

Міністерство освіти і науки України

Український державний університет залізничного транспорту

Волошина Людмила Володимирівна



УДК [62-728+621.794.6]:621.43

**ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ МАСЛЯНИХ ШЕСТЕРЕННИХ
НАСОСІВ ТРАКТОРНИХ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ**

Спеціальність 05.02.01 – матеріалознавство

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українському державному університеті залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Тимофєєва Ларіса Андріївна,
Український державний університет залізничного транспорту, професор кафедри інженерія вагонів та якість продукції, Лауреат Державної премії України

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Роїк Тетяна Анатоліївна,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
професор кафедри технології поліграфічного виробництва;

доктор технічних наук, професор
Власовець Віталій Михайлович,
Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка,
директор навчально-наукового інституту механотроніки і систем менеджменту, професор кафедри тракторів і автомобілів

доктор технічних наук, професор
Дмитрик Віталій Володимирович,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
професор кафедри зварювання,
Лауреат Державної премії України

Захист відбудеться “30” вересня 2021 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.832.04 в Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка, 61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44.

Автореферат розісланий “28” серпня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



В.М. Власовець

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В сучасних важких умовах, в яких перебуває машинобудування України, проблема строку служби деталей машин і агрегатів, їх довговічності і надійності набула дуже важливого значення. Якість машин, спеціального обладнання та пристроїв у значній мірі визначається ресурсом їх роботи, недостатнім для більшої частини технічних систем, що виготовляються та експлуатуються на даний момент. Ресурс багатьох машин зумовлений низькою зносостійкістю рухомих спряжень та деталей тертя. В зв'язку з цим пошуки і розробка нових технологій, які забезпечать збільшення строку служби деталей тертя, стає першочерговим науковим завданням.

Як показали результати експлуатації пари тертя шестерня - корпус масляного шестеренного насосу дизельних двигунів зниження працездатності і вихід з ладу шестеренних масляних насосів відбувається в основному за рахунок зносу стінок корпуса і голівок зубів нагнітальних шестерень, торців шестерень і кришки масляного насоса, зносу зубів нагнітальних шестерень по окружності голівок. Це приводить до підвищення витоків масла внаслідок збільшення радіального зазору між вершинами зубів і стінками корпуса, торцевого зазору між торцями шестерень і кришкою масляного насоса, бічного зазору між зубами шестерень і в результаті до зниження продуктивності масляного шестеренного насоса, що сприяє також масляному "голодуванню" деталей і вузлів двигуна в цілому із-за зменшення об'єму подачі змащувальних матеріалів та швидкому їх зносу.

Реновація поверхні пов'язана із значними витратами, що полягають у розбиранні двигуна, перевірці масляного насоса на забезпечення рівня подачі, розбиранні насоса, дефектації, вибракуванні і відновленні деталей масляного насоса. Тому підвищення зносостійкості розглянутої пари тертя є актуальною проблемою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження за темою дисертаційної роботи виконані відповідно до Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 р. № 430-р), Стратегічних пріоритетних напрямів інноваційної діяльності на 2011-2021 роки, згідно Закону України № 2519-IV від 09.10.2010 р. «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки» за пріоритетним напрямком розвитку науки і техніки «Новітні та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі». Окремі дослідження за темою дисертаційної роботи виконані відповідно до тематики науково-дослідних робіт за темами: «Розробка технології комплексної механічної обробки для деталей транспортного призначення» (ДР№0115U006512); «Розробка нового складу ріжучого інструменту для обробки твердих матеріалів» (ДР№0115U006511).

Мета дослідження: підвищення експлуатаційних властивостей деталей масляних шестеренних насосів тракторних дизельних двигунів за рахунок розробки способу нанесення покриття з заданими властивостями.

Завдання дослідження. Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі наукові та практичні завдання:

- на основі літературних джерел інформації, огляду патентів і авторських свідоцтв провести аналіз ефективних методів нанесення покриттів, які використовують для покращення триботехнічних властивостей виробів;
- провести аналіз механізму зносу, пошкодження матеріалу деталей масляних шестеренних насосів при їх експлуатації;
- розробити спосіб нанесення покриттів на деталі масляного шестеренного насосу, що забезпечить задану працездатність і зносостійкість;
- визначити особливості формування окислених покриттів і оцінити їх вплив на структуру і зносостійкість;
- визначити раціональні параметри технологічного процесу окислення, а саме час витримки, концентрація насичуючого середовища, температура, що забезпечать підвищення зносостійкості деталей масляного шестеренного насосу;
- визначити вплив технологічних параметрів окислення на експлуатаційні властивості, а саме зносостійкість та працездатність;
- провести експлуатаційні випробування технологічного процесу окислення і оцінити його економічну ефективність.

Об'єкт дослідження - процес формування покриттів з заданими експлуатаційними властивостями.

Предмет дослідження - підвищення зносостійкості деталей масляних шестеренних насосів тракторних дизельних двигунів.

Методи дослідження. В роботі при виконанні експериментальних досліджень використано обладнання для триботехнічних випробувань, для вивчення структурно-фазового складу покриття використовувалися металографічні методи, метод оптичної мікроскопії, методика рентгеноспектрального флуоресцентного аналізу, рентгенівський метод дослідження фазового складу.

Достовірність результатів, одержаних в роботі, підтверджується використанням експериментально-технічних положень при математичному плануванні експерименту.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному.

У дисертаційній роботі вирішено наукове завдання щодо підвищення зносостійкості та працездатності деталей масляного шестеренного насосу двигунів внутрішнього згорання за рахунок розроблення інноваційної технології формування багатошарового покриття в одному технологічному циклі.

Вперше:

- розроблено інноваційний технологічний процес формування покриттів з використанням водного розчину алюмохромфосфатного зв'язуючого, що дозволить підвищити зносостійкість пар тертя;
- визначено залежність між величиною зносу і технологічними параметрами нанесення покриттів на чавунних та сталевих деталях: температурою, часом витримки і концентрацією розчину;

- визначено залежність впливу технологічних параметрів на товщину покриття;

- розроблено комплексну технологію одночасного формування багат шарового покриття, що базується на послідовному формуванні перехідного шару покриття з різним ступенем легованості на сталевих та чавунних деталях масляного шестеренного насосу двигунів внутрішнього згорання.

Удосконалено: технологічний процес формування покриттів багатфункціонального призначення в одному технологічному циклі на деталях масляного шестеренного насосу двигунів внутрішнього згорання, що забезпечить підвищення їх зносостійкості та працездатності.

Практичне значення одержаних результатів. На основі теоретичних і експериментальних досліджень розроблена технологія нанесення покриттів, яка складається з окислення у водному розчині алюмохромфосфатного зв'язуючого деталей масляного шестеренного насосу двигунів внутрішнього згорання, що забезпечує підвищення зносостійкості та працездатності:

- визначено раціональні параметри розробленої технології, зокрема температуру нагріву деталей, концентрацію насичуючого середовища та час витримки у цьому середовищі;

- проведено експлуатаційні випробування, які довели, що використання нової технології нанесення покриттів на деталі масляних шестеренних насосів забезпечує їх працездатність протягом усього міжремонтного періоду двигуна;

- результати експлуатаційних випробувань довели, що зносостійкість деталей з покриттям перевищує майже в 3 рази зносостійкість деталей за старою технологією.

Результати теоретичних і практичних досліджень впроваджені у навчальний процес Українського державного університету залізничного транспорту при вивченні таких дисциплін, як «Матеріалознавство», «Технологія конструкційних матеріалів», «Нові матеріали та технології виготовлення і відновлення деталей», «Ресурсозберігаючі технології».

Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними актами впровадження, що наведені у додатках до роботи.

Особистий внесок здобувача. Експериментальні та теоретичні дослідження, що виносяться до захисту, отримані автором самостійно та викладенні у роботах [1-22]. У наукових роботах, що опубліковані у співавторстві, здобувачеві належать: планування та виконання експериментів [1,2,4,5,7-9,11,12,16,18,20-22], обґрунтування нової технології одержання покриттів та підвищення зносостійкості деталей з залізовуглецевих сплавів [1,4,5,9,11]; встановлення впливу способу та параметрів нанесення покриттів на досягнення заданих властивостей [7,8,16,19]; експериментальне дослідження мікроструктури та властивостей покриттів сформованих на зразках із чавуну та сталі після окислення [5,7,12]; експериментальні дослідження впливу технологічних параметрів нанесення покриття при запропонованій технології окислення, а також попереднього стану чавуну та сталі на ефективність формування покриттів з заданими властивостями та вибір оптимальних

параметрів обробки [7,8]; теоретичні дослідження впливу хімічного складу покриттів на можливість формування зносостійких покриттів на залізобетонних сплавах [1,2,4]; експериментальні дослідження фазових та структурних перетворень в поверхневих шарах чавуну та сталі, а також у шарах покриття, сформованого у результаті окислення із водного розчину алюмохромфосфатного зв'язуючого [12,18]; експериментальні дослідження впливу хімічного складу покриття та технологічних параметрів формування покриття на триботехнічні властивості поверхонь тертя [5,7,8, 19-22].

