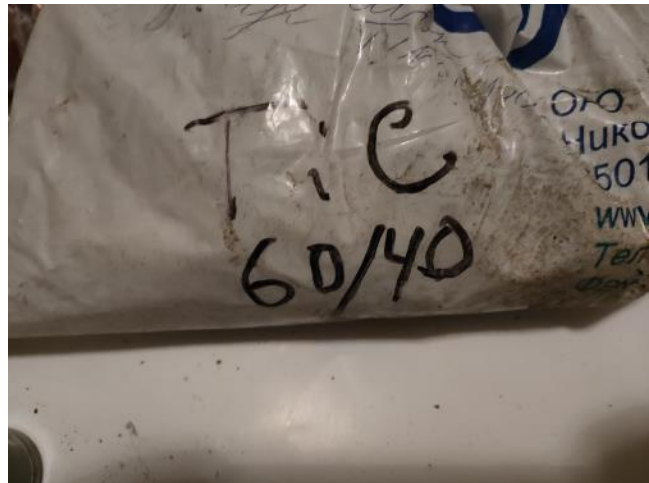
Відповідно до положень, висунутих у другому розділі роботи, для отримання гальванічних композитних покриттів на основі хрому використовували дисперсний порошок оксиду алюмінію (Al₂O₃) з розмірами частинок 0,01 - 0,03 мкм. Даний наповнювач випускається в Україні такими відомими компаніями як ТОВ "УНІКОН" м. Запоріжжя.



Рис. 2.1. Ультрадисперсний порошок Al_2O_3



а



б



в

Рис. 3.2. Ультрадисперсний порошок розмір часток 1-10 мкм: а - SiC (карбід кремнію), б – TiC (карбід титану), в – WC (карбід вольфраму)

3.4 Технологічне оснащення для реалізації методу

3.4.1 Вибір матеріалів для робочих середовищ і досліджень

Для визначення режимних параметрів осадження гальванічних композитних покриттів на основі хрому дослідження проводилися на експериментальних зразках (рисунок 3.3), виготовлених зі сталі 30 ХГСА.

Зовнішній діаметр зразка становив 10 мм, довжина хромованої частини 45 мм, що відповідає пропорції розмірів, які реалізують на плунжерних парах ПНВТ дизельних двигунів, що встановлюються на тракторах.



Рис. 3.3. Експериментальна гільза

Проводилося дослідження технологічного процесу з відновлення зношених поверхонь деталей з використанням методу гальваноконтактного осадження (ГКО) покриттів, що забезпечує отримання дисперсно-зміцнених гальванічних композитних покриттів з використанням як наповнювача діелектричних порошків та отримання на поверхнях, що відновлюються, зносостійких герметичних хромових покриттів, які містять стискаючі залишкові напруження, з підвищеною адгезією до основи. Осадження покриттів проводилося в стандартному електроліті хромування, що містить 200-250 г/л CrO_3 і 2,0-2,5 г/л H_2SO_4 , який має широке застосування на ремонтно-відновлювальних підприємствах [1].

Згідно з методикою, наведеною в [20], для проведення експерименту електроліт готували з реактивів "ХЧ" (в основі сірчана кислота) і "ЧДА" (ак-

кумуляторна кислота) на дистильованій воді. Густина електроліту вимірювали ареометром, кислотність рН - метромілівольтметром моделі рН-121.

Точність підтримання температури електроліту становила 1К, що досягалося використанням термометра ТПП-11 ДСТУ 13717-94 і контролювалася термометром ТН-5 з ціною поділки шкали 0,2К. Коригування та аналіз електроліту проводили за методикою, викладеною в [20].

3.4.2 Обладнання

Були проведені дослідження на експериментальній установці для хромування отворів малого діаметра. Установка дає змогу варіювати у великому діапазоні такі параметри, як тиск інструмента, міжелектродну відстань, температуру електроліту, густина струму, швидкість головного та допоміжного руху. Загальний вигляд установки показано на малюнку 3.4.

Розглянута установка складається з головки 1, закріпленої на сталевій рамі 2, призначеної для встановлення обладнання під час монтажу і демонтажу деталей, бака для електроліту 3, фільтра очищення повітря від електроліту 4, приєднаного до витяжної вентиляції.

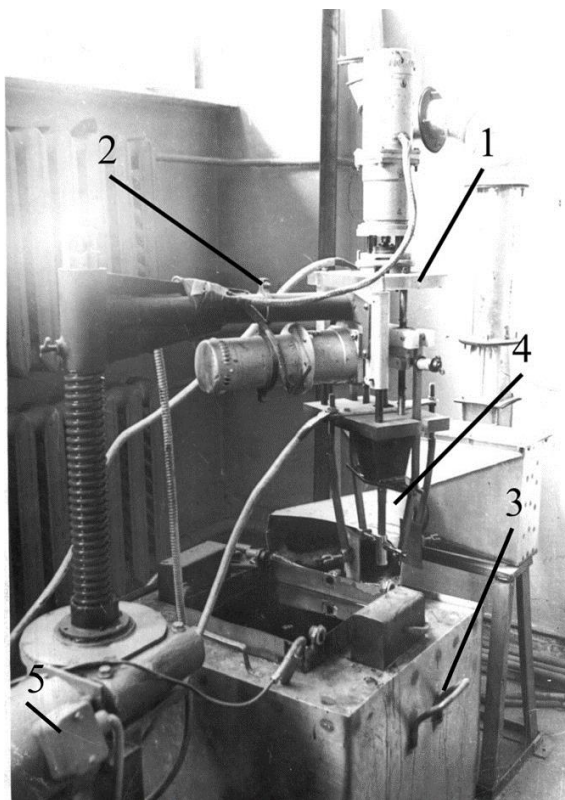


Рисунок 3.4 - Експериментальна установка

Технічні дані експериментальної установки:

- діаметр оброблюваних зразків, мм 5 - 100
- максимальна довжина зразків, мм 550
- частота обертання шпинделя, 1/хв 0 - 100
- регулювання температури, К 300 - 363
- регулювання напруги, В 0 - 24
- регулювання сили струму, А 0 - 630
- регулювання міжелектродного зазору, мм 1 - 15
- регулювання тиску інструменту, МПа 0 - 3

3.5. Методика проведення експериментальних досліджень

Під час роботи дослідженню піддавався технологічний процес отримання зносостійких гальванічних композитних покриттів на основі хрому методом ГКО з товщиною шару, що наноситься, на зовнішні циліндричні поверхні до 40 мкм. При цьому одержуване покриття повинно було володіти залишковими стискаючими напруженнями, високими експлуатаційними і фізико-механічними властивостями, а також корозійною стійкістю.

Швидкість осадження хрому, як один із досліджуваних у цьому дослідженні параметрів, спостерігався неруйнівним методом визначення товщини шару, що наноситься, а контролювався методом вимірювання товщини шару з руйнуванням.

Товщину покриття без порушення його цілісності визначали за допомогою магнітного товщиноміра рис. 3.5.



Рис. 3.5. Товщиномір магнітний МТ -2007

Шорсткість поверхні одержуваних покриттів визначали на профілографі - профілометрі 170621 моделі М296, зовнішній вигляд якого показано на малюнку 3.6.



Рис. 3.6. Профілометр 170621 модель 296

Вимірювання мікротвердості проводили на мікротвердомірі ПМТ-3, зображеному на малюнку 3.7, за навантаження на піраміду 0,5 Н. Середнє значення мікротвердості визначали з 10 вимірювань на поперечному шліфі зразків.



Рисунок 3.7. Мікротвердомір ПМТ – 3

Під час роботи плунжерної пари ПНВТ дизельних двигунів основним видом зносу, що визначає працездатність вузла, є тертя ковзання. Якнайкраще цей вид тертя відтворюється на машині тертя СМЦ-2, зображеній на малюнку 3.8. Схема випробувань представлена на малюнку 3.9.



Рис. 3.8. Машина тертя СМЦ-2

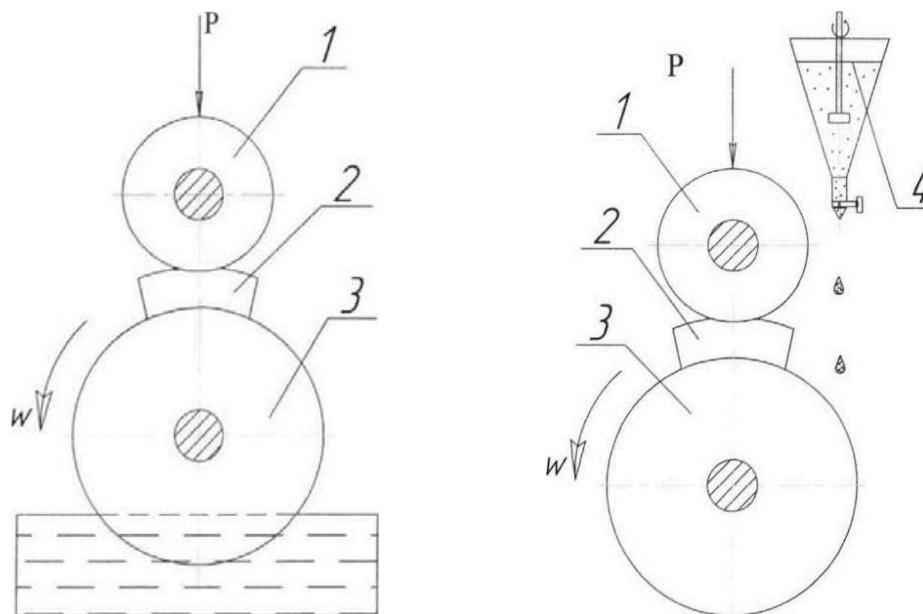


Рисунок 3.9 - Схема випробування на зносостійкість на машині тертя СМЦ-2

а - випробування на чистому дизельному паливі; б - випробування на забрудненому дизельному паливі; 1 - ролик, що передає навантаження на колодку; 2 - колодка з покриттям; 3 - ролик; 4 - ділильна воронка із забрудненим дизельним паливом

Зовнішній діаметр колодки становив 65 мм, внутрішній діаметр шліфувався під розмір дисків, а її ширина дорівнювала 10 мм. У свою чергу диски мали розміри: діаметр 50 мм і ширину 12 мм.

Ролики та колодки виконані зі сталі ШХ 15, причому ролики мали твердість HRC 50x55, а колодки піддавалися нанесенню покриття. Досліджували зразки з покриттям, нанесеним за стандартною технологією, і з гальванічним композитним покриттям. Випробування проводили в повній відповідності до методики за ГОСТ 23.224-86 у двох середовищах: чистому дизельному паливі та дизельному паливі з домішкою кварцового піску з розміром частинок не більше 5 мкм. При цьому його концентрація становила 3% за масою.



Рис. 3.10. Плунжерна пара

Під час випробувань самописний пристрій, яким оснащено обладнання, здійснював реєстрацію моменту тертя. Трипозиційний потенціометр КСП-4 здійснював контроль температури поверхонь, що труться, за допомогою штучної термопари "хромель - крапель". Перед випробуваннями прилад тарувався.

Випробування проводилися при навантаженні на колодки 650 Н, частоті обертання вала установки 300 хв-1 протягом 6 годин для кожного дослідження. Причому, протягом 4 годин перед кожним дослідженням проводилося припрацю-

вання пар тертя на режимах основного випробування. Знос заміряли за зменшенням маси зразка, який фіксували зважуванням за допомогою аналітичних ваг ВЛА - 200М. Точність вимірювання становила 1×10^{-4} г. Методика випробувань передбачала фіксацію навантаження, за якого виникало заїдання, зумовлене схоплюванням поверхонь, що труться. Цей факт встановлювався за різким збільшенням моменту тертя.

3.6. Висновки

1. Розроблено вимоги до процесу нанесення герметичних гальванічних композитних покриттів на основі хрому на робочі поверхні деталей плунжерної пари ПНВТ дизельних двигунів без попередньої та подальшої механічної обробки;
2. Сформовано порядок досліджень покриттів і методи оцінки якості експериментів;
3. Спроектовано та виготовлено технологічне оснащення, що дозволяє значною мірою автоматизувати процес нанесення гальванічних композитних покриттів.

