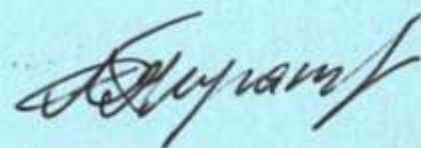


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

ПЛУГАТАРЬОВ АРТЕМ ВАЛЕНТИНОВИЧ



УДК 541.135/.135.5

**ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ПАЛИВНОЇ
АПАРАТУРИ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ**

Спеціальність 05.02.01 - матеріалознавство

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків-2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному технічному університеті сільського господарства ім. Петра Василенка Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,
Лауреат Державної премії України,
Скобло Тамара Семенівна,
Харківський національний технічний університет
сільського господарства ім. Петра Василенка,
професор кафедри технологічних систем ремонтного
виробництва

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Дмитрик Віталій Володимирович,
Національний технічний університет “Харківський
політехнічний інститут”, завідувач кафедри зварювання

доктор технічних наук, доцент,
Глушкова Діна Борисівна,
Харківський національний автомобільно-дорожній
університет, завідувач кафедри технології металів та
матеріалознавства

Захист дисертації відбудеться «30» листопада 2016р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К64.832.03 при Харківському національному технічному університеті сільського господарства ім. Петра Василенка за адресою: 61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка за адресою: 61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44.

Автореферат розісланий «25» жовтня 2016р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



В.М. Власовець

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Закордонні машини з паливоподаючими системами типу «Common Rail» в останні роки широко експлуатуються в Україні. Виробники таких автомобілів не дають інформації про методи відновлення вузлів паливної системи і, в ряді випадків, відсутні запасні частини та комплектуючі. Для ефективної експлуатації машин нового покоління та розробки методів їх відновлення слід проаналізувати характер відмов, з'ясувати чинники зміни структури не стабільної роботи окремих деталей. При цьому також необхідно вивчити способи їх зміцнення, щоб на цій базі розробити підходи та використовувати технологію діагностування, ступень зношування, і запропонувати метод їх відновлення. При якому рівень твердості відновлюючого покриття буде відповідати тому, який використовує виробник цих деталей. В даному випадку важливим є також розробка технології і параметрів видалення частково збереженого зміцненого шару без порушення геометричних параметрів деталей. У зв'язку з цим, розробка економічного методу поверхневого зміцнення деталей паливної апаратури з нанесенням відновлюючих покриттів в умовах ремонтних підприємств, без значних витрат на обладнання, може бути віднесена до важливих і актуальних напрямів досліджень.

Зв'язок роботи з науковими темами і програмами. Дослідження за темою дисертаційної роботи виконані відповідно до Держбюджетної тематики ХНТУСГ ім. Петра Василенка, і згідно діючих програм:

- «Нові та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі», сформульовані в Законі України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» від 11.07.2001р. № 262-III, № 2 519-V від 16.10.2012р;

Науково-дослідних робіт університету, де здобувач був відповідальним виконавцем за напрямами:

- «Дослідження, наукове обґрунтування та впровадження конкурентоспроможних ресурсозберігаючих технологій, способів реновації, застосування нових матеріалів і технологічних засобів для інноваційного розвитку» (ДР0109U000362) у період 2009-2013рр.

- «Підвищення споживчих властивостей деталей паливної апаратури форсованих дизельних двигунів шляхом розробки методу їх поверхневого зміцнення» (ДР0115U001958) у період 2015-2016рр.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення зносостійкості деталей паливної системи автомобілів закордонного виробництва на основі встановлення характеру їх зміцнення виробником і зношування у експлуатації та розробки доступної для ремонтних підприємств нової технології відновлення з модифікуванням покриття для забезпечення його твердості на відповідному рівні.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- розробити методи визначення структурної деградації зміцненої робочої поверхні і діагностувати стан паливної системи до - і після відновлення її деталей;

- вивчити склад плівкових покриттів, що використовуються для зміцнення в машинах закордонного виробництва, а також характер, кінетику, механізм зношування і відмов деталей паливної системи для розробки пропозицій по економічному їх відновленню в умовах діючих ремонтних підприємств;

- запропонувати спосіб видалення частково зношеного плівкового покриття перед відновленням деталей без зміни їх геометричних параметрів;
- розробити новий технологічний процес хромування, який міг би конкурувати з технологіями, що застосовуються для деталей паливної системи і забезпечити вимоги експлуатації до таких деталей після їх відновлення;
- вивчити особливості формування хромованих покриттів, зміцнюючими модифікуючими нанодомішками і оцінити їх вплив на структуру і експлуатаційну стійкість;
- провести експлуатаційні випробування нового технологічного процесу відновлення деталей паливної системи у виробничих умовах і оцінити його економічну ефективність.