Апробація результатів досліджень. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на міжнародних науково-технічних конференціях у період з 2001 по 2020 р.р.: 1-й Міжнародній науково-технічній конференції "Інженерія поверхні і реновація виробів" (м. Феодосія, Київ: АТМ України, 2001 р.); 2-й Міжнародній науково-технічній конференції "Інженерія поверхні і реновація виробів" (м. Ялта, Київ: АТМ України, 2002р.), 3-ому Міжнародному науково-технічному семінарі «Сучасні проблеми підготовки виробництва, обробки і зборки в машинобудуванні і приладобудуванні» (м. Свалява, Карпати, АТМ України, 2003р.); 3-й Міжнародній науково-технічній конференції "Інженерія поверхні і реновація виробів" (м. Ялта, Київ: АТМ України, 2003р.); 11-й Міжнародній науково-практичній конференції „Якість, стандартизація, контроль: теорія і практика”(м.Ялта, Київ: АТМ України, 2011р.); 79-й Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, УкрДУЗТ, 25-27 квіт. 2017р.); 80-й Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, УкрДУЗТ, квіт. 2018р.); 18-й міжнародній науково-практичній конференції „Якість, стандартизація, контроль: теорія і практика” (м. Одеса. Київ: АТМ України, 2018); 19-му Міжнародному науково-технічному семінарі „Сучасні питання виробництва і ремонту в промисловості і на транспорті”(г. Кошице, Slovak Republic. Київ: АТМ України, 2019); 19-й Міжнародній науково-технічній конференції "Інженерія поверхні і реновація виробів" (м. Свалява, Київ: АТМ України, 2019) з опублікуванням тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій; II-й Всеукраїнській конференції „Вагони нового покоління: із ХХ в ХХІ сторіччя”(м.Харків: УкрДУЗТ, 2019); 19-та міжнародна науково-технічна конференція "Інженерія поверхні і реновація виробів" (20-24 травня 2019р., м. Свалява, Закарпатська обл. Київ: АТМ України, 2019); I-а міжнародна науково-технічна конференція „Інтелектуальні транспортні технології” (24-30 січня 2020р. Трускавець-Харків: УкрДУЗТ); 20-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Якість, стандартизація, контроль: теорія і практика» (07–11 вересня 2020 р., м. Одеса. Київ: АТМ України).

Основні положення дисертації доповідалися на кафедрі „Якість, стандартизація, сертифікація та технології виготовлення матеріалів” в рамках науково-технічної конференції УкрДУЗТ з 2001 по 2020 р.р. В повному обсязі дисертаційна робота обговорювалась та схвалена на розширеному засіданні кафедри якості, стандартизації, сертифікації та технологій виготовлення матеріалів Українського державного університету залізничного транспорту.

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 22 наукових працях, в тому числі: 6 статей у фахових наукових виданнях України; 1 стаття у виданні, що включено до міжнародних наукометричних баз, а саме SCOPUS; 11 праць апробаційного характеру; 3 додаткових; розробка захищена 1 патентом України на винахід.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів з висновками, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 195 сторінок, у тому числі 165 сторінок основного тексту, 13 таблиць, 91 рисунок, список використаних джерел із 217 найменувань на 23 сторінках, 7 сторінок додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та завдання дослідження, визначені об'єкт та предмет дослідження, наведено основні отримані автором результати, визначено їх новизну і практичну значимість. Показано зв'язок роботи з науковими темами і особистий внесок здобувачки. Наведено дані про публікації та апробацію результатів роботи.

Перший розділ присвячено аналізу умов роботи масляного шестеренного насосу двигунів внутрішнього згорання, виконаний аналітичний огляд стану питання й обґрунтовано вибір напрямку досліджень.

Вагомий внесок у вирішення проблеми підвищення експлуатаційних властивостей деталей транспортного призначення зробили відомі вчені: Тимофєєва Л.А., Скобло Т.С., Власовець В.М., Автухов А.К., Роїк Т.А., Глушкова Д.Б., Субботіна В.В., Черноіванов В.І., Сідашенко О.І., Науменко О.А., Черновол М.І. та інші. У тому числі питанням формування зносостійких шарів присвячено роботи: Белый А.В., Карпенко Г.Д., Мышкин Н.К., Власов В.М., Коган Я.Д., Antczak G., Ehrlich G., Ananth S., Udaya Prakash J. та інші.

Розглянуто основні переваги та недоліки технологій формування зносостійких покриттів на деталях транспортного призначення. На основі аналізу науково-технічної літератури вітчизняних і зарубіжних авторів вибрано найбільш раціональний та науково обґрунтований метод нанесення покриттів, який дозволить підвищити триботехнічні характеристики пар тертя та збільшити ресурс масляного шестеренного насосу. Обґрунтовано, що найбільш відповідає поставленим завданням, метод нанесення зносостійкого шару окисленням з водних розчинів солей, який дозволяє підвищити зносостійкість, припрацьовуваність деталей, зменшити коефіцієнт тертя, покращити адгезію покриття.

У **другому розділі** виконаний аналіз властивостей матеріалів, які використовуються для виготовлення деталей масляних шестеренних насосів. На основі сформованих мети і завдань досліджень розроблено методологію їх проведення, яка представлена діаграмою Ісікави. (рис.1).

Виконана розробка способу нанесення покриття. Описано обладнання, яке застосовувалося для експериментів, та оптимальні методики досліджень.

У роботі використані: піч для хіміко-термічної обробки з вертикальним розташуванням робочого циліндра, універсальна машина тертя МІ, аналітичні терези ВЛА - 200гМ, рентгеноспектральний флуоресцентний аналіз (скануючий вакуумний кристал-дифракційний спектрометр "Спрут"- В), рентгенівський метод (дифрактометр ДРОН-4), металографічні дослідження (мікротвердомір ПМТ-3, мікроскоп МИМ-8), оптична електронна мікроскопія („NEORHOT 2”).



Рисунок 1 – Комплексні дослідження дисертаційної роботи

У **третьому розділі** представлені результати дослідження теоретичних основ удосконалення методу нанесення покриття. На основі аналізу літературних джерел, обрано хімічні елементи, які найбільш позитивно впливають на підвищення експлуатаційних властивостей пар тертя, та обґрунтовано утворення покриття з заданими властивостями.

Встановлено, що оптимальним складом для насичуючого середовища була б наявність в ньому таких елементів як алюміній, хром, фосфор.

Однак, одночасно в одному технологічному циклі забезпечити присутність алюмінію, хрому та фосфору було неможливо. Цього можна досягнути за рахунок того, що перераховані вище елементи входять до складу однієї речовини. В результаті проведеного аналізу науково-технічної літератури, обрано алюмохромфосфатне зв'язуюче (АХФЗ), до складу якого входять зазначені елементи, для одержання покриття з заданими властивостями на деталях масляного шестеренного насосу.

Встановлено, що основними параметрами технологічного процесу нанесення покриттів окисленням із водного розчину солей є температура обробки деталей, концентрація солі у водному розчині та час витримки в

насичуючому середовищі. Від цих параметрів залежить формування поверхневого шару, а також його триботехнічні властивості.

Представлені результати оптимізації параметрів технологічного процесу, що дозволило визначити діапазон значень параметрів технологічного процесу, за рахунок зміни яких можливо досягти найкращих експлуатаційних та триботехнічних властивостей, а саме утворення оптимальної товщини покриття, мінімальних значень зносу, оптимального часу приробітки, витримки максимального навантаження до утворення задирів.

Для визначення параметрів технології нанесення покриттів із парогазового середовища, утвореного водним розчином алюмохромфосфатного з'єднання було проведено моделювання експлуатаційних властивостей покриття в залежності від двох технологічних параметрів запропонованого процесу обробки за допомогою програми Statistica. Моделювання дозволило визначити як за рахунок зміни параметрів технологічного процесу впливати на знос, товщину покриття, коефіцієнт тертя робочих поверхонь (рис.2 – 4).