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ НАНЕСЕННЯ ДИСПЕРСНО-ЗМІЦНЕНИХ КОМПОЗИТНИХ ГАЛЬ- ВАНІЧНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ ХРОМУ

4.1 Дослідження впливу основних показників процесу на мікротвердість покриття

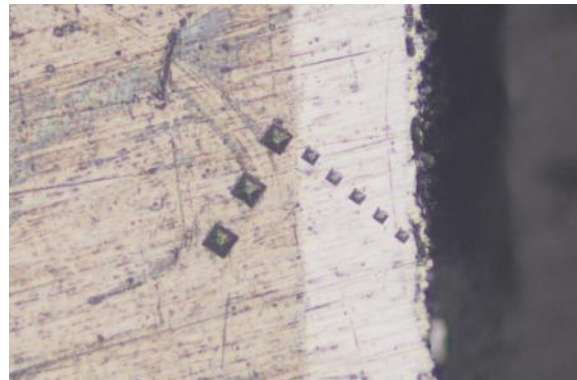
На підставі вивчення даних досліджень [1, 4, 12, 14, 16, 20 та ін.], для деталей плунжерних пар ПНВТ, які пройшли відновлення хромуванням, однією з основних характеристик, які забезпечують надійну роботу деталей, є мікротвердість одержуваних покриттів, величина якої визначається, в основному, умовами електролізу, товщиною осаду і наявністю сторонніх включень у ньому.

У представленій роботі досліджувалися зразки, що пройшли відновлення нанесенням дисперсно-зміцненого композитного покриття на основі хрому з товщиною до 40 мкм.

Мікротвердість одержуваних покриттів досліджували на металографічних шліфах за товщиною шару від межі розділу з основним металом (див. рисунок 4.1) відповідно до методики, викладеної в параграфі 3.5. Результати замірів мікротвердості наноконпозиційних і базових покриттів хрому, проведених відповідно до схеми на рисунку 4.2, представлені в таблиці 4.1. та на рисунках 4.3 відповідно. З представлених даних видно, що простежується певна закономірність у розподілі мікротвердості всіх розглянутих покриттів.



а



б

Рис. 4.1. Металографічні шліфи зразків з покриттями на основі хрому після вимірювання мікротвердості (x100): а - базове електролітичне покриття; б - нанокomпозиційне

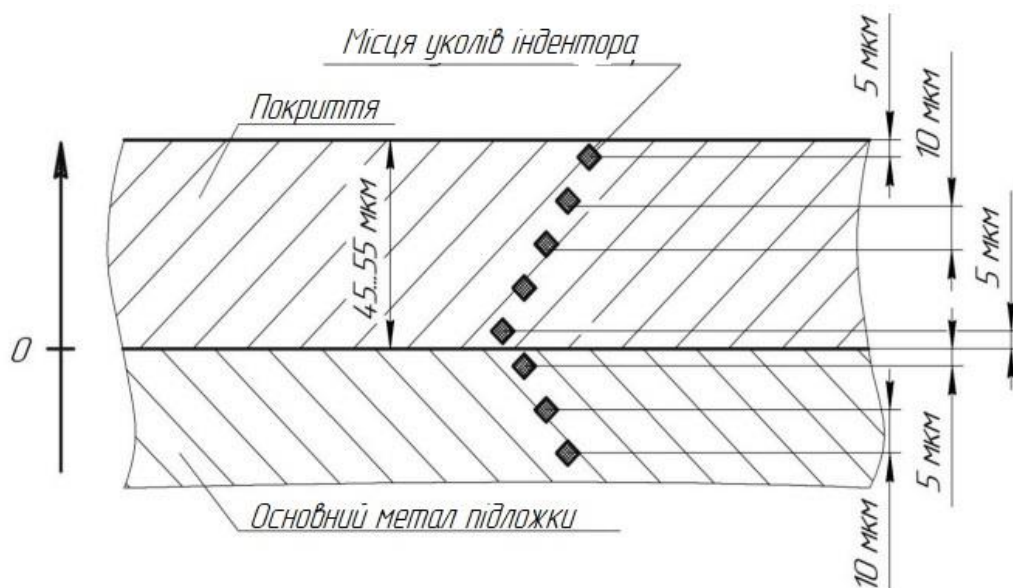


Рис. 4.2. Схема вимірювання мікротвердості на шліфі

Таблиця 4.1 - Результати натурних вимірювань і розрахункових даних мікротвердості нанокomпозиційних покриттів на основі хрому

Матеріал нанорозмірних частинок	Значення мікротвердості, ГПа		
	теоретичне	експериментальне	розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями, %
Al ₂ O ₃	13,31 (841 НВ)	14,10 (max 14,32)	5,9
SiC	12,78	13,26	3,7
WC	12,44	12,71	2,2
TiC	12,28	12,62	2,8
Без нанорозмірних часток	9,90	9,64	2,7

З представлених даних видно, що найбільшу мікротвердість має нанокomпозиційне електролітичне покриття на основі хрому. має нанокomпози-

ційне електролітичне покриття на основі хрому, отримане при введенні в електроліт хромування нанорозмірного порошку Al_2O_3 . Це пояснюється, найімовірніше, не тільки високою мікротвердістю нанорозмірних частинок Al_2O_3 , а й тим, що Al_2O_3 на відміну від боридів, карбідів і нітридів більш стійкий до агресивних середовищ, термостійкий, за звичайних умов не розкладається і не перетворюється на інші сполуки. Цей нанорозмірний матеріал порівняно з іншими має підвищений період індукції, що насправді вказує на час, протягом якого електроліт-суспензія нейтралізує електроліт-суспензія нейтралізується або руйнується [21].

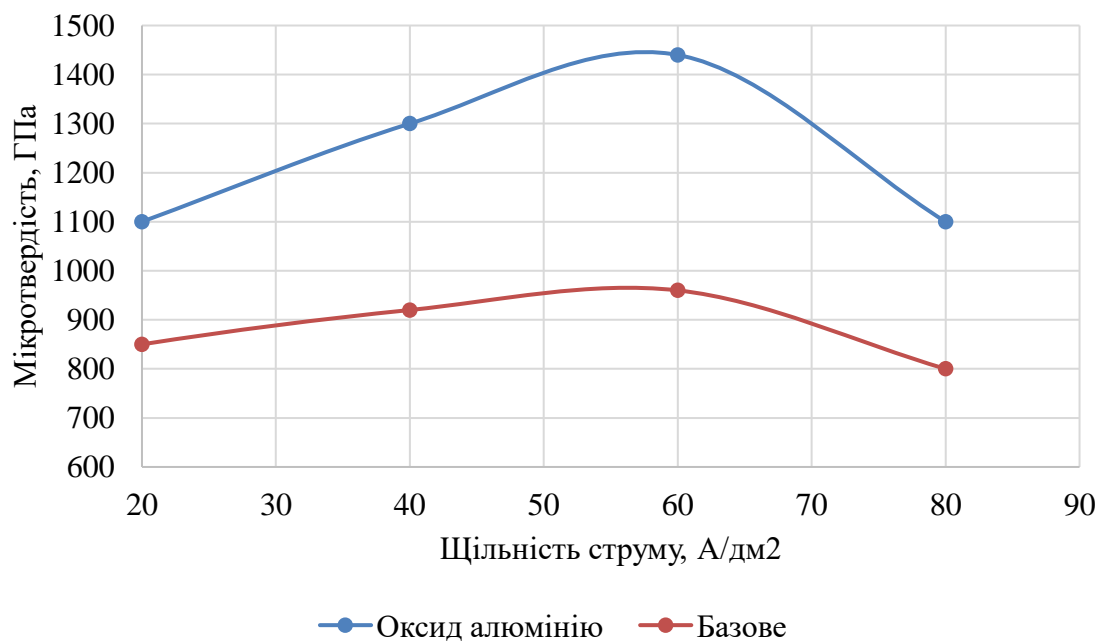


Рис. 4.3. Залежність мікротвердості від щільності струму

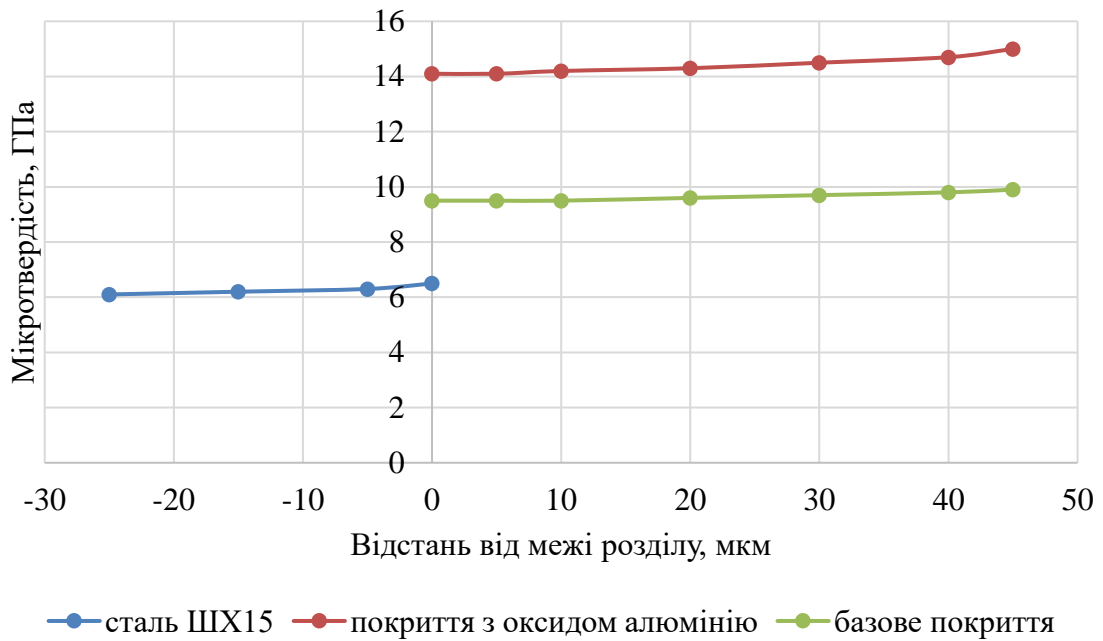


Рис. 4.4. Розподіл мікротвердості покриття

Методом гальваноконтактного осадження, що забезпечує одержання гальванічних композитів на основі хромової матриці з діелектричним наповнювачем, отримано покриття, мікротвердість яких відповідає значенням 1100 - 14500 ГПа, проти мікротвердості покриттів, отриманих традиційним хромуванням 800 - 960 ГПа. Таким чином, експериментально доведено, що технологія ГКО дає змогу перевершити мікротвердість хромових покриттів, отриманих за стандартною технологією, без погіршення їхніх решти фізико-механічних властивостей, що дає змогу прогнозувати досить високу їхню зносостійкість.

Мікротвердість наноконпозиційних електролітичних покриттів на основі хрому, отриманих при використанні нанорозмірних частинок Al_2O_3 становила 14,10 ГПа, що в 1,05 раза більше за мікротвердість відповідних покриттів, отриманих при використанні нанорозмірних частинок AlN (13,42 ГПа), в 1,06 раза більше, ніж при використанні нанорозмірних частинок SiC (13,26 ГПа), в 1,11 раза більше, ніж за використання нанорозмірних частинок WC (12,71 ГПа), в 1,12 раза більше, ніж при використанні нанорозмірних ча-

стинок TiC (12,62 ГПа), і в 1,47 раза більше мікротвердості базових покриттів (9,64 ГПа).

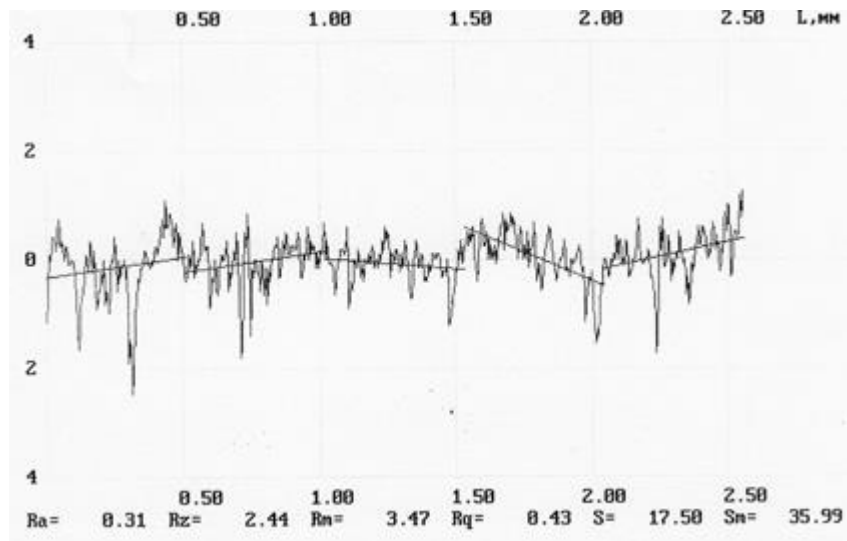
4.3 Дослідження впливу основних показників процесу на шорсткість поверхні після покриття

Як відомо, при нанесенні хромових покриттів відбувається збільшення шорсткості поверхні, як порівняти з початковою, в 1,6 - 2 рази [17]. Там же зазначається, що це значною мірою знижує твердість хромового покриття і одночасно підвищує його пористість.