Об'єкт досліджень - процес нанесення зносостійких покриттів на деталі при їх відновленні.

Предмет досліджень - підвищення зносостійкості деталей паливної апаратури дизельних двигунів.

Методи досліджень. При проведенні досліджень широко використано сучасні методи аналізу структури, механічних та експлуатаційних властивостей плівкових покриттів. Для цього застосовували рентгеноструктурний, металографічний, мікрорентгеноспектральний аналізи, емісійну мікроскопію, оцінку мікротвердості і зносостійкості. Теоретично і експериментально оцінювали кінетику зношування плівкових покриттів. Для теоретичного опису процесів, що відбуваються на поверхні тертя, використовували оптико-математичний метод оцінки структурних змін (деградації покриття).

Розроблені та використані нові методи діагностування зношування деталей і стану зміцнених покриттів при їх нанесенні та експлуатації.

Наукова новизна одержаних результатів:

- на основі теоретичних і експериментальних досліджень встановлені склад, кінетика формування іонно-плазмового покриття і механізм його зношування на деталях паливної системи, та встановлено, що вони мають аморфну структуру і складаються з W-Co-C, а основною зміцнюючою фазою є наноалмазна плівка, яка формується в процесі тертя. При зношуванні вона руйнується, з'являється графіт, а потім заново формується така плівка і процес йде циклічно з поступовим зменшенням її частки за рахунок долі вуглецю, що сприяє зниженню зносостійкості;
- вперше встановлено, що замінити плівкове покриття W-Co-C можливо, використовуючи процес хромування з модифікуванням домішками наноалмазів та рівномірним розподілом включень по його перетину у відновленому шарі;
- вперше встановлені особливості введення нанодомішок при хромуванні, які забезпечують зменшення розміру зерен, зниження газоутворення у розробленому процесі відновлення, та на основі цього запропоновано новий процес рівномірного розподілу нанодомішок при хромуванні, що забезпечує високу твердість і підвищену стабільність зношуванню на протязі всього періоду використання.

Практичне значення отриманих результатів. На підставі теоретичних та експериментальних результатів досліджень встановлено склад плівкового покриття і характер його зношування на деталях паливної апаратури на основі W-Co-C, які використовують закордонні фірми автовиробників. На основі вивчення процесів, що відбуваються, надані рекомендації по заміні такого покриття на електролітичне

хромування з модифікуванням ультрадисперсними алмазами (УДА). Розроблено нову комплексну технологію і устаткування для реновації деталей, які включають визначення ступеню та місце зношення деталей, спосіб зняття залишків покриття, підготовку поверхні до нанесення відновлюваного шару (проведення її активації) для забезпечення міцності зчеплення, а також рекомендації за параметрами процесу та контролю якості.

Експериментальні та теоретичні дослідження, які виконані на кафедрі університету, дозволили створити на підприємстві «Дизельсервіс» (м. Харків) та виготовити стенд для контролю стану зношених деталей і обладнання для хромування з модифікуванням наноалмазами та замінити покриття W-Co-C на відповідне по властивостям нове, яке не потребує великих додаткових витрат на обладнання та матеріали. Зносостійкість відновлених деталей, розробленим методом, зростає в 1,5-2 рази. Це забезпечило фактичний економічний ефект від впровадження нової технології на цьому підприємстві в розмірі 97,6 тис. грн. на рік при об'ємі відновлення 61 деталі.

Отримані результати впроваджені в навчальний процес ХНТУСГ ім. Петра Василенка у вигляді лабораторної роботи і частини лекційного курсу при вивченні дисципліни «Нанотехнології».