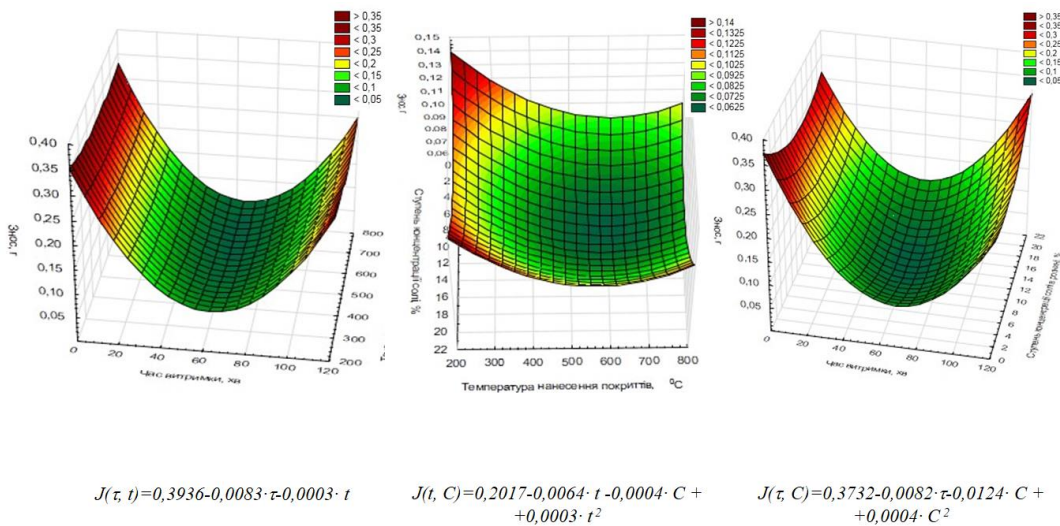


Рисунок 2 - Залежність зносу від технологічних параметрів процесу обробки

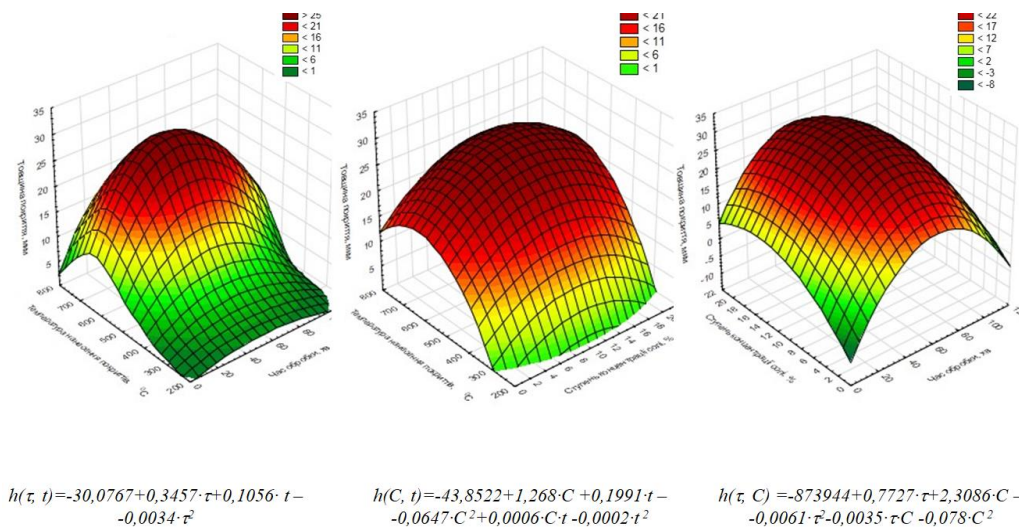
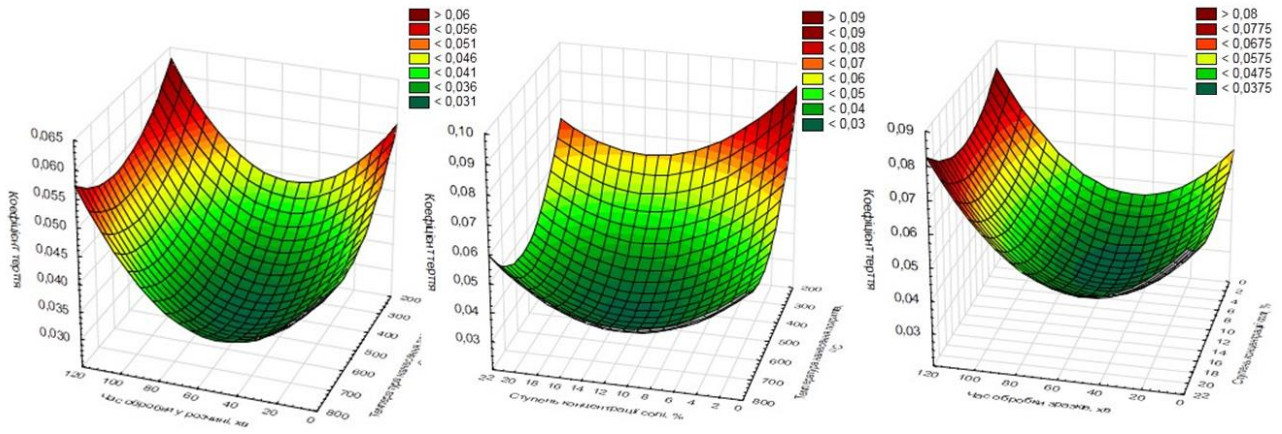


Рисунок 3 - Залежність товщини покриття від технологічних параметрів процесу обробки



$$f_{mp}(t, \tau) = 0,0742 - 0,0005 \cdot t - 0,0001 \cdot \tau$$

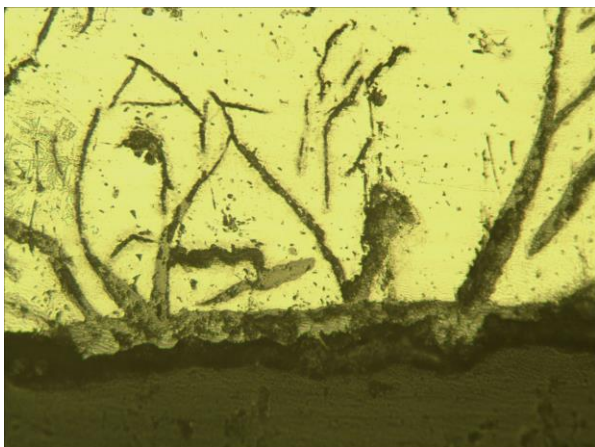
$$f_{mp}(t, C) = 0,1434 - 0,0046 \cdot t - 0,0003 \cdot C + 0,0002 \cdot t^2$$

$$f_{mp}(\tau, C) = 0,0626 - 0,0007 \cdot \tau - 0,0019 \cdot C$$

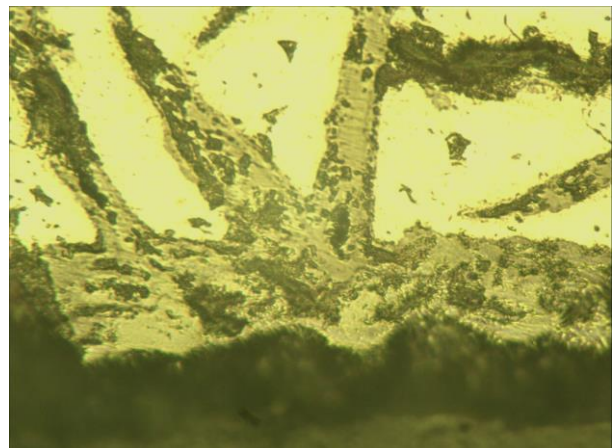
Рисунок 4 - Залежність коефіцієнту тертя від технологічних параметрів процесу обробки

Таким чином, згідно проведених досліджень оптимальними параметрами способу нанесення покриття прийнято концентрацію алюмохромфосфатного з'єднання 10%, температуру $600 \pm 20^\circ\text{C}$, час витримки в насичуючому середовищі 40 хвилин. Для дослідження впливу даного способу на формування захисних покриттів була проведена обробка за вище наведеними параметрами на зразках виготовлених із сірого чавуну, і сталі 40Х, що використовуються для виготовлення пари тертя шестерня - корпус.

Представлені результати металографічних досліджень утворених покриттів. На виготовлених шліфах проводилося дослідження структури сталі 40Х та чавуну СЧ20 (рис.5 – 8).