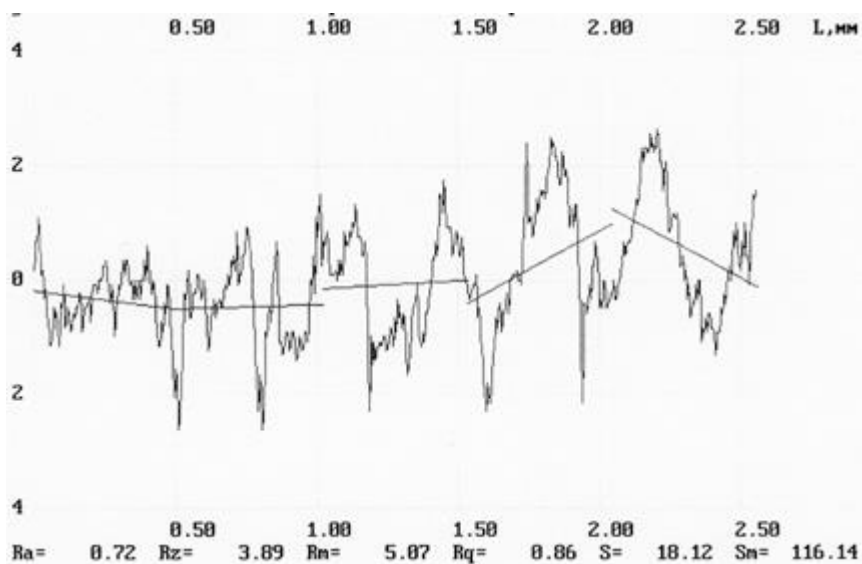
Оскільки спосіб ГКО розроблявся як фінішний метод відновлення зношених поверхонь деталей, то до шорсткості поверхні, відновленої даним методом, висуваються особливі вимоги. Цей розділ присвячено вивченню впливу режимних параметрів відновлення хромуванням за методом ГКО на шорсткість одержуваної поверхні.

Зразки для досліджень проходили відновлення хромуванням методом ГКО з нанесенням покриття 4 - 40 мкм.

Середнє значення параметра шорсткості R_a чистого хрому становило 0,12 мкм, а композиційного хрому - 0,20 мкм. З наведених даних видно, що шорсткість композиційного покриття в 1,7 раза вища за шорсткість чистого. Це свідчить про впровадження частинок у покриття. Ці частинки створюють певний профіль зі збільшеною щодо чистого покриття шорсткістю.



а



б

Рис. 4.5. Шорсткості базового покриття та покриття ГКО

Величина мікрогеометрії покриттів, отриманих методом ГКО, лежить у межах $Ra = 0,20$ мкм без застосування механічного оброблення, що дає змогу рекомендувати метод для фінішних операцій, придатних для відновлення плунжерних пар ПНВТ, у зв'язку з тим, що за параметром шорсткості дана технологія задовольняє технічні вимоги, які ставляться до цього типу виробів.

Вивчення покриттів дало змогу встановити, що на поверхні КГП відсутні тріщини, тоді як за звичайного хромування поверхня має досить глибоку

сітку тріщин. Крім того, виявлено, що частинки розподіляються в покритті досить рівномірно, реалізація внутрішніх напружень відбувається між прилеглими включеннями, а не на межі покриття - основа.

4.4. Структура покриттів

Для дослідження структури гальванічного дисперсно-зміцненого композитного хромового покриття та його порівняння зі структурою стандартного хрому були виготовлені мікрошліфи. Їхні фотографії представлені на рисунку 4.6.

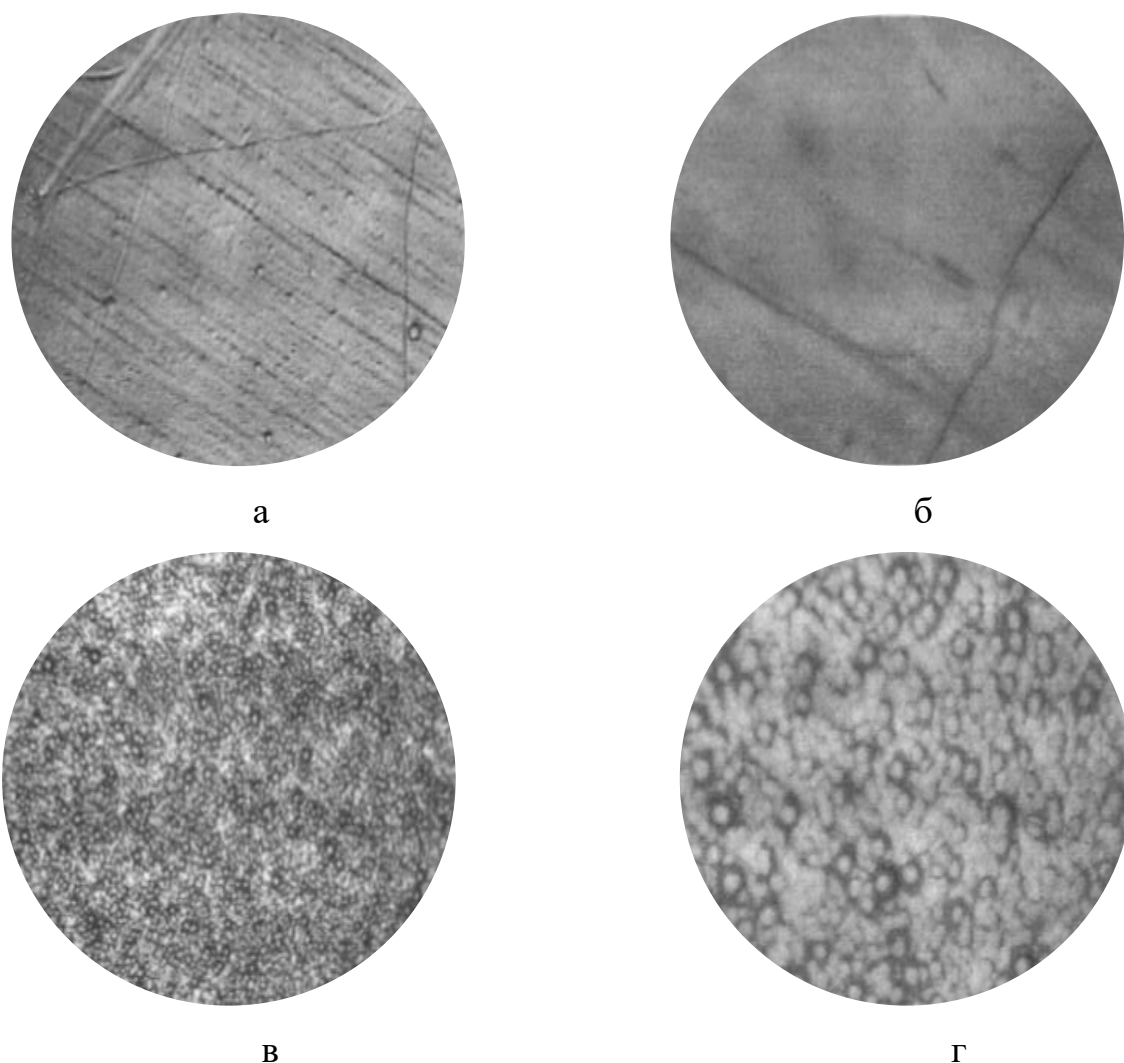


Рисунок 4.6. Структура поверхні хрому:

а - чистий хром при збільшенні в 88 разів; б - чистий хром при збільшенні в 220 разів; в - композиційний хром при збільшенні в 88 разів; г - композиційний хром при збільшенні в 220 разів

Як видно з малюнка, на поверхні хромового покриття, отриманого за стандартною технологією, спостерігаються яскраво виражені тріщини, а в гальванічному композитному покритті вони відсутні. Усе це підтверджує гіпотезу про вищу корозійну стійкість гальванічних дисперсно-зміцнених композитних хромових покриттів.

Встановлено, що структура композитного покриття на основі хрому є більш щільною порівняно зі звичайним хромовим покриттям. Цей факт можна пояснити наявністю дисперсних включень у покритті, які, будучи центрами кристалізації під час гальванічного осадження покриття, водночас за рахунок деформації покриття внаслідок періодичного тиску, що забезпечується інструментом, створюють мікроскопічну деформацію навколо себе.

На малюнку 4.7 представлені поперечні шліфи, на яких ясно видно, що тріщини в стандартному хромовому покритті доходять до основного металу.

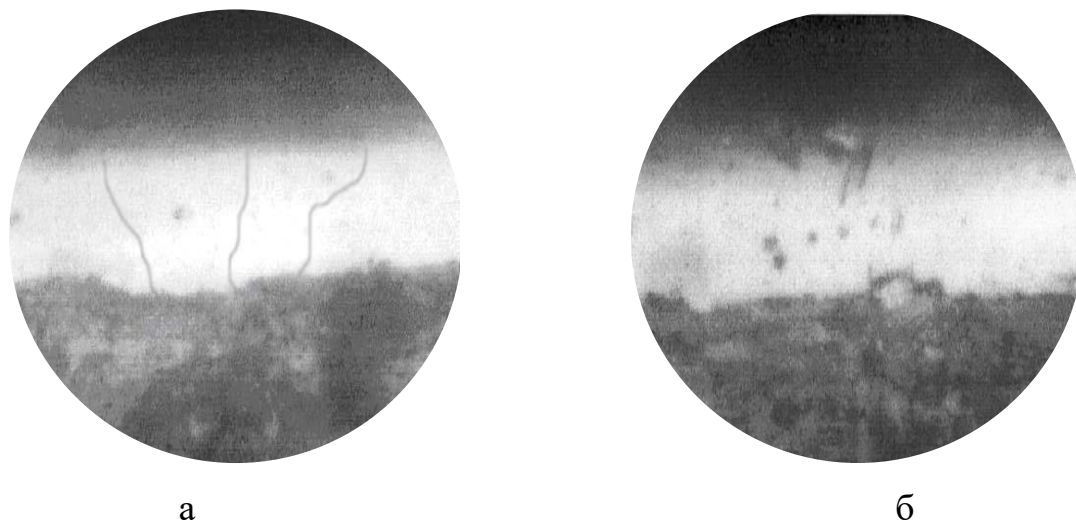


Рисунок 4.7. Поперечні шліфи (x 350):
а - чистий хром; б - композиційний хром

4.5. Результати трибологічних випробувань

Трибологічні випробування зразків проводили на модернізованій машині тертя СМЦ-2, згідно з методикою, представленою в параграфі 3.4.

Зовнішній вигляд зразків пар тертя після проведення випробувань представлений на рисунку 4.8.



Рис. 4.8. Зразки після випробувань

Результати лабораторних випробувань на зносостійкість зразків без покриттів, з базовими і нанокмпозиційними гальвано-хімічними покриттями на основі хрому і оксиду алюмінію, представлені на рис. 4.9.

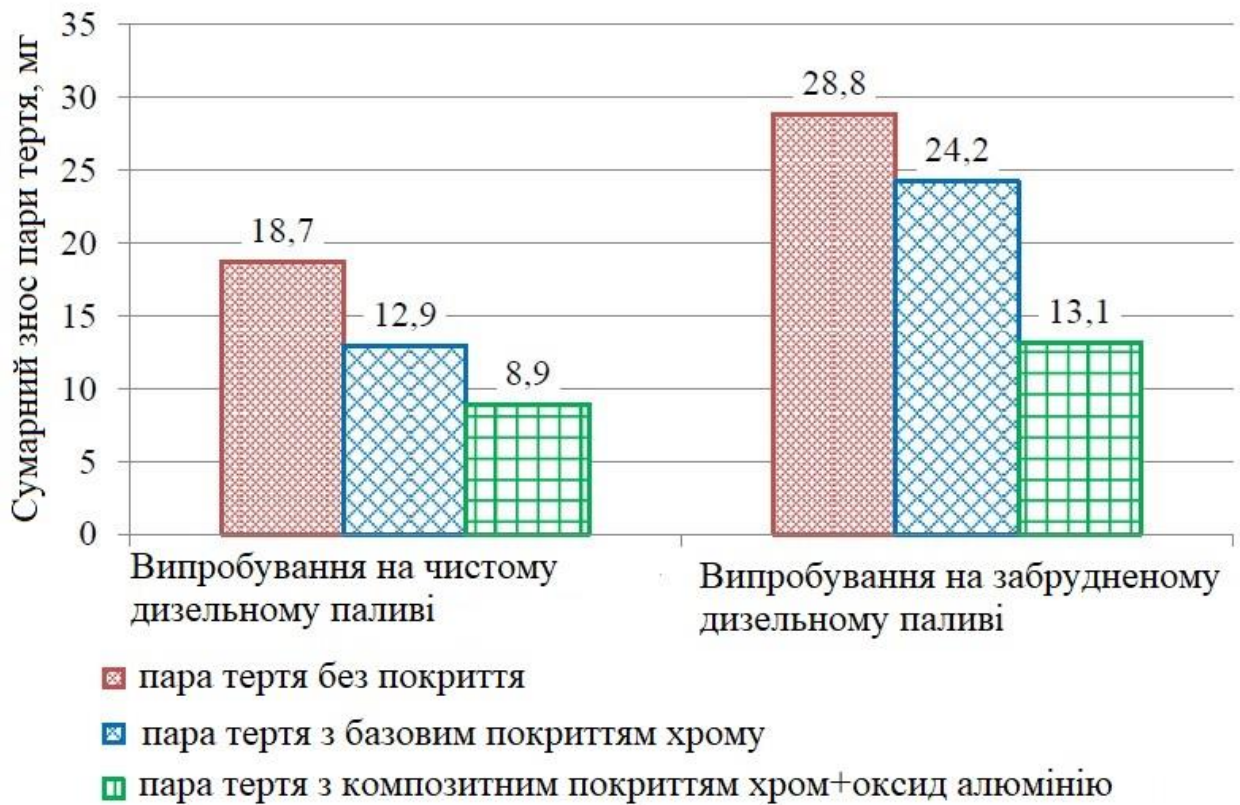


Рис. 4.9. Сумарний знос пар тертя після випробувань

Середній сумарний знос пари тертя з наноконпозиційним електролітичним покриттям на основі хрому під час випробування на чистому паливі становив 8,9 мг, на забрудненому - 13,1 мг (рисунок 4.9).