Ефективність роботи висвітлена за темою: «Розробка та впровадження нового обладнання, енергозберігаючих технологій виробництва і відновлення деталей», яка відмічена Премією Верховної Ради України за 2015р., постанова № 4860 від 07.09.2016р.

Особистий внесок здобувача полягає в отриманні основних результатів досліджень по виконаній роботі. У наукових публікаціях особистий вклад становить від 50% до 100% і включає проведення експериментальних і теоретичних досліджень, розробку устаткування, комплексного технологічного процесу підвищення експлуатаційних властивостей виробів, а також рекомендації з використання оптимальних параметрів і складу електроліту, визначення оптимальної частки внесених нанододатків при відновленні хромуванням деталей паливної апаратури.

Апробація результатів досліджень. Основні результати дисертаційної роботи розглядалися і обговорювалися на міжнародних науково-технічних конференціях: «Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва» (м. Харків ХНТУСГ, 2014р.); «Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві» (м. Харків ХНТУСГ 2012-2014р.р.); Міжнародні науково-практичні конференції «Научно-технический прогресс в сельском хозяйстве» (Белорусь, г. Минск, 2011г.); «Фізичні та комп'ютерні технології» (м. Харків ФЕД, 2012р.).

Публікації. Результати досліджень опубліковані в 15 працях: з них 7 у фахових виданнях (3 входять до міжнародних наукометричних баз), у тому числі 3 одноосібні. Дві роботи опубліковані за кордоном в Білорусії та Польщі. Розробки захищені 3 патентами України.

Структура та обсяг дисертації. Робота складається з вступу, 5 розділів, висновків і рекомендацій, викладених на 165 сторінках та містить 13 таблиць, 52 рисунка, представлених на 52 сторінках. Робота включає 5 додатків і число посилань 112 джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність проблеми, сформульована мета та завдання досліджень, наведені основні отримані автором наукові результати, визначена їх практична значущість і новизна.

У першому розділі «Аналіз методів відновлення деталей паливної апаратури сучасних дизельних двигунів» зроблено аналіз літературних джерел і патентів за даним науковим напрямом.

Виконано аналіз вимог, що пред'являються до акумуляторної паливної системи з електрогідрокеруючими форсунками Bosch. Показано, що вони дуже чутливі до якості палива і потрапляння сторонніх часток, домішок та води можуть викликати руйнування рухливих сполучень. Ефективним для роботи дизеля є діагностування стану і своєчасне технічне обслуговування системи паливоподачі. Основними чинниками відмов паливоподаючої системи є надмірне зношування і заклинювання плунжерної пари, що знижує продуктивність насоса та тиск у гідроакумуляторі. Це супроводжується падінням потужності і складним запуском дизеля та виводить двигун з ладу. Незадовільна робота цього вузла може бути пов'язана також зі зношенням запірного клапана. Чинниками відмов електрогідрокеруючих форсунок системи CR, головним чином, є: кавітаційне зношування клапана і сідла, голки розпилювача, керуючого плунжера. Розглянуто відомі способи відновлення і зміцнення деталей, які можливо використовувати для форсунок і паливних насосів.

Особливий внесок в дослідження за цим напрямом внесли вчені Подборнов И.В., Полукаров Ю.М., Пиявский Р.С., Бибииков Н.Н., Щур Н.А., Дуда Т.М., Никитин Ю.И., Nabeen K.S., Nguyen V.H., Ngo T.T., Nguyen N.P., Kwon S.C., Lee J.Y., які розглядали можливість підвищення зносостійкості таких деталей нанесенням покриттів різними методами та складом.

До першого напряму відноситься нанесення гальванічного покриття нікелюванням. Розглянуто рекомендовані теоретично і експериментально обґрунтовані параметри процесу. Узагальнено інформацію про структуру та якість таких покриттів (наявність включень, раковин, тріщин, розмір і будова сформованих зерен). При проведенні процесу осадження нікелю в умовах накладення зовнішнього магнітного поля або ультразвукового впливу підвищується мікротвердість і забезпечується текстурування відновлюючого шару. Разом з тим, метод є складним для реалізації процесу відновлення в умовах ремонтних майстерень.