а) $\times 200$



б) $\times 630$

Рисунок 5 – Мікроструктура прямих шліфів чавуну з покриттям до травлення

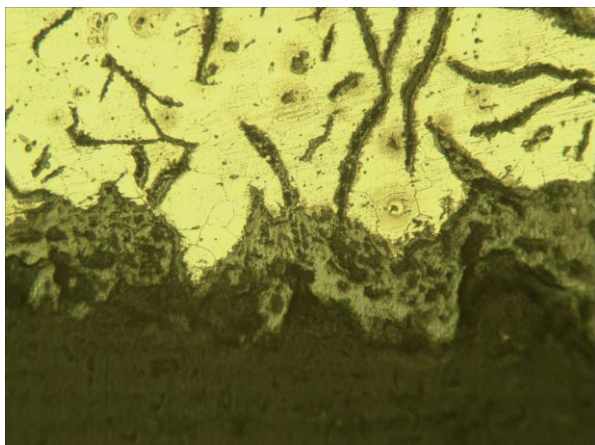
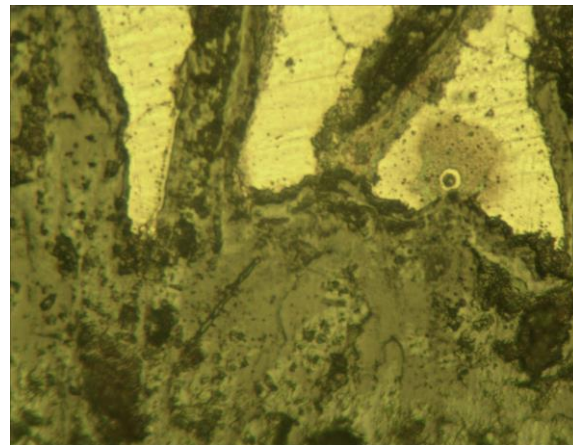
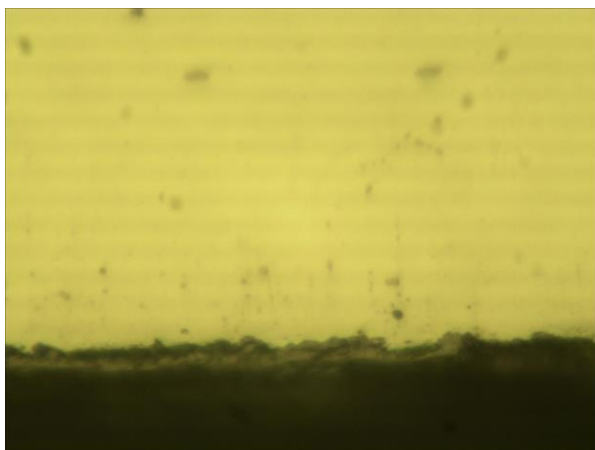
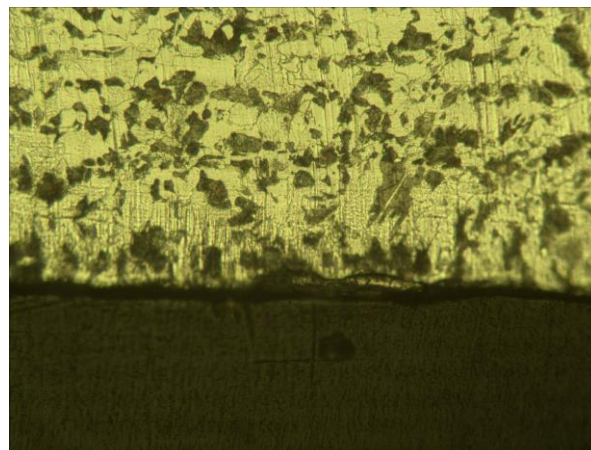
а) $\times 200$ б) $\times 630$

Рисунок 6 – Мікроструктура косих шліфів чавуну з покриттям після травлення

а) $\times 630$ б) $\times 630$

а) до травлення; б) після травлення

Рисунок 7 – Мікроструктура шліфів сталі з покриттям до травлення

Результати проведеного рентгеноспектрального аналізу поверхонь зразків виготовлених із чавуну до та після проведення обробки в насичуючому середовищі показали збільшення елементного складу хрому майже в 2,5 рази, також на поверхні з'явилися фосфор та алюміній. Проведення дослідження фазового складу зразків було визначено, що основними фазами (кристалічними) є Fe_2O_3 і Fe_3O_4 .

Враховуючи хімічний склад покриття не можна виключити наявність фази FeCr_2O_4 , яка за своїми параметрами дуже близька до Fe_3O_4 . Сліди $\alpha\text{-Fe}$ також спостерігаються на рентгенограмах. Це швидше за усе випромінювання від основи зразка. З вище викладеного можна зробити висновки: покриття зразка має аморфну структуру; у процесі нанесення покриття відбуваються процеси сприятливі утворенню оксидів (Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeO) і шпінелей на їх основі.

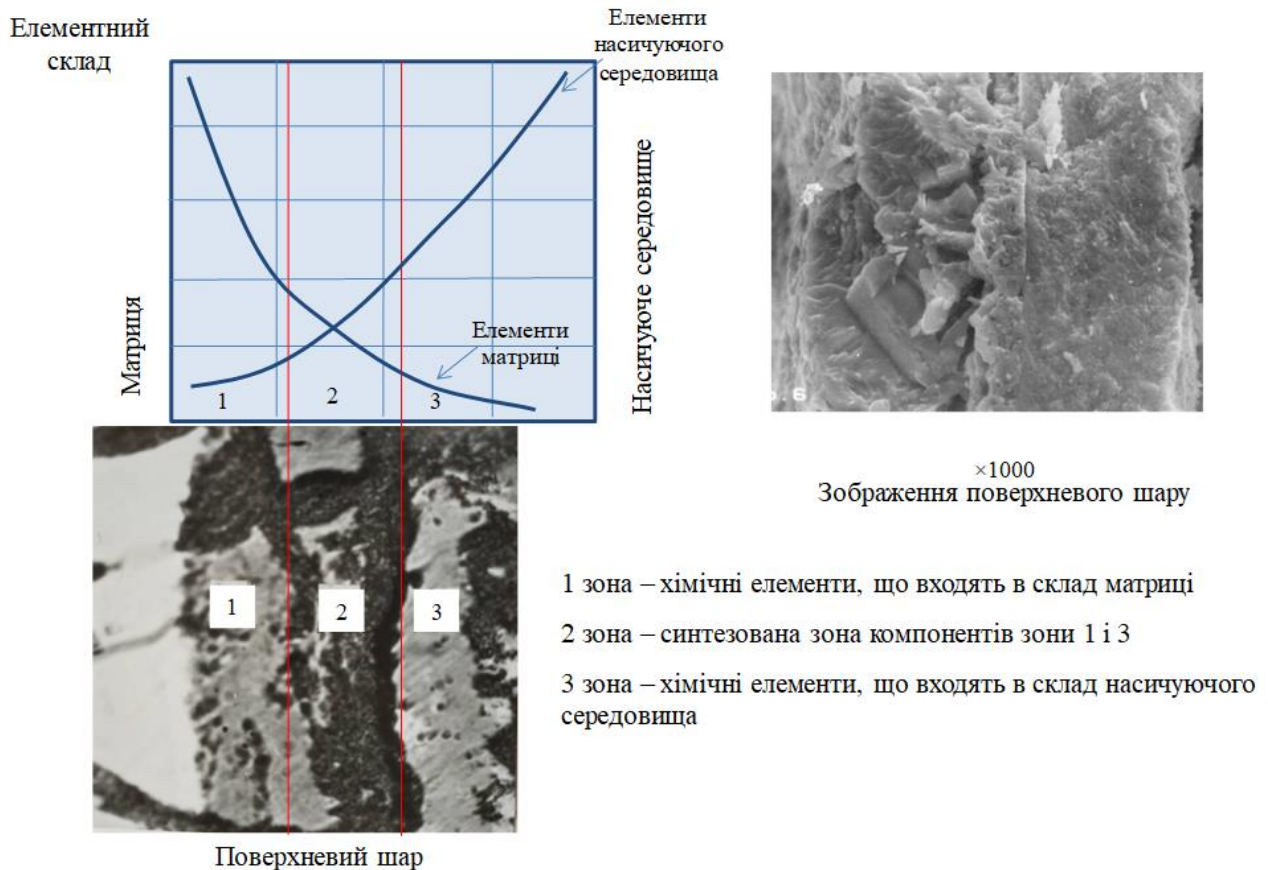


Рисунок 8 – Схема розподілення хімічних елементів по товщині поверхневого шару

Визначення товщини нанесеного поверхневого шару проводилося на косих мікрошліфах (рис. 9) за допомогою приладу для вимірювання твердості ПМТ-3. В результаті вимірювання та розрахунків середня товщина покриття складала 30 мкм, що як показали дослідження достатньо для забезпечення заданих властивостей.