У пари тертя з базовим покриттям хрому середнє сумарне зношування під час випробування на чистому паливі - 12,9 мг, на забрудненому - 24,2 мг, а в пари тертя без покриття - відповідно 18,7 і 28,8 мг. Середнє сумарне спрацьовування за масою пари тертя з наноконпозиційним електролітичним покриттям на основі хрому під час випробування на чистому дизельному паливі в 1,5 разу, на забрудненому - в 1,8 разу менше, ніж спрацьовування зразків із базовим покриттям хрому, і у 2,1-2,2 разу менше, ніж спрацьовування пари тертя без покриття.

4.10. Модернізація технології відновлення плунжерних пар з урахуванням ведення операції нанесення гальванічних дисперсно-зміцнених покриттів на основі хрому.

За основу технологічного процесу взято стандартний маршрут відновлення плунжерної пари [4].

Однак, з огляду на особливості відновлення деталей розробленою технологією, він зазнав певних змін, а саме: з чинної технології усунуто операції механічної обробки з усунення похибок просторової форми поверхні перед нанесенням покриття та обробки самого покриття після осадження, з метою надання йому заданої кресленням мікрогеометрії та просторових відхилень форми деталі. Також зазнала змін і сама гальванічна операція, як за технологією її проведення, так і за часом здійснення процесу, схема технологічного процесу наведена на рис.4.10, а сам маршрутний процес в таблиці 4.2.

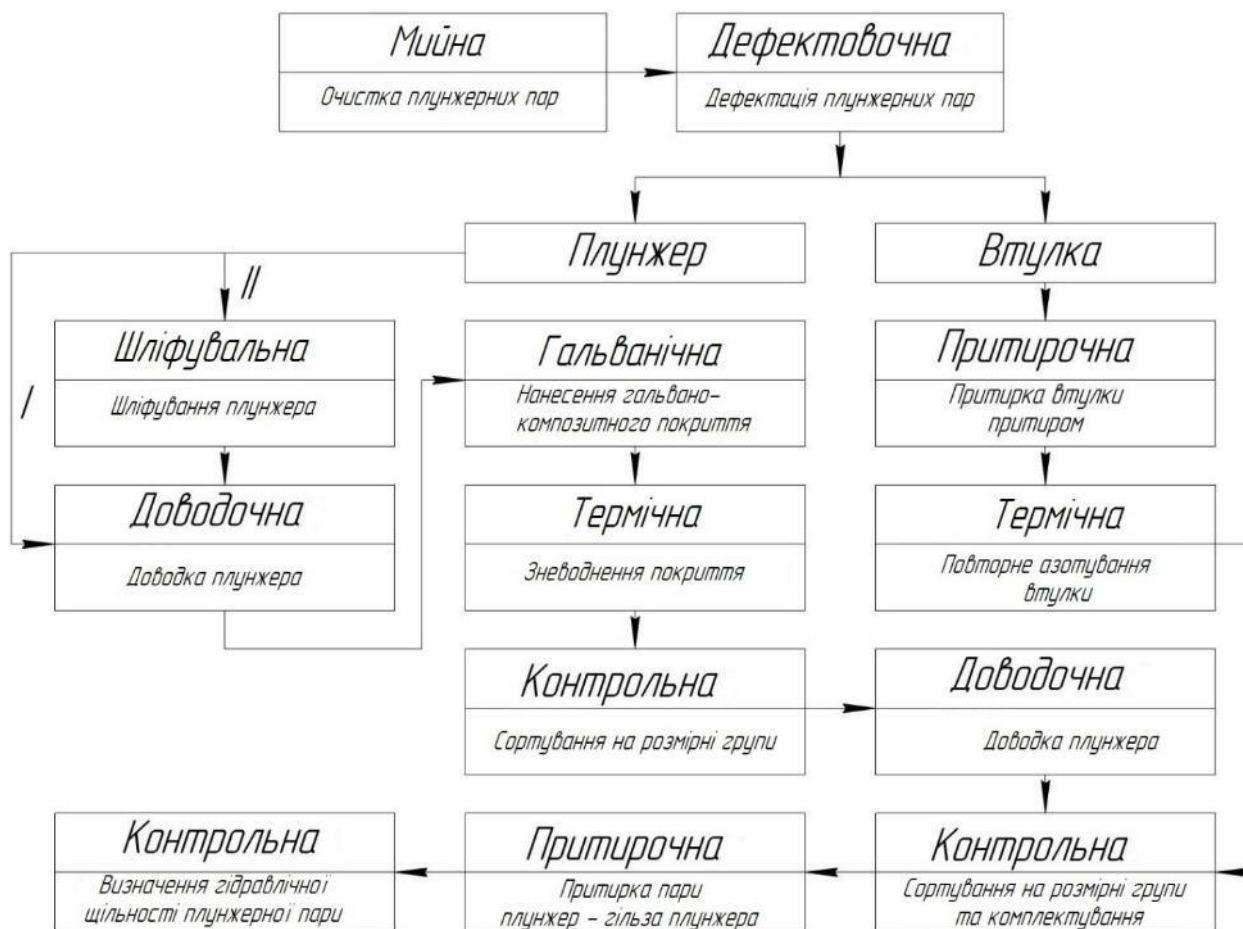














Рис. Схема технологічного процесу відновлення плунжерної пари

Таблиця 4.2 – Маршрутний технологічний процес відновлення плунжерної пари

005 Мийна	010 Дефектовочна	015 Ізоляційна
		
020 Гальванічна	025 Контрольна	030 Шліфувальна
		
035 Контроль шліфування	040 Очистка	045 Доводка плунжера
		
050 Доводка гільзи	055 Сумісна доводка	060 Контрольна
		

4.11 Висновки

1. Виявлено, що на мікротвердість покриттів у порядку убування впливають густина струму, температура електроліту та тиск інструменту. Експериментально отримано та підтверджено виробничою практикою одержання композитних покриттів на основі хрому з мікротвердістю 11000 - 14500 МПа проти 9000 - 11400 МПа у покриттів, отриманих за стандартною технологією.

2. На залишкові напруження крім густини струму, температури електроліту і тиску інструменту додається вплив товщини покриття. Метод ГКО дає змогу одержувати в покриттях товщиною від 4 до 40 мкм стискаючі залишкові напруження величиною 320 - 110 МПа, що недосяжно іншими відомими технологічними прийомами. Стандартна технологія передбачає отримання в хромових покриттях, товщиною до 40 мкм, стискаючих залишкових напружень тільки методом подальшого поверхнево-пластичного деформування покриття, але при цьому брак досягає 93%.

3. Шорсткість покриттів, оцінюючи головним чином тиском інструменту, температурою електроліту і щільністю струму. Значення шорсткості покриттів, отриманих методом ГКО, відповідають $R_a = 0,1 - 0,2$ мкм без механічної обробки покриття, що дає змогу використовувати метод як фінішну обробку.

4. Доведено, що у зв'язку з відсутністю пір і тріщин у гальванічному композитному покритті на основі хрому, його корозійна стійкість більш ніж у 14 разів перевершує аналогічний показник стандартних хромових покриттів, що дає змогу експлуатувати відповідні вузли без ремонту значно більший час.

5. За підсумками досліджень визначено раціональні режими осадження композитних покриттів на основі хрому: катодна густина струму 17...19 кА/м^2 , тиск інструменту на відновлювальну поверхню $p = 1,0 - 3,0$

МПа, температура електроліту 55 - 58 °С, швидкість головного руху 3,5 - 4,5 м/хв, швидкість допоміжного руху 100 - 120 хв⁻¹.

9. Зносостійкість отриманих дисперсно-зміцнених гальванічних композитних покриттів на основі хрому в 1,25 - 2,45 рази перевершує зносостійкість стандартних хромових покриттів.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 ОП на дільниці з гальванічного відновлення деталей. Загальні відомості

Сучасне гальванічне виробництво є одним з основних джерел забруднення повітря на робочих місцях. На гальванічних заводах часто використовують небезпечні речовини. Умови виробництва характеризуються підвищеною вологістю, високою концентрацією шкідливих парів і газів, туманом і розбризкуванням електроліту.

Працівники підприємств, особливо ті, які працюють у гальванічних цехах, стикаються із серйозними професійними захворюваннями, такими як астма, алергія, внутрішні виразки, втрата зору та порушення нюху. Ці захворювання в значній мірі пов'язані із впливом небезпечних виробничих факторів під час виконання роботи.

Основними чинниками, які впливають на організм людини, є рідкі, газові та пилові аерозолі, що містяться в повітрі на робочих місцях. Це значно знижує продуктивність праці працівників і негативно впливає на якість виробленої продукції. Таким чином, гальванічні цехи вважаються однією з найбільш небезпечних зон виробництва, де обов'язково слід дотримуватися вимог щодо охорони здоров'я та безпеки праці.

Зараз більшість гальванічних виробництв, як основних, так і допоміжних, не обладнані системами очищення атмосфери і газових сумішей, які виділяються в робочій зоні.

У багатьох випадках використовується обладнання, не призначене для використання в деревообробній промисловості, або саморобні системи, які створюють ризик виникнення аварійних ситуацій, знижують ефективність очищення і сприяють зносу працюючого обладнання. Вирішення цих проблем є складним, але очевидно, що єдиним виходом із ситуації, що склалася, є вдосконалення системи очищення газоповітряної суміші відпрацьованих

газів. Виникає потреба в недорогій і простій конструкції вентиляційної системи. Основними вимогами є надійність, універсальність (використання стандартних компонентів і конструктивних елементів) і простота.

5.2. Аналіз шкідливих і небезпечних факторів, які присутні при виконанні гальванічних робіт

У контексті науково-технічного прогресу розвиток гальванічного виробництва супроводжується зростанням виробничих потужностей, інтенсифікацією технологічних процесів та використанням більш високопараметричних фізичних і хімічних процесів. Використання різноманітних хімічних реагентів ускладнює розв'язання проблеми безпеки праці.

Усі небезпечні та шкідливі фактори, які присутні у гальванічному виробництві, можна класифікувати за природою впливу на людину на три основні групи. Перша група включає фізичні фактори, такі як рухомі частини та обладнання, параметри мікроклімату, шум, ультразвук, вібрація, а також аспекти пожежо- та вибухобезпеки.

Друга група включає хімічні фактори, які включають шкідливі токсичні речовини у різних агрегатних станах. Третя група стосується психофізіологічних факторів, таких як фізичні та нервово-психічні навантаження, робоча поза, темп і ритм праці. Кожен фактор, залежно від інтенсивності та умов впливу, може бути небезпечним або шкідливим, що може призводити до травматизму або професійних захворювань. Стан умов праці характеризується величиною відхилення кількісних характеристик кожного фактора від встановлених нормативних вимог.