Другий напрям – застосування хромування з домішками зміцнюючих нанопорошків. Для зміцнення використовують наночастинки оксидів металів, наприклад, ZrO_2 , які подрібнюють структуру покриття і підвищують його мікротвердість.

Недоліком цього напряму є підвищена схильність наночастинок до осідання їх на дно рідкої ванни в процесі електролізу. Виявлені роботи, які рекомендують зменшити вплив цього недоліку. До них, в першу чергу, відносяться використання механічного перемішування електроліту. Запропоновані методи повною мірою не забезпечують рівномірний розподіл наночастинок в покритті що кристалізується.

Розглянуто нові технології нанесення плівкових покриттів з різних композицій, які використовуються автовиробниками зарубіжних фірм. У ряді випадків це складні багат шарові композиції, що наносяться методами конденсації компонентів з пароплазмової фази у вакуумі з іонним бомбардуванням зміцнюючої поверхні,

електронно-плазмове осадження, магнетрон-плазмове розпилення та інш. Методи дуже ефективні як за якістю покриттів, так і за рівнем властивостей. Разом з тим, їх застосування вимагає спеціального складного обладнання, висококласних фахівців і тому такі методи не можуть застосовуватися в умовах ремонтних підприємств.

Процес хромування при відновленні деталей для ремонтних майстерень є найбільш доступним. Зміцнити таке покриття можливо з введенням наночастинок. Враховуючи той факт, що використання для зміцнення нанодомішками, які відрізняються складом, способом виробництва, то введення може бути ефективним тільки при вивченні конкретних модифікуючих домішок, а також утриманні їх в електроліті у звищеному стані при кристалізації. У літературі існують суперечливі рекомендації за параметрами процесу, типу і кількості введення домішок. Тому доцільним є детальне вивчення можливості використання технології зміцнюючого хромування для деталей паливної системи. При цьому необхідною є оптимізація параметрів технологічного процесу і розробка устаткування для його реалізації.

Другий розділ «Методологія и методи досліджень». Розроблено методологію, яка включає проведення теоретичних та експериментальних досліджень, та аналіз експлуатаційної стійкості деталей паливної апаратури закордонного виробництва, її відмови у експлуатації та створення нової замінюючої технології відновлення на базі ремонтних підприємств.

Такий методологічний підхід, послідовно, з використанням спеціальних та нових методик, забезпечив створення нового технологічного процесу, спрямованого на підвищення експлуатаційної стійкості відновлюваних деталей паливної системи машин закордонного виробництва, за рахунок рівномірної кристалізації нанодомішок у хромовому покритті завдяки забезпеченню необхідного седиментаційного їх розподілу в електроліті.

Послідовність виконання етапів роботи також полягала в аналізі характеру зміцнення плівковими покриттями, використанні нових і застосуванні сучасних методів аналізу, дослідженні кінетики та механізму зношення іонно-плазмових зміцнюючих покриттів, які використовують виробники техніки, розробці замінюючої технології, її параметрів та обладнання, більш дешевих і доступних для ремонтних підприємств промислового впровадження.

При проведенні досліджень використовували сучасні методи аналізу, до яких відносяться: металографічний, мікрорентгеноспектральний, електронна та емісійна мікроскопія, рентгеноструктурний, визначення мікротвердості, випробування на зношування. Комплексний підхід у вивченні передових технологій зміцнення і процесів при їх зношуванні був спрямований на розробку доступного способу і обладнання для контролю стану деталей при експлуатації, визначення зони відмови і продовження терміну служби паливної апаратури дизельних двигунів.

В роботі розроблені нові діагностуючі методи контролю стану зміцнених плівкових покриттів, характер і ступень зношування деталей інжекторів дизельних двигунів.

Виконано аналіз методів діагностування стану деталей акумуляторних паливних систем з електронним управлінням типу «Common Rail» при їх відновленні. Показано, що відомі методи оцінки їх стану не є надійними і не можуть бути використані для контролю якості при відновленні. Запропоновано метод діагностування стану зношення деталей таких інжекторів, що включають:

сполучення кулька - конусне сидло (розташоване у верхній частині); прецизійні пари сидло - напрямна мультиплікатора (розташовані в середній частині) і голка - корпус розпилювача (розташовані в нижній частині).