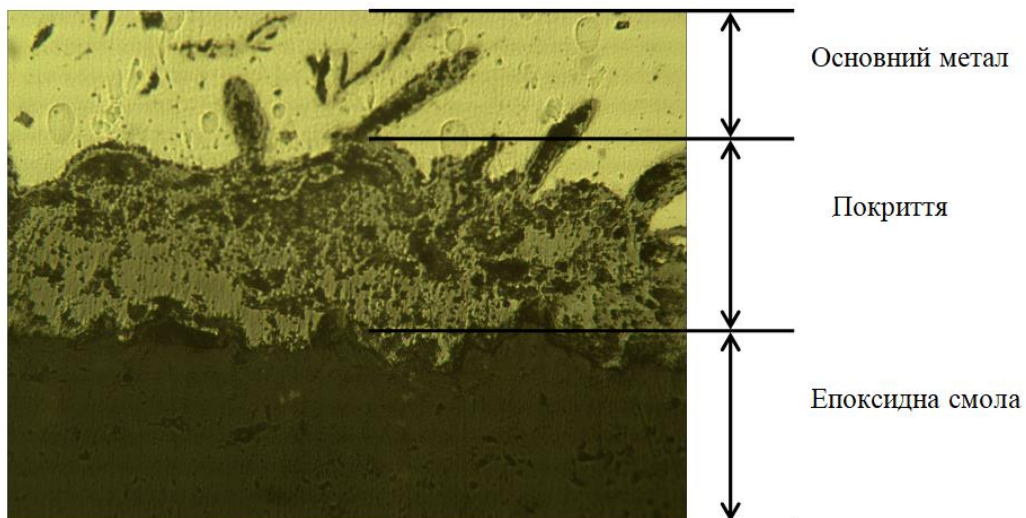
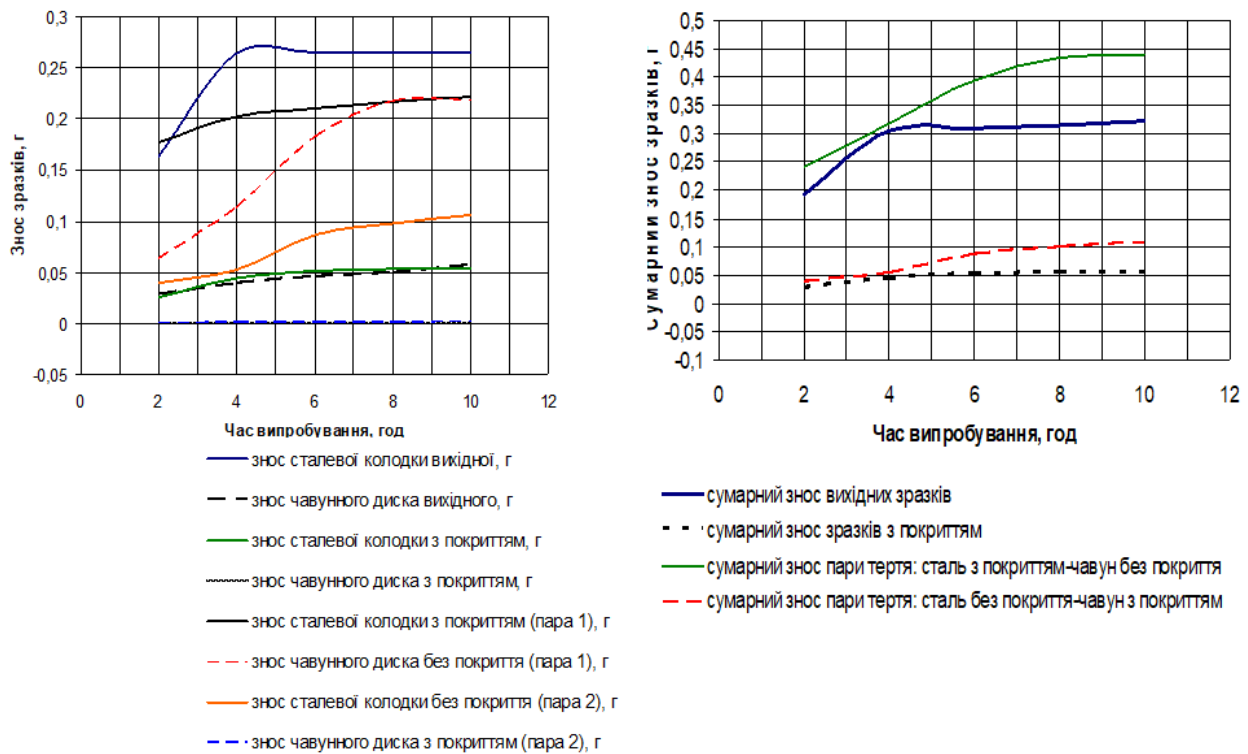


Рисунок 9 – Визначення товщини покриття на косому мікрошліфі (диск – чавун)

У четвертому розділі представлено результати досліджень властивостей покриття, утвореного за новою технологією, в лабораторних умовах. Для проведення дослідження зносостійкості на машині тертя, виготовлялися зразки у формі диска та колодки. Умови проведення дослідження на знос обиралися наближені до умов роботи масляних шестеренних насосів. Для кожного варіанту порівняльних випробувань бралися по три пари зразків. Оцінка зносу проводилася методом зважування зразків на аналітичних терезах ВЛА-200. Випробування проводилися в маслі М10Г2, при навантаженні від 490 Н до 1961Н на машині тертя МИ. Проведений аналіз впливу одержаного в результаті обробки покриття на знос, задиристійкість, час приробітки, коефіцієнт тертя (рис.10-14).



а)

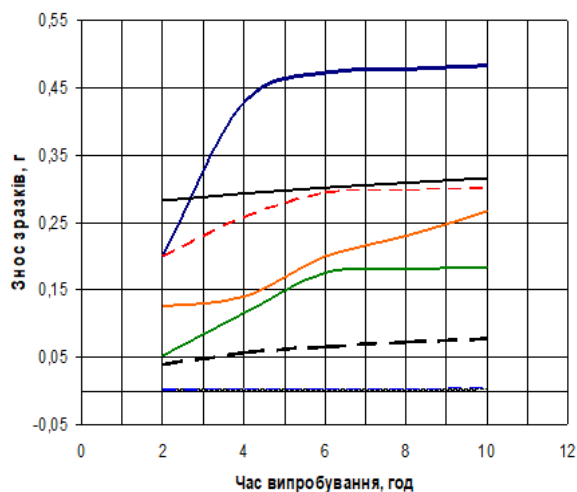
б)

а) залежність зносу зразків від часу випробування

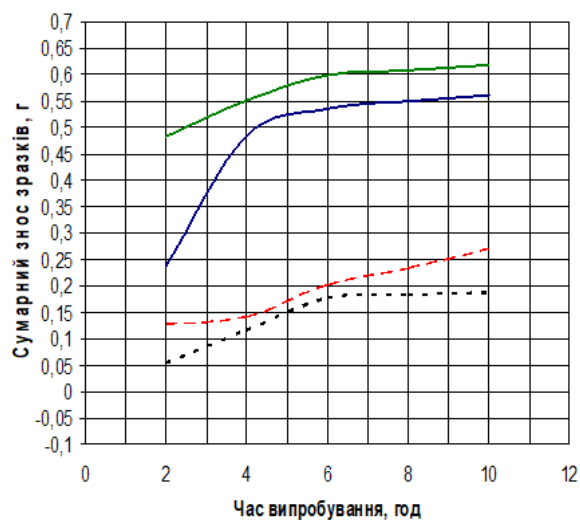
б) залежність сумарного зносу зразків від часу випробування

Рисунок 10 – Дослідження на знос пар тертя чавун-сталь при навантаженні 490Н

За результатами лабораторних досліджень вибрані оптимальні параметри технологічного процесу формування покриттів із водного розчину алюмохромфосфатного з'єднання за впливом на триботехнічні властивості пар тертя: температура обробки в насичуючому середовищі $t = 590 - 610^{\circ}\text{C}$; час витримки в насичуючому середовищі $\tau = 35-45$ хв.; концентрація алюмохромфосфатного з'єднання у водному розчині $C = 8-12\%$.