Наведемо класифікаційні ознаки шкідливих та небезпечних факторів які виникають на виробництві, вони враховують наступні чинники:

- Підвищений вміст пилу в повітрі на робочому місці;
- Підвищене забруднення парами небезпечних хімічних речовин;

- Токсичність, подразнююча та канцерогенна дія речовин (кислот, лугів, електролітів, розчинів) на організм працівників;
- Підвищена вологість повітря;
- Підвищений рівень шуму та вібрації;
- Підвищений рівень ультразвуку;
- Небезпечні рівні напруги в електричних ланцюгах, що проходять через тіло людини;
- Високий рівень статичної електрики;
- Підвищення температури поверхні виробів та обладнання;
- Ризик пожежі або вибуху;
- Рух механічних або машинних частин;
- Розсіювання абразивних частинок;
- Фізична активність працівників з підвищеним енергоспоживанням.

Мікроклімат. У гальванічних цехах параметри мікроклімату, такі як температура, вологість та швидкість руху повітря, підпорядковані вимогам ДСТУ 12.1.005-96. Майже половина випадків професійних захворювань пов'язана із неблагоприятним впливом умов мікроклімату, таких як перегрівання, переохолодження, запиленість та загазованість. У цих умовах продуктивність праці може знизитися на 20-40%.

Характеристики мікроклімату в гальванічних виробництвах зумовлені технологічними процесами, які включають великі обсяги води з значною відкритою поверхнею випаровування. До особливостей відносяться значні температурні коливання на висоті робочої зони (2 м) у холодну пору року, підвищена відносна вологість повітря до 75-80%, та підвищені швидкості руху повітря до 1,5 м/с при порушеннях режиму роботи вентиляційних систем.

Шкідливі речовини. Технологія гальванопокриття має відмітну особливість, пов'язану із використанням різноманітних хімічних речовин. Багато з цих речовин можуть викликати негативний вплив на організм людини, призводячи до порушень його нормальних функцій різного ступеня тяжкості. На-

слідки цих впливів можуть бути шкідливими для здоров'я, а в деяких випадках навіть для життя.

Для оцінки рівня концентрації шкідливих речовин використовується поняття гранично допустимих концентрацій (ГДК). ГДК визначає максимальну концентрацію шкідливої речовини, яка не спричиняє патологічних змін у працівника протягом усього його життя і не має генетичних наслідків для його нащадків. Ці значення встановлюються за допомогою найчутливіших сучасних методів. ГДК для хімічних речовин, які використовуються в гальванічному виробництві, регулюються відповідно до вимог ДСТУ 12.1.005-96.

Ультразвукові коливання, шум, вібрації. У гальванічному виробництві існує значна кількість джерел акустичних і механічних коливань, охоплюючи широкий спектр частот та рівнів звукового тиску, які перевищують ГДР ультразвуку (згідно з ДСН 3.3.6.037-99), шуму (згідно з ДСТУ 2867-94) та вібрації (згідно з ДСТУ ENV 25349-2001).

Джерелами шумового забруднення та вібрації є механічні шуми, які виникають внаслідок зіткнення та тертя деталей машин та механізмів, аеродинамічні шуми під час руху газових потоків у вентиляційній системі, шуми рідини в кавітаційних процесах та електромагнітні шуми в електричних машинах під час взаємодії магнітних полів із феромагнітними масами.

Вплив шуму на організм людини проявляється різноманітністю негативних впливів на центральну нервову, серцево-судинну та травну системи. Як загальнобіологічний подразник, шум швидко призводить до втомленості працівників, знижує працездатність, обмежує продуктивність праці та гальмує реакції на небезпечні ситуації. При систематичному впливі може призвести до незворотних органічних уражень слухового нерва, таких як приглухуватість.

Загальна вібрація призводить до деформації органів та тканин людини, супроводжується зміною функціонального стану організму та може призводити до патологічних змін нервово-м'язового, опорно-рухового апарату та

судинних розладів - вібраційної хвороби. Локальна вібрація може призвести до хворобливих змін у руках (наприклад, симптом "мертвого пальця").

Вплив ультразвуку має багато спільного з впливом високочастотного шуму, виявляючи надмірне підвищення стомлюваності, дратівливості та запаморочення. Локальний вплив ультразвуку, аналогічно до вібрації, може призводити до ураження периферичного нервового та судинного апарату пальців, кистей рук і передпліччя. Комбінований (одночасний) вплив шуму, ультразвуку та вібрації особливо шкідливий.

5.3. Заходи безпечної роботи працівників у гальванічному цеху

Підвищена концентрація пилю та газів, а також варіації температури, вологості та рухливості повітря в робочій зоні виробничого приміщення негативно впливають на здоров'я людини, призводять до зниження працездатності та збільшення ризику травматизму та професійних захворювань. Тому необхідно вживати заходів, щоб уникнути або зменшити викиди в повітря зайвої теплоти, шкідливих парів, газів і пилю.

Працівники, які працюють в цехах, повинні суворо дотримуватися правил техніки безпеки, санітарії та протипожежної безпеки.

- До виконання робіт допускаються лише ті особи, які отримали інструктаж з техніки безпеки та протипожежної безпеки. Спецодяг повинен зберігатися у відведених для цього шафах, відокремлено від звичайного верхнього одягу робітника. Споживання їжі та куріння в робочих приміщеннях строго заборонено.

- Підлоги у виробничих приміщеннях повинні мати властивості, щоб не поглиблювати розчини електролітів та інших хімічних речовин, а також виявляти стійкість до кислот і лугів на ділянках, де використовуються агресивні рідини. Для відведення рідини підлоги повинні мати нахил 0,005°.

- Хімічні матеріали повинні зберігатися в щільно закритих або герметичних контейнерах, які повинні бути позначені точною назвою речови-

ни. Бутлі з кислотами і лугами мають бути розміщені в належних кошиках або обрешітках, вирізаних з стружки, просоченої розчином хлористого кальцію або хлористого магнію.

- З урахуванням можливості хімічних опіків, необхідно мати гідранти та фонтанчики для промивання шкіри і очей. Тут також повинні бути доступні засоби для нейтралізації кислот (вапно, крейда, сода).

- Обладнання повинно бути обладнане приймачами для легкого видалення відходів. Слив відходів органічних розчинників має відбуватися в спеціальні ємності, які забезпечують безпечне зберігання відходів, що можуть бути вибухонебезпечними або вогненебезпечними. Відведення відходів у каналізацію строго заборонено. Відходи повинні регулярно вивозитися для утилізації, знищення або обробки.

5.4. Заходи щодо захисту від небезпечних факторів

Для зменшення впливу ультразвуку, шуму та вібрацій виконуються наступні заходи:

- Зменшення цих чинників на джерелі виникнення (заміна ударних взаємодій безударними, перетворення зворотно-поступальних рухів на обертальні, використання демпфуючих матеріалів та менш шумних деталей, поліпшення аерогідродинаміки та інше).
- Зниження впливу на шляху поширення (застосування будівельно-акустичних та об'ємно-планувальних заходів для розміщення віброакустичного обладнання в ізольованих приміщеннях, використання матеріалів та екранів для поглинання та ізоляції звуку та вібрацій тощо).
- Впровадження автоматизації та дистанційного управління.
- Застосування індивідуальних засобів захисту в тих випадках, коли технічні заходи не можуть достатньо знизити рівень шуму та вібрацій відповідно до гранично допустимих нормативів.

5.5. Висновок

Як вказано вище, у більшості зон гальванічного виробництва виникає викид рідинних, газоподібних і пилових аерозолів у повітря робочої зони. Цю проблему ефективно вирішує система вентиляції, яка спеціально спроектована для забезпечення належних умов у приміщенні.

Одним з основних негативних факторів у гальванічному виробництві є забруднення зовнішнього повітря на території підприємства та у внутрішніх приміщеннях різними металевими сполуками та токсичними газами, а також викиди кислоти. З метою уникнення надзвичайних ситуацій, важливо не лише використовувати систему вентиляції, але й регулярно перевіряти робоче обладнання, газові та кислотопроводи, повітропроводи систем безпеки та інше обладнання. Здійснювати планові профілактичні заходи та постійно дотримуватися запобіжних заходів та правил техніки безпеки.

6. КАЛЬКУЛЯЦІЯ СОБІВАРТОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ПЛУНЖЕРНОЇ ПАРИ

6.1. Розрахунок економічних показників

Калькуляцією собівартості називається розрахунок витрат на виготовлення одиниці продукції, у цьому випадку на відновлення однієї плунжерної пари. Розглянемо економічні розрахунки по найбільш масових плунжерних пар золотникового типу, середня вартість плунжерної пари нової такого насоса становить 470 грн. для впровадження технології відновлення плунжерних пар необхідне технологічне обладнання та навчання спеціалістів, тому капіталовкладення складуть 1590000 грн.

Розрахунок калькуляції собівартості наведено в таблиці 6.1 і таблиці 6.2.

Слід врахувати, що залишкова вартість плунжерної пари становить 90 грн. (зношеної), і якщо до неї додати вартість відновлення, то отримаємо вартість відновленої пари:

$$B_{\text{відн}} = Z_{\text{в}} + C_{\text{виг}} = 90,0 + 62,0 = 152,0 \text{ грн.} \quad (6.1)$$

де $Z_{\text{в}}$ – залишкова вартість плунжерної пари, грн.

$C_{\text{виг}}$ – собівартість відновлення плунжерної пари.

Розрахуємо економію від відновлення однієї плунжерної пари:

$$E_{\text{од}} = Ц - B_{\text{від}} = 470,0 - 152,0 = 318,0 \text{ грн.} \quad (6.2)$$

де $Ц$ – ціна нової плунжерної пари, грн.

розрахуємо економію від відновлення партії плунжерних пар у 2000 шт. (2000 шт. плунжерних пар, річна програма ремонтного підприємства у 200 – 300 насосів):

$$E_{\text{програма}} = E_{\text{од}} \cdot N_{\text{р.п.}} = 318,0 \cdot 2000 = 636000,0 \text{ грн.} \quad (6.3)$$

де $N_{\text{р.п.}}$ – програма ремонтного підприємства, шт

Інші розрахунки проводимо згідно відомої методики [27], а результати заносимо до таблиці 6.1.

Таблиця 6.1-Калькуляція собівартості відновлення плунжерної пари

Найменування витрат	Витрати на програмному ремонті, грн.	Витрати на 1 шт., грн.	Структура витрат у % порівнянні
Прямі витрати:			
-витрати на електроенергію для технологічних потреб;	1,4029	0,7	1,2
основна і додаткова з/пл основних робочих;	41,6845	20,8	35,7
ЄСВ;	10,837	5,4	9,3
Амортизація по основним фондам	1,831	0,9	1,6
Собівартість по прямим витратам	55,7554	27,9	47,75
Непрямі витрати:			
- амортизація	1,01	0,5	0,9
Утримання та експлуатація обладнання;	43,047	21,5	36,9
Загальноцехові витрати	16,936	8,5	14,5
Цехова собівартість	116,75	58,4	100
Загальногосподарські витрати; (250% від з/п основних робочих)	94,74	47,4	-

Позавиробничі витрати (3% від цехової собівартості)	3,51	1,8	-
Повна собівартість	215	107,5	-
Прибуток (15% від повної собівартості)	32,25	16,1	-
Вихідна ціна	105,08	52,54	-
ПДВ (18% від вихідної ціни)	18,92	9,46	-
Ціна з ПДВ	124	62	-

Таблиця 6.2- Техніко-економічні показники відновлення плунжерної пари

Найменування показника	Одиниця вимірювання	Значення показників
1. Річний випуск відновлених деталей:	шт.	2000
2. Загальна вартість основних виробничих фондів дільниці, -у тому числі технологічного обладнання	тис. грн. тис. грн.	293,7 802
3. Загальна площа дільниці, -у тому числі виробнича	м ² м ²	39,65 30,5
4. Загальна кількість робітників, -у тому числі основних робочих	чол. чол.	12 6
5. Випуск продукції на одного робітника: -у натуральному виразі -у вартісному виразі	шт./чол тис. грн./чол	1666,6 243,13
6. Випуск продукції на одного основного робітника -у натуральному виразі -у вартісному виразі	шт./чол. тис. грн./чол.	3333,3 486,3

7. Фондоозброєність	тис. грн./чол.	8,53
у тому числі за технологічним обладнанням	тис. грн./чол.	2,39
8. Фондомісткість	грн./(грн./год)	2,6
-у тому числі за технологічним обладнанням	грн./(грн./год)	1,79
9. Фондовіддача	грн./(грн./год)	94,18
- у тому числі за технологічним обладнанням	грн./(грн./год)	354,81
10. Трудомісткість відновлення одиниці виробів	хв.	26,78
11. Собівартість відновлення: -однієї деталі	грн.	62,0
12. Залишкова вартість зношеної деталі	грн.	90
13. Економія по вартості:		
- на одиницю	грн.	318,0
- на річну програму	млн. грн.	0,636
14. Термін окупності капіталовкладень	років	2,5

6.2. Висновок по розділу 6

Річний економічний ефект від впровадження технології гальваноконтантного відновлення плунжерних пар ПНВТ композитним покриттям на основі хрому з діелектричним наповнювачем оксиду алюмінію склав понад 636000 грн., а термін окупності капіталовкладень 2,5 років.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Вивчено та розкрито процес отримання дисперсно-зміцнених гальванічних композитних покриттів;

Теоретично обґрунтовано доцільність застосування як дисперсного наповнювача гальванічних композитних покриттів діелектричних матеріалів;

Розкрито й аналітично описано механізм зміцнення гальванічних покриттів при впровадженні в них дисперсних наповнювачів;

Теоретично обґрунтовано й аналітично доведено можливість підвищення зносостійкості гальванічного композитного покриття при впровадженні в нього дрібнодисперсного наповнювача з мікротвердістю, яка перевершує мікротвердість гальванічної матриці.