Реалізація методу полягає у використанні стенду BOSH (EPS200) і пірометра. Метод дозволяє проводити випробування для декількох режимів подачі палива і фіксувати сумарну його витрату, яка буде надходити в «обратку» у бак (рис. 1).

При цьому найбільш зношені деталі помітно прогріваються, і рекомендується пірометром визначати досягнуту температуру та фіксувати такі зміни. Метод ефективний для оцінки стану деталей інжектора до і після ремонту. Оптимальна температура нагріву якісних деталей відповідає інтервалу 40-54°C. Оцінюється на основі, запропонованої залежності (рис. 2).



а)



б)

Рис. 1. Визначення температури нагріву поверхні інжектора пірометром: а) - до відновлення, б) - після відновлення хромуванням з нанодомішками

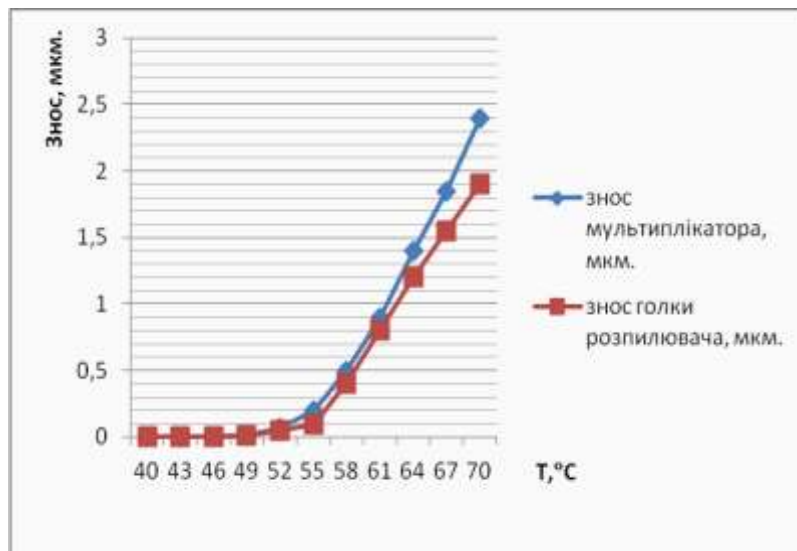


Рис. 2. Залежність зміни температури від ступеню зношення деталей інжектора «Common Rail» при діагностуванні

Розроблений метод контролю захищений патентом України (№ 88376).

Як правило, деталі паливної апаратури закордонних машин зміцнюють плівковими покриттями і основними чинниками їх виходу з експлуатації є зношування, а також руйнування, пов'язані з порушенням якості зміцнюючої поверхні (рис. 3).

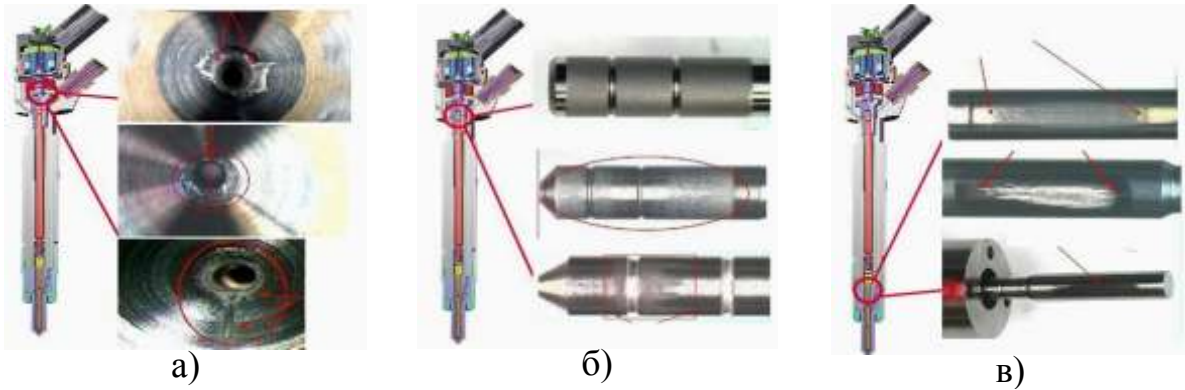


Рис. 3. Характер зношування деталей інжектора «Common Rail»: а) - конусного сидла кулькового клапана; б) - направляючої частини мультиплікатора; в) - направляючої частини голки розпилювача