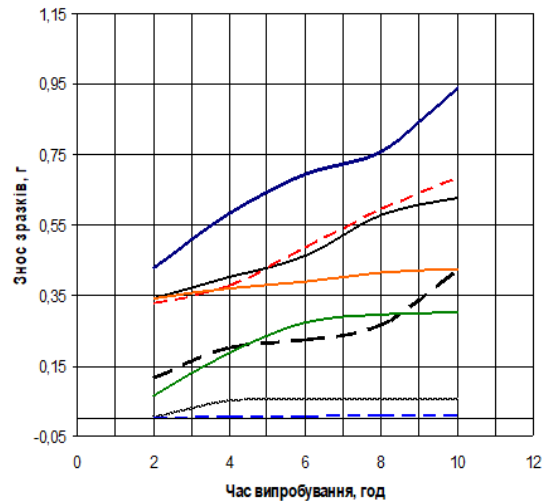


а) залежність зносу зразків від часу випробування

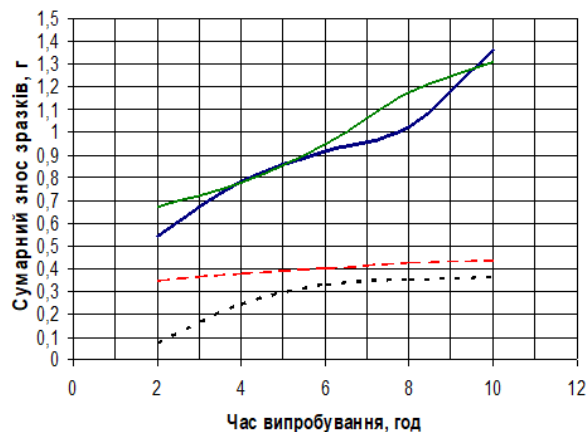


б) залежність сумарного зносу зразків від часу випробування

Рисунок 11 – Дослідження на знос пар тертя чавун-сталь при навантаженні 980Н

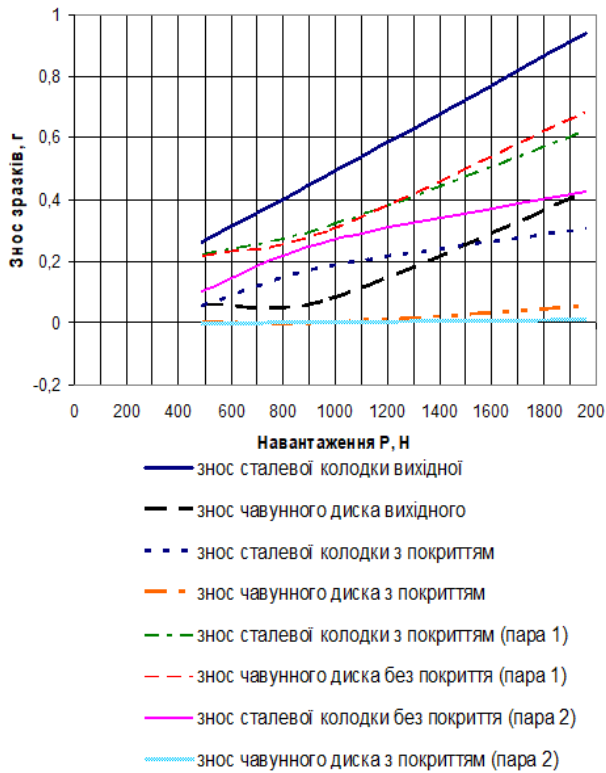


а) залежність зносу зразків від часу випробування



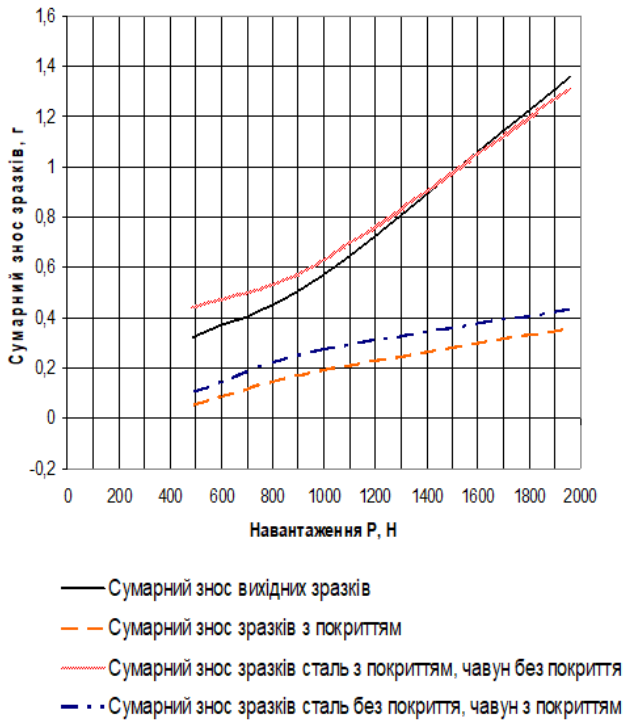
б) залежність сумарного зносу зразків від часу випробування

Рисунок 12 – Дослідження на знос пар тертя чавун-сталь при навантаженні 1961Н



а)

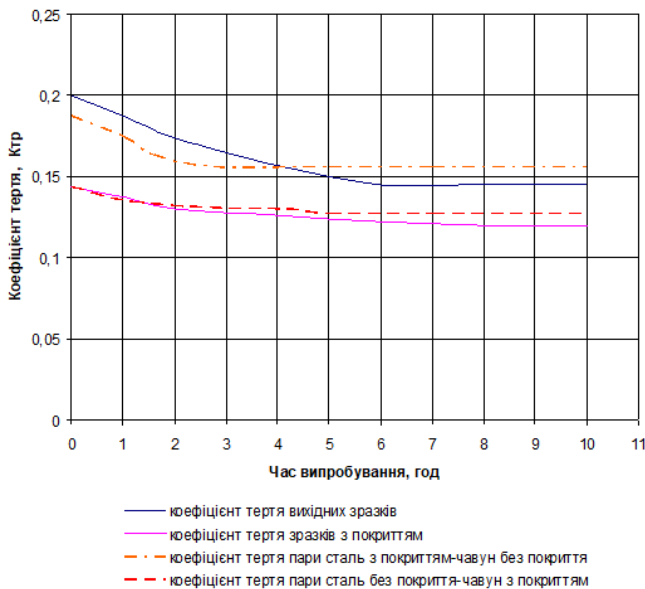
а) залежність зносу зразків від навантаження



б)

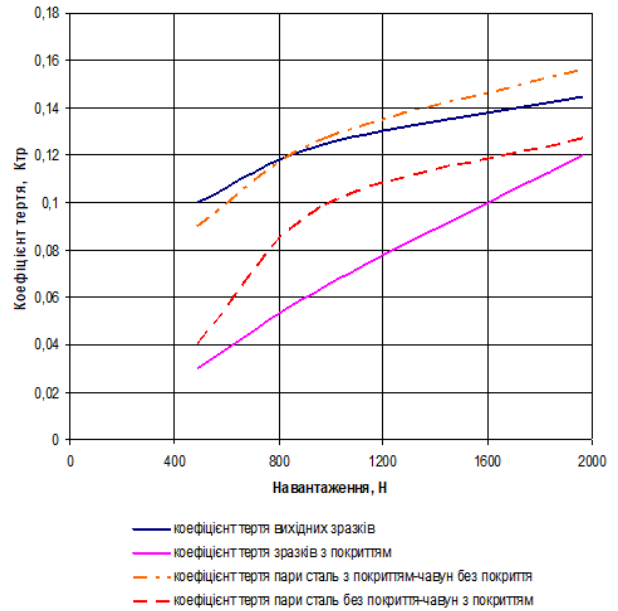
б) залежність сумарного зносу зразків від навантаження

Рисунок 13 – Лабораторні дослідження залежності зносу покриттів від навантаження



а)

а) залежність коефіцієнту тертя від часу випробування (P=1961 Н)



б)

б) Залежність коефіцієнту тертя від навантаження

Рисунок 14 – Дослідження впливу обробки в АХФЗ на коефіцієнт тертя

П'ятий розділ присвячено висвітленню результатів експлуатаційних іспитів масляних шестеренних насосів після нанесення покриття. Проведено техніко-економічне обґрунтування запропонованого технологічного процесу формування покриттів з заданими властивостями на деталях масляного шестеренного насосу двигунів внутрішнього згорання.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-практичне завдання щодо підвищення зносостійкості та працездатності деталей масляного шестеренного насосу двигунів внутрішнього згорання за рахунок розроблення інноваційної технології формування багатошарового покриття в одному технологічному циклі.