Розроблено вимоги до процесу нанесення герметичних гальванічних композитних покриттів на основі хрому на робочі поверхні деталей плунжевної пари ПНВТ дизельних двигунів без попередньої та подальшої механічної обробки;

Сформовано порядок досліджень покриттів і методи оцінки якості експериментів;

Спроектовано та виготовлено технологічне оснащення, що дозволяє значною мірою автоматизувати процес нанесення гальванічних композитних покриттів.

Виявлено, що на мікротвердість покриттів у порядку убутання впливають густина струму, температура електроліту та тиск інструменту. Експериментально отримано та підтверджено виробничою практикою одержання композитних покриттів на основі хрому з мікротвердістю 11000 - 14500 МПа проти 9000 - 11400 МПа у покриттів, отриманих за стандартною технологією.

На залишкові напруження крім густини струму, температури електроліту і тиску інструменту додається вплив товщини покриття. Метод ГКО дає змогу одержувати в покриттях товщиною від 4 до 40 мкм стискаючі залишкові напруження величиною 320 - 110 МПа, що недосяжно іншими відомими

технологічними прийомами. Стандартна технологія передбачає отримання в хромових покриттях, товщиною до 40 мкм, стискаючих залишкових напружень тільки методом подальшого поверхнево-пластичного деформування покриття, але при цьому брак досягає 93%.

Шорсткість покриттів, оцінюючи головним чином тиском інструменту, температурою електроліту і щільністю струму. Значення шорсткості покриттів, отриманих методом ГКО, відповідають $R_a = 0,1 - 0,2$ мкм без механічної обробки покриття, що дає змогу використовувати метод як фінішну обробку.

Доведено, що у зв'язку з відсутністю пір і тріщин у гальванічному композитному покритті на основі хрому, його корозійна стійкість більш ніж у 14 разів перевершує аналогічний показник стандартних хромових покриттів, що дає змогу експлуатувати відповідні вузли без ремонту значно більший час.

За підсумками досліджень визначено раціональні режими осадження композитних покриттів на основі хрому: катодна густина струму 17...19 кА/м^2 , тиск інструменту на відновлювальну поверхню $p = 1,0 - 3,0$ МПа, температура електроліту 55 - 58 $^{\circ}\text{C}$, швидкість головного руху 3,5 - 4,5 м/хв, швидкість допоміжного руху 100 - 120 хв^{-1} .

Зносостійкість отриманих дисперсно-зміцнених гальванічних композитних покриттів на основі хрому в 1,25 - 2,45 рази перевершує зносостійкість стандартних хромових покриттів.

Річний економічний ефект від впровадження технології гальваноконтантного відновлення плунжерних пар ПНВТ композитним покриттям на основі хрому з діелектричним наповнювачем оксиду алюмінію склав понад 636000 грн., а термін окупності капіталовкладень 2,5 років.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дирда В.І. Ремонт машин та обладнання: / Дирда В.І. – Дніпропетровськ: Журфонд, 2015. – 292 с.
2. Дорошенко О. В. Обґрунтування методів та параметрів діагностування паливних систем мобільних сільськогосподарських машин /О. В. Дорошенко, Є. В. Калганков. // Zbiór artykułów naukowych z Konferencji Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej "Nowy sposób rozwoju Inżynieria i Technologia" Sp. z o.o. «Diamond trading tour» Warszawa. – 2017. – С. 44–50.
3. Калганков Є.В. Деякі проблеми гідроабразивно-втомного зносу деталей об'ємного гідроприводу мобільних машин / Є.В. Калганков // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. — Дніпропетровск: ІГТМ НАНУ. – 2013. – №108. – С. 133-142.
4. Калганков Є.В. Розробка технологічного процесу відновлення деталі [Методичні рекомендації] / Калганков Є.В. – Дніпро: ДДАЕУ, 2021. – 75 с.
5. Zablotzky Yu. V. Maintaining Boundary and Hydrodynamic Lubrication Modes in Operating High-pressure Fuel Injection Pumps of Marine Diesel Engines / Yu. V. Zablotzky, S. V. Sagin // Indian Journal of Science and Technology, Published by Indian Society of Education and Environment, May 2016. – Vol. 9. – Iss. 20. – P. 208-216. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i20/94490.
6. Погорелов В.О. Дослідження технічного стану плунжерних пар паливних насосів високого тиску / Погорелов В.О. Матеріали науково-практичної конференції. ДДАЕУ. Дніпро. 2021 – 32 – 34 с.
7. Шляхи і методи підвищення довговічності і надійності роботи паливної апаратури автотракторних двигунів / В. Анісімов та ін. Вінниця : ВНАУ, 2012. 142 с.
8. Журавель Д. П. Вплив біопалива на знос матеріалів паливної апаратури двигунів мобільної техніки / Журавель, В. Б. Юдовинський, С. В. Кюрчев II Науковий вісник Луганського національного аграрного університету: зб. наук, праць / ЛНАУ. - Луганськ, 2010. - № 3. - С. 96-99.

9. Гріхів, Л.В. Паливна апаратура дизелів з електронним керуванням. Навчально-практичний посібник [Текст] / Л.В. Грехов.- М .: Легіон-Автодата, 2009.- 176 с.
10. Калганков Є.В. Деякі проблеми гідроабразивно-втомного зносу деталей об'ємного гідроприводу мобільних машин / Є.В. Калганков // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. — Дніпропетровск: ІГТМ НАНУ. — 2013. — №108. — С. 133-142.
11. Bejger A, Drzewieniecki J. 2015. Analysis of tribological processes occurring in precision pairs based on example of fuel injection pumps of marine diesel engines. Sci J Maritime Univ Szczecin. 41(113):9–16.
12. ADAM KIEWICZ A., DRZEWIENIECKI J.: Operational problems in marine diesel engines switching on low sulfur fuels before entering the emission controlled areas. Journal of Polish CIMAC 6, 1, 2011, 7–16
13. Bloch, H.P.; Geitner, F.K. Major Process Equipment Maintenance and Repair; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 1997.
14. A dense Cr₂O₃/Al₂O₃ composite ceramic coating prepared by electro-deposition and sealing with Al₂O₃ / [J. Di, W. Liu, L. Xue and etc.]. // Coatings. — 2019. — №9(1). — P. 14
15. Конспект лекцій з дисципліни «Відновлення деталей» для здобувачів освітнього рівня бакалавр за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт» / Укладачі: Левкович М.Г., Гупка А.Б., Сіправська М.Д. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2021. – 136 с.
16. Грібіник А. В. Дослідження параметрів відновлення гільз циліндрів дизельних двигунів гальванічним композитним покриттям на основі заліза: кваліфікаційна робота магістра: спец. 133 - Галузеве машинобудування; наук. кер. О.В. Сайчук; Харків, 2021. 70 с.
17. Калганков Є. В. Особливості фрактального аналізу поверхні руйнування гумових футерівок, що працюють в умовах абразивно-втомного зно-

су / Є. В. Калганков. // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. - Дніпропетровск: ІГТМ НАНУ. – 2017. – №133. – С. 66–74.

18. Дирда В. И. Определение долговечности упругонаследственных сред с использованием обобщенных критериев разрушения / В. И. Дирда, А. В. Толстенко, Е. В. Калганков. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – №4. – С. 4–7.

19. Терехов В. Ю. Визначення технічного стану моторного масла та його вплив на трибоспрямлення двигуна / В. Ю. Терехов, Є. В. Калганков, В. І. Дирда. // Zbiór raportów naukowych. „ Inżynieria i technologia. 2014. osiągnięć, projekty hipotezę. „ Warszawa: Wydawca: Sp. z o.o. «Diamond trading tour». – 2014. – С. 102–105.

20. Савостіков, Георгій Романович. *Гальванічні покриття у машинобудуванні. Розробка технології гальванічного цинкування дрібних сталевих деталей*. BS thesis. КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023.

21. Скляр В. А. Організація і математичне планування експерименту <https://magicbook.com.ua/uk/product-52464.html>.

22. Обобщенная теория износа упруго-наследственных сред / А. С. Кобец, В. И. Дирда, Е. В. Калганков, И. Н. Цаниди. // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2012. – №2. – С. 81–84.

23. Пат. № 144310 Україна, G01N 3/56 (2006.01) Машина тертя / Калганков Є.В.; Грачова В.М.; Косенко А.В. - u202001408; заявл. 20.03.2020; опубл. 25.09.2020, бюл. № 18; 4 с.

24. Калганков Є. В. Особливості фрактального аналізу поверхні руйнування гумових футерівок, що працюють в умовах абразивно-втомного зносу / Є. В. Калганков. // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. — Дніпропетровск: ІГТМ НАНУ. – 2017. – №133. – С. 66–74.

25. Беликов А.С. Основы охраны труда: [Учебник для студентов высших учебных заведений Украины III-IV уровня аккредитации] / Под ред., д.т.н., профессора А.С. Беликова. - Днепропетровск: «Журфонд», 2007. – 494 с.

26. ДСТУ 2867-94. Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження. Загальні вимоги. Чинний від 1996-01-01. Вид. офіц. Київ, 1996. 5 с.

27. Вініченко І.І. Методичні рекомендації з економічного обґрунтування дипломних робіт для студентів факультету механізації сільського господарства / І.І Вініченко, А.О. Сітковська. Дніпропетровськ: ДДАЕУ, 2016. – 27 с.

28. Калганков Є.В. Методичні рекомендації до виконання і оформлення дипломних проектів ОС "Бакалавр" за спеціальністю 208 "Агроінженерія" і дипломних робіт ОС "Магістр" за спеціальністю 208 "Агроінженерія" / Калганков Є.В. – Д.: ДДАЕУ, 2021. – 36 с.

29. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення ДСТУ3008 – 95. - [Чинний від 1996-01-01]. — К. : Держстандарт України 1995. – 37 с. – (Національний стандарт України).

30. Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання (ГОСТ 7.1–2003, IDT) ДСТУ ГОСТ 7.1:2006. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 48 с. - (Національний стандарт України).

ДОДАТКИ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра інжинірингу технічних систем

**ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ
ПЛУНЖЕРНИХ ПАР ПАЛИВНИХ НАСОСІВ ВИСОКОГО
ТИСКУ КОМПОЗИТНИМИ ГАЛЬВАНІЧНИМИ ПОКРИТТЯМИ**

демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІ-2-22
Горган Роман Юрійович

Керівник: доцент, д.т.н.
Васильєв Д.Л.

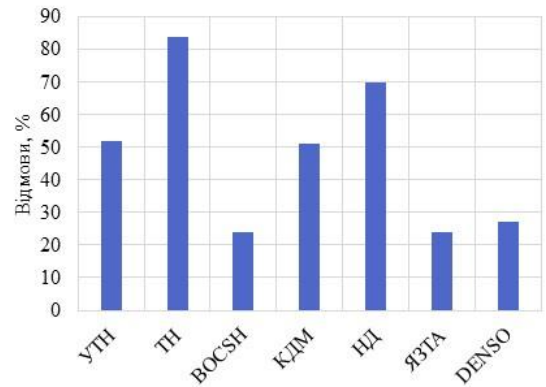
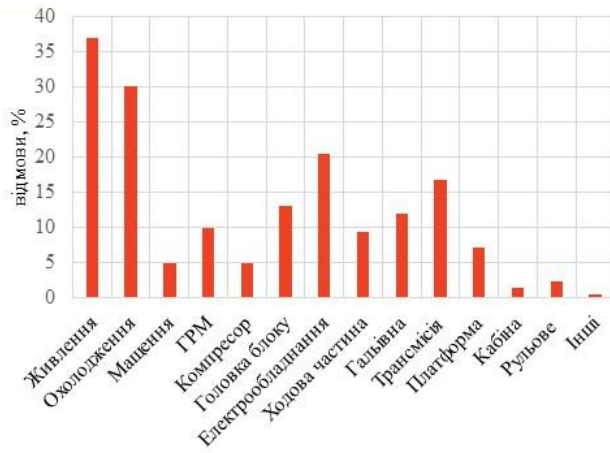
Дніпро-2023

МЕТА РОБОТИ

Підвищення експлуатаційної ефективності плунжерних пар ПНВТ дизельних двигунів сільськогосподарської техніки при відновленні дисперсно-зміцненим композитним покриттям на основі хрому з діелектричним наповнювачем.