Для визначення ступеню зношування таких покриттів в різних зонах деталі і пошуку шляхів відновлення проаналізували їх поведінку у експлуатації. Запропоновано метод визначення ступеню зношування деталей із плівковими покриттями, заснований на індентуванні (прилад UJT HVmicro-1) навантаженням 20-50г. При дискретному навантаженні відбувається зрушення зміцненого шару і під відбитком формуються смуги (рис.4).

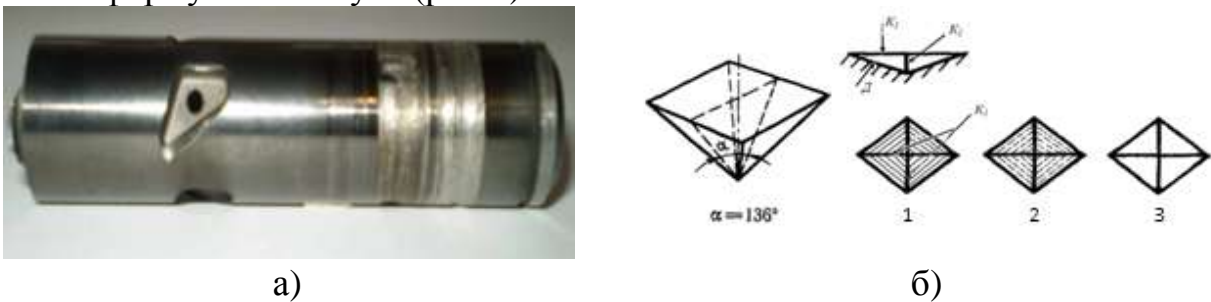


Рис. 4. Зовнішній вигляд ротора паливного насоса після експлуатації та руйнування: а) - на якому робили вимірювання; б) - формування смуг при навантаженні індентором (1 – плівкове покриття не пошкоджене, 2 – плівкове покриття частково пошкоджене, 3 - відсутність смуг під відбитком відповідає 100% зношуванню плівкового покриття)

В разі однорідного зношування у вимірюваній зоні фіксуються суцільні смужки, а при неоднорідному - переривчасті. При повному зношенні покриття смужки повністю відсутні. Сформовані смужки розташовуються паралельно граням відбитка. Для визначення товщини покриття (нового або частково зношеного) рекомендується проводити розрахунок, виходячи з того, що одна смужка є гіпотенузою, а її проекція на катет (K_2) становить товщину залишеного покриття.

Її можна визначити згідно залежності ГОСТ 9450:

$$HV = \frac{F}{S} = 0,03784 \cdot \frac{F}{k_2^2} \quad (1)$$

де F - навантаження на індентор, 50г, для виявлення перетину смуг; S - площа поверхні під відбитком, мм^2 ; k_2 - глибина відбитка, мм.

Розрахунками конкретної зони було показано, що її товщина становить 108мкм. Метод дозволяє оцінювати ступінь зношування в різних зонах деталі. Метод захищений патентом України (№ 99408).

Для ідентифікації сформованих фаз запропонована методика математичної

обробки зображень мікроструктур, які аналізуються на поверхні тертя. В якості основи такої обробки використано метод оптико-математичного аналізу, що оцінює зображення по мікрофотографіям і статистичним характеристикам: пікселям і щільності їх розподілу. Їх використовували для одержання гістограм, які описуються залежностями, що характеризують кольори точок, показники нейтральності, оцінку кореляції рівнянь, адекватності моделі (згідно розкиду значень кольорів).

Опис структур, що формуються при терті, виконано на основі аналізу 15 залежностей та характеризують дифузію хімічних елементів у покритті.