За результатами проведених теоретичних і експериментальних досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Проведено аналіз наукових робіт, присвячених питанням підвищення ресурсних характеристик масляних шестеренних насосів дизельних двигунів зроблено висновок про необхідність подальшого удосконалення технології виготовлення. Представлено результати аналітичного огляду існуючих методів підвищення ресурсу шестеренних насосів та обґрунтовано застосування технології окислегування в водному розчині алюмохромфосфатного з'єднання в якості засобу підвищення експлуатаційних характеристик масляних шестеренних насосів дизельних двигунів. За результатами аналізу досліджень причин зниження працездатності деталей шестеренних насосів та способів нанесення покриттів сформульовано мету роботи та поставлено конкретні завдання для вирішення поставленої мети.

2. Виконаний аналіз властивостей матеріалів, які використовуються для виготовлення деталей масляних шестеренних насосів. Розроблена програма експериментальних досліджень та системний підхід до вибору технології нанесення покриттів на деталі масляних шестеренних насосів. Виконана розробка способу нанесення покриття. Описано обладнання, яке застосовувалося для експериментів, та оптимальні методики досліджень.

3. Представлені результати розробки теоретичних основ удосконалення методу нанесення покриття. Обрано хімічні елементи, які найбільш позитивно впливають на підвищення експлуатаційних властивостей пар тертя, та обґрунтовано утворення покриття з заданими властивостями. Установлено, що оптимальним складом для насичуючого середовища була наявність в ньому таких елементів як алюміній, хром, фосфор. В результаті проведеного аналізу, обрано алюмохромфосфатне зв'язуюче, до складу якого входять зазначені елементи, для одержання покриття з заданими властивостями на деталях масляного шестеренного насосу.

4. Представлені результати оптимізації параметрів технологічного процесу, що дозволило визначити діапазон значень параметрів технологічного процесу, за рахунок зміни яких можливо досягти найкращих експлуатаційних та триботехнічних властивостей, а саме утворення оптимальної товщини

покриття, мінімальних значень зносу, оптимального часу приробітки, витримки максимального навантаження до утворення задирів. Згідно проведених досліджень оптимальними параметрами способу нанесення покриття прийнято концентрацію алюмохромфосфатного насичуючого середовища 10% водного розчину, температуру $600\pm 20^\circ\text{C}$, час витримки в насичуючому середовищі 40 хвилин.

5. Визначена особливість формування окислених покриттів, яка заключається в тому що формується багат шарове покриття в одному технологічному циклі. Нижній шар формується за рахунок дифузії елементів матриці, середній шар перехідна зона, у формуванні якої беруть участь і матеріал підложки і насичуюче середовище, а верхній шар формується за участю елементів насичуючого середовища.

6. В результаті проведених лабораторних досліджень триботехнічних властивостей сформованого покриття оцінили його вплив на зносостійкість, припрацьовуваність, задиростійкість, коефіцієнт тертя спряжених деталей.

7. Розроблено технологію нанесення покриття з заданими експлуатаційними властивостями, яка включає нагрів, окислення в насичуючому середовищі, а саме в водному розчині алюмохромфосфатного з'єднання, з наступним охолодженням.

8. Проведено експлуатаційні випробування технологічного процесу окислення і виконана оцінка його економічної ефективності.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Тимофеева Л.А., Проскурина Л.В., Тимофеев С.С. Повышение эксплуатационных характеристик деталей масляного насоса двигателя СМД 60. *Збірник наукових праць НТУ «ХП»*. Високі технології в машинобудуванні. Харків: НТУ «ХП». 2001. №1(4). С. 263 – 265.

2. Спосіб хіміко-термічної обробки деталей із металів та сплавів /Тимофеева Л.А., Проскурина Л.В., Тимофеев С.С., Федченко І.І. Патент України на винахід №45841А: В22F3/24.. Заявник та патентовласник УкрДАЗТ. №2001075170; заявл.19.07.2001; опубл. 15.04.2002, Бюл.№4.

3. Волошина Л.В. Удосконалення технологічного процесу нанесення зносостійких шарів на поверхні пар тертя. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ: Довговічність, надійність, працездатність деталей рухомого складу залізниць та спеціальної залізничної техніки*. Харків : УкрДАЗТ. 2004. Випуск 61. С.100 – 105.

4. Тимофеева Л.А., Волошина Л.В. Підвищення зносостійкості пар тертя нанесенням покриттів із водних розчинів солей. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*, Харків : УкрДАЗТ. 2011. Випуск 127. С.131 – 136.

5. Тимофеева Л.А., Волошина Л.В. Визначення технологічних параметрів процесу обробки в залежності від експлуатаційних властивостей покриття. *Вісник НТУ «ХП»*. Серія нові рішення в сучасних технологіях. Харків : НТУ «ХП». 2012. №66. С. 20 – 23.

6. Волошина Л.В. Визначення та оптимізація параметрів нової технології залежно від заданих властивостей покриття. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*, Харків : УкрДАЗТ. 2012. Випуск 134. С. 224 – 229.

7. Тимофеева Л.А., Волошина Л.В., Гордієнко П.М. Аналіз технологічних параметрів процесу нанесення зносостійкого покриття. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*, Харків : УкрДУЗТ. 2017. Випуск 170. С.13 – 19. (НБД Index Copernicus)

Публікації у виданнях інших держав:

8. Тимофеева Л.А., Проскурина Л.В., Остапчук В.Н., Тимофеев С.С. Управление условиями антифрикционности узлов трения. *Журнал: Тяжелое машиностроение*, 2002. №3. С.27 – 28. (Індексується у SCOPUS)

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

9. Проскурина Л.В., Тимофеева Л.А. Повышение надежности работы масляных шестеренных насосов. *Инженерия поверхности и ренновация изделий. 3-я Международная научно-техническая конференция*. Киев. 2003. С.201 – 202.

10. Проскурина Л.В. Влияние технологических параметров химико-термической обработки на износостойкость пары трения шестерня - корпус масляного насоса. *Современные проблемы подготовки производства, обработки и сборки в машиностроении и приборостроении. Материалы 3-го Международного научно-технического семинара*. Киев. 2003. С.126 – 128.

11. Тимофеева Л.А., Волошина Л.В. Підвищення якості пар тертя нанесенням зносостійких покриттів. *Качество, стандартизация, контроль: теория и практика. 11-я Международная научно-практическая конференция*. Киев. 2011. С.151 – 153.

12. Тимофеева Л.А., Федченко І.І., Волошина Л.В. Дослідження впливу поверхневого шару на триботехнічні властивості залізвуглецевих сплавів. *12-та міжнародна науково-технічна конференція "Інженерія поверхні і реновація виробів" 04-08 червня 2012р.*, м. Ялта, Крим. Київ: АТМ України, 2012, С. 294 – 297.

13. Волошина Л. В. Ресурсозберігаюча технологія нанесення покриттів. *«Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті»*. Тези доповідей 75-ї міжнародної науково-технічної конференції. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. Харків : УкрДАЗТ, 2013, Вип. 136, С. 349.

14. Волошина Л. В. Результати металографічного дослідження покриття із водного розчину алюмохромфосфатної солі. *Тези доп. 79-та міжнародна науково-технічна конференція «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті»*. Харків, 25-27 квіт. 2017р. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. Харків : УкрДУЗТ, 2017, Вип. 169 (додаток), С. 138 – 140.

15. Волошина Л. В. До питання дослідження впливу складу покриття на триботехнічні властивості залізвуглецевих сплавів. *Тези доповідей 80-ї міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті»*. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. Харків : УкрДУЗТ, 2018, Вип. 177, С. 93.

16. Тимофеева Л.А., Волошина Л.В. Підвищення якості, працездатності масляних шестеренних насосів ДВС. *Качество, стандартизация, контроль:*

теорія і практика: Матеріали 18-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 03–07 сент. 2018 г., г. Одеса. Київ : АТМ України, 2018. С.108 – 110.

17. Волошина Л.В. Ресурсозберігаюча технологія формування зносостійких покриттів на деталях рухомого складу. *Тези доповідей II-ї Всеукраїнської конференції „Вагони нового покоління: із ХХ в ХХІ сторіччя” Збірник наукових праць УкрДУЗТ.* Харків : УкрДУЗТ, 2019, Вип. 184(додаток), С. 42 – 43.

18. Комарова Г.Л., Волошина Л.В. Вплив параметрів обробки на якість формування захисних покриттів. *“Інженерія поверхні і реновація виробів” Матеріали 19-ї міжнародної науково-технічної конференції (20-24 травня 2019р., м. Свалява, Закарпатська обл.)* Київ : АТМ України, 2019, С. 75 – 77.

19. Тимофеева Л.А., Волошина Л.В. Комплексні дослідження при розробці технологічного процесу підвищення експлуатаційних властивостей деталей масляного шестеренного насосу. *„Інтелектуальні транспортні технології” Матеріали I-ї міжнародної науково-технічної конференції, 24-30 січня 2020р.* Трускавець-Харків : УкрДУЗТ. 2020. С.116 – 117.