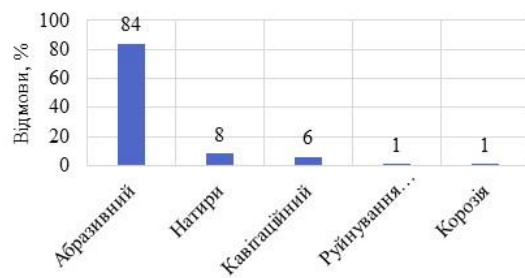
ЗАДАЧІ РОБОТИ

1. На підставі літературних даних і патентного пошуку вивчити причини відмов сільськогосподарських машин через вихід з ладу плунжерних пар ПНВТ і способи їх відновлення;
2. Обґрунтувати теоретично можливість забезпечення необхідної зносостійкості плунжерних пар ПНВТ при відновленні їх гальванічним композитним покриттям на основі хрому з діелектричним наповнювачем.
3. Розробити регресійні моделі, що пов'язують технологічні параметри відновлення деталей з фізико-механічними властивостями робочих поверхонь виробів і визначити раціональні режими нанесення гальванічного композитного покриття на основі хрому з діелектричним наповнювачем.
4. На основі розробленого способу запропонувати технологію відновлення плунжерних пар ПНВТ із застосуванням гальванічного композитного покриття на основі хрому з діелектричним наповнювачем.
5. Провести стендові та експлуатаційні випробування плунжерних пар і визначити техніко-економічну ефективність розробленої технології їх відновлення.



Відмови плунжерних пар різних паливних насосів

Відмови систем та механізмів трактора ХТЗ 17221



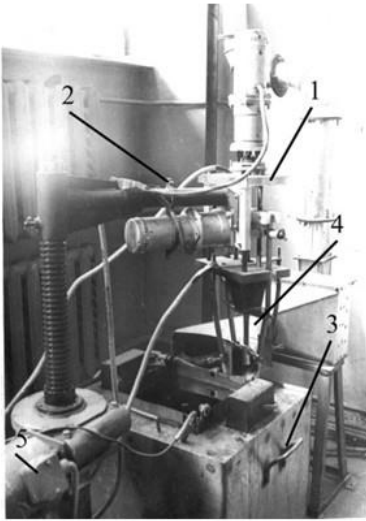
Види зносу плунжерної пари



Руйнування плунжера ПНВТ



Абразивний знос робочої поверхні



Експериментальна установка



Експериментальна гільза

Профілометр 170621
модель 296Товщиномір магнітний
MT -2007

Мікротвердомір ПМТ – 3

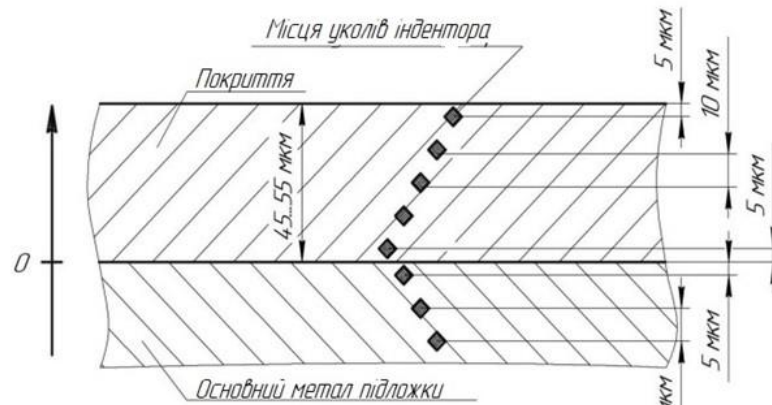
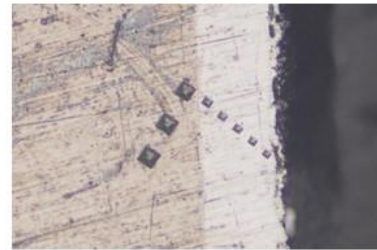


Схема вимірювання мікротвердості на шліфі



а

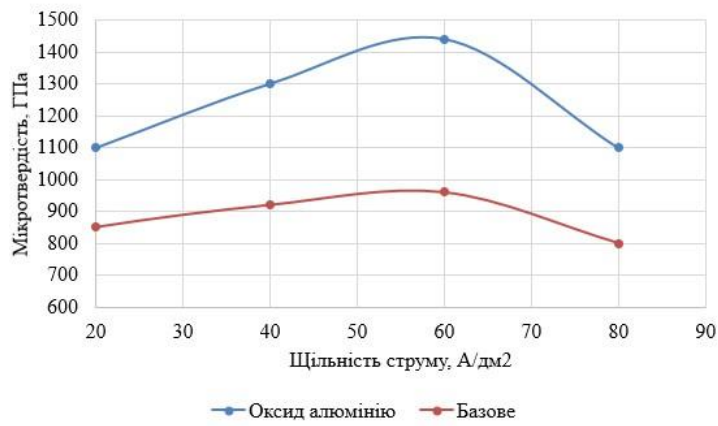


б

Металографічні шліфи зразків з покриттями на основі хрому після вимірювання мікротвердості (x100):

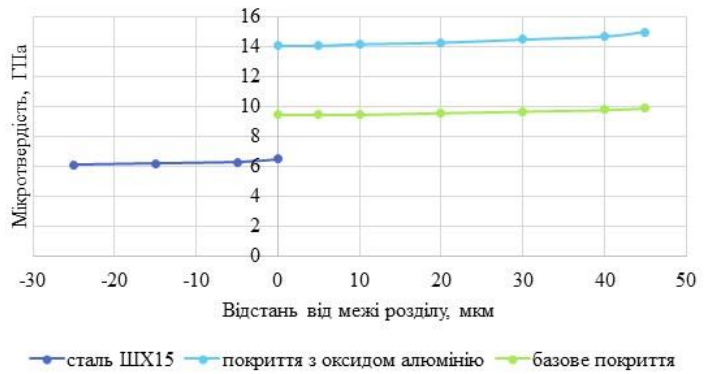
а - базове електролітичне покриття; б - нанокomпозиційне

6 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

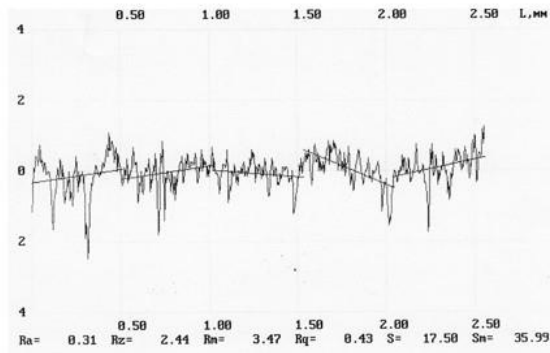


Залежність мікротвердості від щільності струму

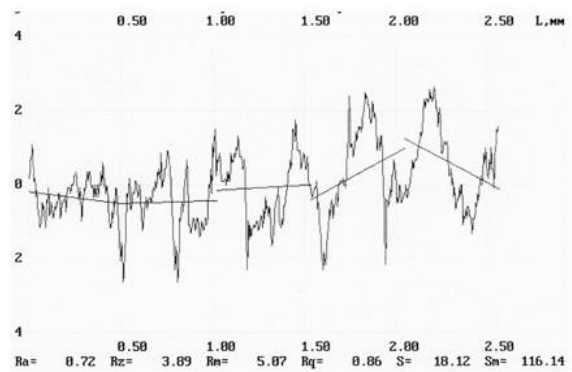
Розподіл мікротвердості покриття



7 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

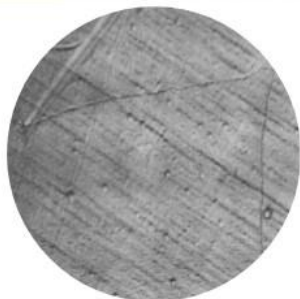


Шорсткості базового покриття

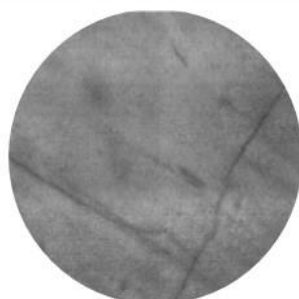


Шорсткості базового покриття та покриття ГКО

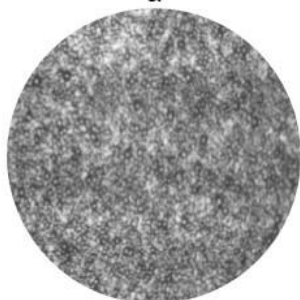
8 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ



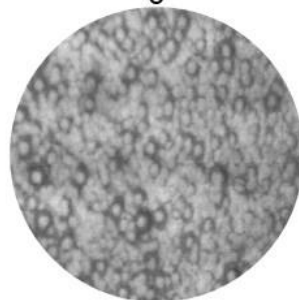
а



б

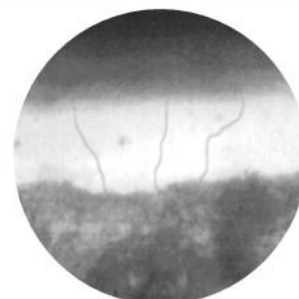


в



г

Дослідження структури гальванічного дисперсно-зміцненого композитного хромового покриття
а - чистий хром при збільшенні в 88 разів; б - чистий хром при збільшенні в 220 разів; в - композиційний хром при збільшенні в 88 разів; г - композиційний хром при збільшенні в 220 разів



а



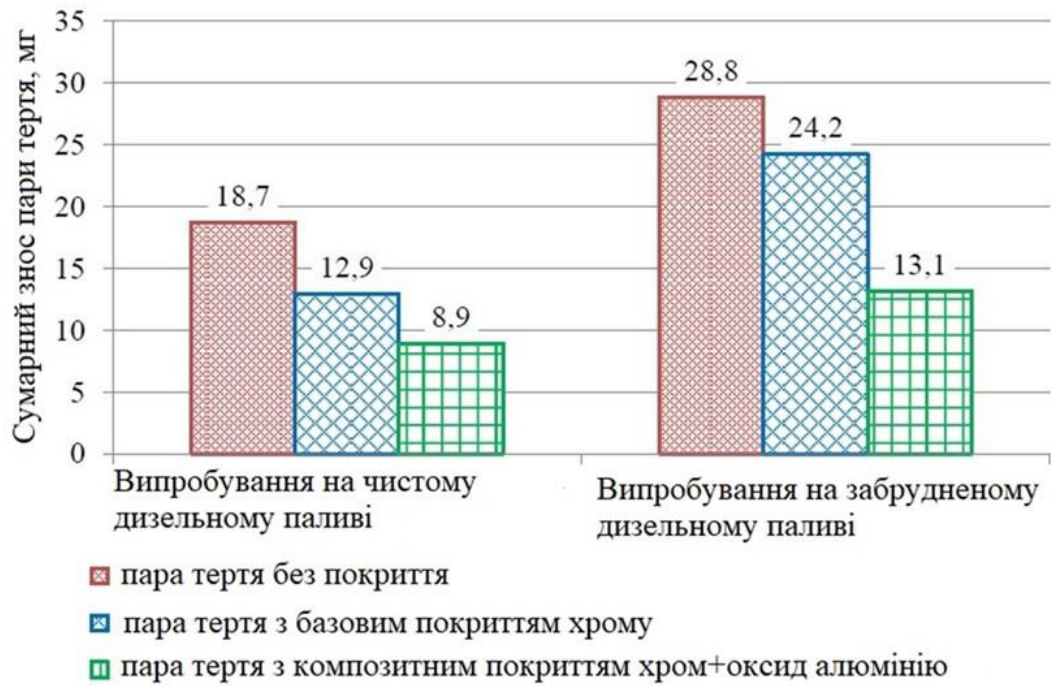
б

Поперечні шліфи (x 350):

а - чистий хром;