Додаткові праці, які відображають результати дисертації:

20. Тимофеев С.С., Волошина Л.В., Воскобойников Д.Г. Формування покриттів багатофункціонального призначення. *Современные вопросы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: Матеріали 19-го Міжнародного науково-технічного семінара, 18–22 фебр. 2019 г. г. Кошице, Slovak Republic.* Київ : АТМ України, 2019. С. 208 – 210.

21. Тимофеева Л.А., Устенко О.В., Цап О.І., Волошина Л.В. Підвищення експлуатаційних показників фрикційних клинів шляхом формування покриттів зі спеціальними властивостями. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ,* Харків : УкрДУЗТ. 2019. Випуск 185. С.88 – 95. (НБД Index Scopus)

22. Волошина Л.В., Цап О.І. Дослідження впливу захисних покриттів на експлуатаційні показники фрикційних клинів гасників коливань візків вантажних вагонів. *Качество, стандартизация, контроль: теория и практика: Матеріали 20-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 07–11 вересня 2020 р., м. Одеса.* Київ : АТМ України, 2020. С.28 – 30.

АНОТАЦІЯ

Волошина Л.В. Підвищення зносостійкості масляних шестеренних насосів тракторних дизельних двигунів.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 «Матеріалознавство» (132 Матеріалознавство) – Український державний університет залізничного транспорту, Міністерство освіти і науки України, Харків, 2021.

Метою дисертаційного дослідження є підвищення експлуатаційних властивостей деталей масляних шестеренних насосів тракторних дизельних

двигунів за рахунок розробки способу нанесення покриття з заданими властивостями.

У дисертації вирішено наукове завдання щодо підвищення зносостійкості та працездатності деталей масляного шестеренного насосу двигунів внутрішнього згоряння за рахунок розроблення інноваційної технології формування багатошарового покриття в одному технологічному циклі.

На основі теоретичних і експериментальних досліджень розроблена технологія нанесення покриттів, яка складається з окислення у водному розчині алюмохромфосфатного зв'язуючого деталей масляного шестеренного насосу двигунів внутрішнього згоряння, що забезпечує підвищення зносостійкості та працездатності: визначені раціональні параметри розробленої технології, зокрема температуру нагріву деталей, концентрацію насичуючого середовища та часу витримки у цьому середовищі; проведено експлуатаційні випробування, які довели, що використання нової технології нанесення покриттів на деталі масляних шестеренних насосів забезпечує їх працездатність протягом усього міжремонтного періоду двигуна; результати експлуатаційних випробувань довели, що зносостійкість деталей з покриттям перевищує майже в 2,5 - 3 рази зносостійкість деталей за базовою технологією.

Розроблено інноваційний технологічний процес формування покриттів з використанням водного розчину алюмохромфосфатного зв'язуючого, що дозволить підвищити зносостійкість пар тертя; визначено залежність між величиною зносу і технологічними параметрами нанесення покриттів на чавунних та сталевих деталях: температурою, часом витримки і концентрацією розчину; визначено залежність впливу технологічних параметрів на товщину покриття; встановлено можливість одночасного формування багатошарового покриття на сталевих та чавунних деталях масляних шестеренних насосів з різним ступенем легованості.

Удосконалено: технологічний процес виготовлення деталей масляного шестеренного насосу двигунів внутрішнього згоряння за рахунок розробленої інноваційної технології, що забезпечить підвищення зносостійкості пар тертя масляних шестеренних насосів та їх працездатності.

Ключові слова: масляний шестеренний насос, знос, зносостійкість, мікроструктура, триботехнічні властивості, зміцнення, окислення, покриття з заданими експлуатаційними властивостями, параметри технологічного процесу, насичуюче середовище.

АННОТАЦІЯ

Волошина Л.В. Повышение износостойкости масляных шестеренных насосов тракторных дизельных двигателей.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.01 «Материаловедение» (132 Материаловедение) - Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, Министерство образования и науки Украины, Харьков, 2021.

Целью исследования является повышение эксплуатационных свойств деталей масляных шестеренных насосов тракторных дизельных двигателей за счет разработки способа нанесения покрытия с заданными свойствами.

В диссертации решена научная задача по повышению износостойкости и работоспособности деталей масляного шестеренного насоса двигателей внутреннего сгорания за счет разработки инновационной технологии формирования многослойного покрытия в одном технологическом цикле.

На основе теоретических и экспериментальных исследований разработана технология нанесения покрытий, состоящая из окислегирования в водном растворе алюмохромфосфатной связки деталей масляного шестеренного насоса двигателей внутреннего сгорания, которая обеспечивает повышение износостойкости и работоспособности: определены оптимальные параметры разработанной технологии, в частности температура нагрева деталей, концентрация насыщающей среды и времени выдержки в этой среде; проведены эксплуатационные испытания, которые доказали, что использование новой технологии нанесения покрытий на детали масляных шестеренных насосов обеспечивает их работоспособность в течение всего межремонтного периода двигателя; результаты эксплуатационных испытаний доказали, что износостойкость деталей с покрытием превышает почти в 2,5-3 раза износостойкость деталей по базовой технологии.

Разработан инновационный технологический процесс формирования покрытий с использованием водного раствора алюмохромфосфатной связки, что позволит повысить износостойкость пар трения; определена зависимость между величиной износа и технологическими параметрами нанесения покрытий на металлических и стальных деталях: температурой, временем выдержки и концентрацией раствора; определена зависимость влияния технологических параметров на толщину покрытия; установлена возможность одновременного формирования многослойного покрытия на стальных и чугунных деталях масляных шестеренных насосов с разной степенью легирования.

Усовершенствовано технологический процесс изготовления деталей масляного шестеренного насоса двигателей внутреннего сгорания за счет разработанной инновационной технологии, которая обеспечит повышение износостойкости пар трения масляных шестеренных насосов и их работоспособности.

Ключевые слова: масляный шестеренный насос, износ, износостойкость, микроструктура, триботехнические свойства, упрочнение, окислегирование, покрытие с заданными эксплуатационными свойствами, параметры технологического процесса, насыщающая среда.

ABSTRACT

Voloshyna L.V. Higher wear resistance of an oil gear pump for tractor diesel engines.

The thesis for Candidate Degree in Engineering Science of Specialty 05.02.01 “Material Science” (132 Material Science) – Ukrainian State University of Railway Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The purpose of the thesis is to improve the operational properties of the components of an oil gear pump by developing the technique of applying the coating with specified properties.

The thesis deals with the scientific problem of increasing wear resistance and efficiency of the components of an oil gear pump of internal combustion engines by means of an innovative multilayer coating forming technology in a single cycle.

The theoretical and experimental research was used for the development of the coating application technology including the oxy-alloying of the components of an oil gear pump of internal combustion engines in the aqueous solution of aluminium-chromium-phosphate binder, which is aimed at higher wear resistance and efficiency: determination of the rational parameters of the technology developed, in particular, heating temperature for the components, saturation environment concentration, and aging time in such environment; operational tests which have proved that the application of the new coating technology for the oil gear pump components provides the stable operation of the engine during inter-repair periods; and - the results of the operational tests have demonstrated that the wear resistance of the coated parts almost 2.5 - 3 times as high as the wear resistance of the components treated according to the basic technology.

The research presents original development of the innovative technological formation of coatings based on aqueous solution of aluminium-chromium-phosphate binder in order to improve the wear resistance of friction pairs; determination of the dependency between the wear and technological parameters of the coatings applied on cast iron and steel components, such as temperature, aging time, and solution concentration; determination of the dependency between the technological parameters and the coating thickness; substantiation of simultaneous formation of a multi-layer coating on steel and cast iron components of oil gear pumps with different doping degrees.

The research describes the improved technological process of manufacturing the components of the oil gear pump of internal combustion engines with the application of the developed innovative technology to increase the wear resistance of the friction pairs of oil gear pumps and their efficiency.

Keywords: oil gear pump, wear, wear resistance, microstructure, tribotechnical properties, strengthening, oxy-alloying, coating with specified performance properties, technological process parameters, saturation environment.

Волошина Людмила Володимирівна

**ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ МАСЛЯНИХ
ШЕСТЕРЕННИХ НАСОСІВ ТРАКТОРНИХ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ**

Спеціальність 05.02.01 – Матеріалознавство

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку 26.08.2021р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір для множних апаратів.

Друк цифровий. Умовн. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,1

Тираж 100 прим.

Надруковано у копії-центрі «Panda-Print»

(ФОП Панарін В.С.)

61000 м. Харків, м. Фейєрбаха, 17