б - композиційний хром

9 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ



Сумарний знос пар тертя після випробувань

005 Мийна



020 Гальванічна



035 Контроль шліфування



050 Доводка гільзи



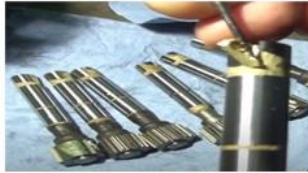
010 Дефектовочна



025 Контрольна



040 Очистка



055 Сумісна доводка



015 Ізоляційна



030 Шліфувальна



045 Доводка плунжера



060 Контрольна



Найменування показника	Одиниця вимірювання	Значення показників
1. Річний випуск відновлених деталей:	шт.	2000
2. Загальна вартість основних виробничих фондів дільниці, -у тому числі технологічного обладнання	тис. грн. тис. грн.	293,7 802
3. Загальна площа дільниці, -у тому числі виробнича	м ² м ²	39,65 30,5
4. Загальна кількість робітників, -у тому числі основних робочих	чол. чол.	12 6
5. Випуск продукції на одного робітника: -у натуральному виразі -у вартісному виразі	шт./чол тис. грн./чол	1666,6 243,13
6. Випуск продукції на одного основного робітника -у натуральному виразі -у вартісному виразі	шт./чол. тис. грн./чол.	3333,3 486,3
7. Фондоозброєність у тому числі за технологічним обладнанням	тис. грн./чол. тис. грн./чол.	8,53 2,39
8. Фондомісткість -у тому числі за технологічним обладнанням	грн./ (грн./год) грн./ (грн./год)	2,6 1,79
9. Фондовіддача - у тому числі за технологічним обладнанням	грн./ (грн./год) грн./ (грн./год)	94,18 354,81
10. Трудомісткість відновлення одиниці виробів	хв.	26,78
11. Собівартість відновлення: -однієї деталі	грн.	62,0
12. Залишкова вартість зношеної деталі	грн.	90
13. Економія по вартості: -на одиницю -на річну програму	грн. млн. грн.	318,0 0,636
14. Термін окупності капіталовкладень	років	2,5

Вивчено та розкрито процес отримання дисперсно-зміцнених гальванічних композитних покриттів;

Теоретично обґрунтовано доцільність застосування як дисперсного наповнювача гальванічних композитних покриттів діелектричних матеріалів;

Розкрито й аналітично описано механізм зміцнення гальванічних покриттів при впровадженні в них дисперсних наповнювачів;

Теоретично обґрунтовано й аналітично доведено можливість підвищення зносостійкості гальванічного композитного покриття при впровадженні в нього дрібнодисперсного наповнювача з мікротвердістю, яка перевершує мікротвердість гальванічної матриці.

Розроблено вимоги до процесу нанесення герметичних гальванічних композитних покриттів на основі хрому на робочі поверхні деталей плунжерної пари ПНВТ дизельних двигунів без попередньої та подальшої механічної обробки;

Сформовано порядок досліджень покриттів і методи оцінки якості експериментів;

Спроектовано та виготовлено технологічне оснащення, що дозволяє значною мірою автоматизувати процес нанесення гальванічних композитних покриттів.

Виявлено, що на мікротвердість покриттів у порядку убутання впливають густина струму, температура електроліту та тиск інструменту. Експериментально отримано та підтверджено виробничою практикою одержання композитних покриттів на основі хрому з мікротвердістю 11000 - 14500 МПа проти 9000 - 11400 МПа у покриттів, отриманих за стандартною технологією.

На залишкові напруження крім густини струму, температури електроліту і тиску інструменту додається вплив товщини покриття. Метод ГКО дає змогу одержувати в покриттях товщиною від 4 до 40 мкм стискаючі залишкові напруження величиною 320 - 110 МПа, що недосяжно іншими відомими технологічними прийомами. Стандартна технологія передбачає отримання в хромових покриттях, товщиною до 40 мкм, стискаючих залишкових напружень тільки методом подальшого поверхнево-пластичного деформування покриття, але при цьому брак досягає 93%.

Шорсткість покриттів, оцінюючи головним чином тиском інструменту, температурою електроліту і щільністю струму. Значення шорсткості покриттів, отриманих методом ГКО, відповідають $R_a = 0,1 - 0,2$ мкм без механічної обробки покриття, що дає змогу використовувати метод як фінішну обробку.

Доведено, що у зв'язку з відсутністю пір і тріщин у гальванічному композитному покритті на основі хрому, його корозійна стійкість більш ніж у 14 разів перевершує аналогічний показник стандартних хромових покриттів, що дає змогу експлуатувати відповідні вузли без ремонту значно більший час.

За підсумками досліджень визначено раціональні режими осадження композитних покриттів на основі хрому: катодна густина струму 17...19 кА/м^2 , тиск інструменту на відновлювальну поверхню $p = 1,0 - 3,0$ МПа, температура електроліту 55 - 58 $^{\circ}\text{C}$, швидкість головного руху 3,5 - 4,5 м/хв, швидкість допоміжного руху 100 - 120 хв^{-1} .

Зносостійкість отриманих дисперсно-зміцнених гальванічних композитних покриттів на основі хрому в 1,25 - 2,45 рази перевершує зносостійкість стандартних хромових покриттів.

Річний економічний ефект від впровадження технології гальваноконтального відновлення плунжерних пар ПНВТ композитним покриттям на основі хрому з діелектричним наповнювачем оксиду алюмінію склав понад 636000 грн., а термін окупності капіталовкладень 2,5 років.

ЗАСТОСУВАННЯ ГАЛЬВАНІЧНИХ ПОКРИТТІВ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ

Горган Р.Ю.

здобувач вищої освіти СВО Магістр,

ОПП Агроінженерія, ІТФ ДДАЕУ

Науковий керівник – Васильєв Д.Л.,

доктор технічних наук, доцент

Одне з найважливіших завдань ремонтного виробництва сільськогосподарської техніки полягає в підвищенні довговічності машин і механізмів. Експлуатаційна надійність елементів паливної системи дизельних двигунів значною мірою визначає екологічну безпеку двигуна, стабільність і безвідмовність його роботи, а також його експлуатаційно-економічні показники.

Знос плунжерних пар дизельного двигуна сільськогосподарської техніки є причиною відмови системи живлення в 30-50% випадків усіх відмов силових установок [1, 2, 3]. Це спричинено високим тиском під час прокачування палива, якістю застосовуваних матеріалів під час виготовлення вузлів, якістю складання, заклинюванням тощо. Але головна причина полягає в якості використовуваного дизельного палива, яке у своєму складі має тверді механічні частинки, що веде до появи ефекту абразивного зношування.

З огляду на те, що для виготовлення плунжерних пар застосовують високолеговану сталь, а самі вони є прецизійними деталями, що накладає високі технологічні та економічні вимоги до їхнього виробництва, очевидно, що їхнє відновлення призведе до значної економії матеріальних і часових витрат. Основними способами відновлення працездатності плунжерних пар паливних насосів високого тиску (ПНВТ) є шліфування під ремонтний роз-

мір з подальшим контактним приварюванням сталеві стрічки, індукційним відцентровим наплавленням, термопластичним деформуванням, електродуговою металізацією [1, 4].

Всі перераховані вище методи вимагають обов'язкової фінішної операції шліфування, яка, будучи за своєю суттю високотемпературним методом впливу, веде до утворення на відновленій поверхні мікротріщин, які, будучи концентраторами напружень, призводять до відколів і викришування на робочій поверхні деталей. Це веде до заклинювання плунжерної пари і, як наслідок, повного виходу з ладу ПНВТ. При цьому необхідно пам'ятати, що всі високотемпературні процеси ведуть до подальшого викривлення і, як наслідок, до просторових деформацій відновлюваних вузлів, що значною мірою знижує їхній ресурс, а це небажано для прецизійних деталей, до числа яких належить плунжерна пара ПНВТ.

З огляду на вищесказане, зрозуміло, що найперспективнішими способами відновлення для плунжерних пар ПНВТ мають бути процеси, що протікають за низьких температур, які мінімізують, а в ідеалі унеможливають подальше механічне оброблення. До таких методів насамперед можна віднести гальванічні способи відновлення і насамперед хромування. Цей спосіб дає змогу наносити найбільш зносостійкі покриття, проте він має цілу низку недоліків.

Насамперед значно знижує надійність прецизійних вузлів. Причина цього - недолік, притаманний усім зносостійким хромовим покриттям, а саме: низька корозійна стійкість і негерметичність їх при високих тисках у системі, що проявляються внаслідок наявності в покритті розвиненої сітки пір та тріщин, яка є результатом високих розтягувальних залишкових напружень у ньому, що перевищують межу міцності хрому, що спричиняє його руйнування та, як наслідок, призводить до виходу з ладу плунжерної пари.

Уникнути такого ефекту можливо відновленням плунжерних пар ПНВТ методом нанесення гальванічних композитних покриттів на основі

хрому, оскільки ця матриця має досить високу мікротвердість і зносостійкість.

Мікротвердість одержуваних покриттів досліджували на металографічних шліфах за товщиною шару від межі розділу з основним металом (рис. 1).



Рис.1. Металографічні шліфи зразків з покриттями на основі хрому після вимірювання мікротвердості (x100):

а - базове електролітичне покриття; б - композиційне

Згідно досліджень найбільшу мікротвердість має наноконпозиційне електролітичне покриття на основі хрому, отримане при введенні в електроліт хромування нанорозмірного порошку Al_2O_3 . Це пояснюється, найімовірніше, не тільки високою мікротвердістю нанорозмірних частинок Al_2O_3 , а й тим, що Al_2O_3 на відміну від боридів, карбідів і нітридів більш стійкий до агресивних середовищ, термостійкий, за звичайних умов не розкладається і не перетворюється на інші сполуки (рис. 2).

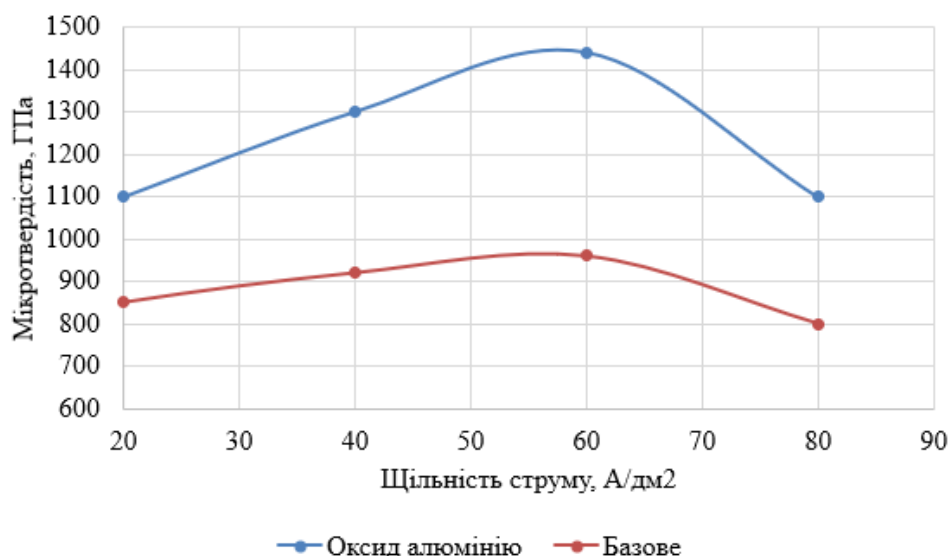


Рис. 2. Залежність мікротвердості від щільності струму

Методом гальваноконтактного осадження, що забезпечує одержання гальванічних композитів на основі хромової матриці з діелектричним наповнювачем, отримано покриття, мікротвердість яких відповідає значенням 1100 - 14500 ГПа, проти мікротвердості покриттів, отриманих традиційним хромуванням 800 - 960 ГПа. Таким чином, експериментально доведено, що технологія ГКО дає змогу перевершити мікротвердість хромових покриттів, отриманих за стандартною технологією, без погіршення їхніх решти фізико-механічних властивостей, що дає змогу прогнозувати досить високу їхню зносостійкість.

Висновок. Мікротвердість наноконпозиційних електролітичних покриттів на основі хрому, отриманих при використанні нанорозмірних частинок Al_2O_3 на основі хрому становила 14,10 ГПа, що в 1,05 раза більше за мікротвердість відповідних покриттів, отриманих при використанні нанорозмірних частинок і в 1,47 раза більше мікротвердості базових покриттів.

Список використаних джерел

1. Дирда В.І. Ремонт машин та обладнання: / Дирда В.І. – Дніпропетровськ: Журфонд, 2015. – 292 с.
2. Дорошенко О. В. Обґрунтування методів та параметрів діагностування паливних систем мобільних сільськогосподарських машин /О. В. До-

рошенко, Є. В. Калганков. // Zbiór artykułów naukowych z Konferencji Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej "Nowy sposób rozwoju Inżynieria i Technologia" Sp. z o.o. «Diamond trading tour» Warszawa. – 2017. – С. 44–50.

3. Калганков Є.В. Деякі проблеми гідроабразивно-втомного зносу деталей об'ємного гідроприводу мобільних машин / Є.В. Калганков // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. — Дніпропетровск: ІГТМ НАНУ. – 2013. – №108. – С. 133-142.

4. Калганков Є.В. Розробка технологічного процесу відновлення деталі [Методичні рекомендації] / Калганков Є.В. – Дніпро: ДДАЕУ, 2021. – 75 с.