Комп'ютерна обробка у форматі *pgm* зображень включає 256 відтінків сірого кольору. Розрахунок умовного кольору, проведений на основі рішення системи диференціальних рівнянь Новье-Стокса, представлених у змінних функціях струму і вихря в кінцево-різницевої формі. Сформована картина не залежить від ступеню травлення мікрошліфів, оскільки оцінка фаз проводиться не за кольором, а за його різницею.

Третій розділ «Механізм і кінетика зношування деталей паливної апаратури сучасних дизельних двигунів, зміцнених плівковими покриттями». Щоб запропонувати технологію і розробити параметри процесу відновлення деталей паливної апаратури, фірм Японії і Канади, зміцнених плівковими покриттями, вивчали їх хімічний склад і властивості, особливості структурних змін у різних зонах з урахуванням інтенсивності зношування. Мікрорентгеноспектральним і рентгеноструктурним аналізами встановлено, що покриття чорного кольору складається з композиції W-Co-C у співвідношенні 59-63%; 3,4-3,7% і 27-29% відповідно та має аморфну структуру у вихідному стані. При експлуатації на поверхні такого покриття формується алмазна плівка. У зонах максимального зношування при збереженні покриття частка вольфраму знижується в 1,5 рази, а кобальту до 2,7%. Вміст вуглецю знижується на 18-20%. При цьому, додатково виявляються (рис. 5) хром (0,28-0,97%), залізо (1,3-1,86%) і в окремих випадках - сірка і ванадій.

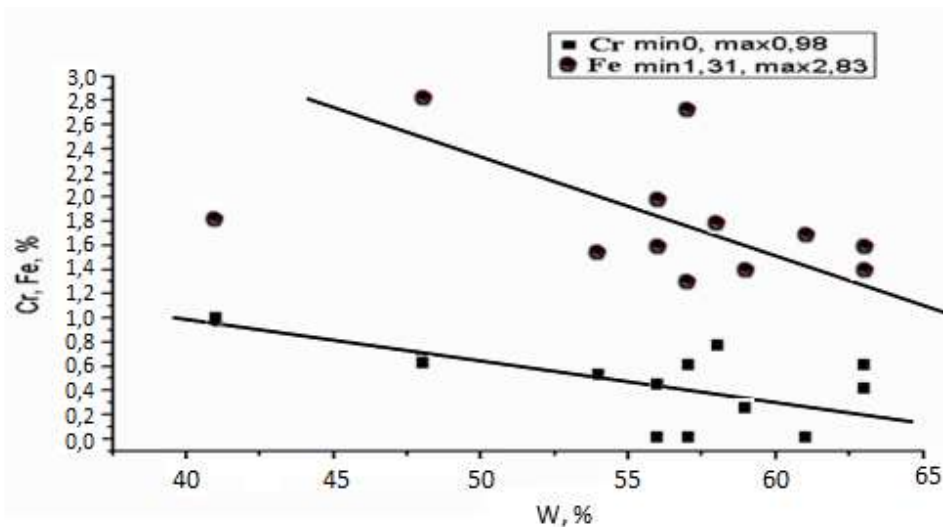


Рис. 5. Залежність зміни концентрації хрому і заліза від долі вольфраму

Це пов'язано з тим, що мікрозонд $\text{Ø}3\text{мкм}$, який використовували при зношеному плівковому покритті, захоплює і аналізує частково і основний метал. Крім того, незалежно від ступеню зношування відзначається окислення покриття

(містить кисень 2,4-5,8%). При наявності кисню графіт є мастилом, а без нього - абразивом. У разі сильної пошкодженості плівкового покриття відзначали підвищену частку в цій зоні кисню до 19,0% і присутність азоту, натрію, алюмінію, калію і кальцію, поява яких може бути віднесена до компонентів дизельного палива, що потрапили в зону дефектів.

Електронімікроскопічним дослідженням вивчена кінетика структурних змін на поверхні тертя з різним ступенем зношення. Встановлено, що на кожному з етапів зношування має місце формування характерного рельєфу у вигляді смуг ковзання різної товщини від 1-2мкм до 3-6мкм. З наростанням інтенсивності зношування таких смуг стає менше, вони потовщуються до 6-8мкм і руйнуються на окремі зерна (рис. 6).

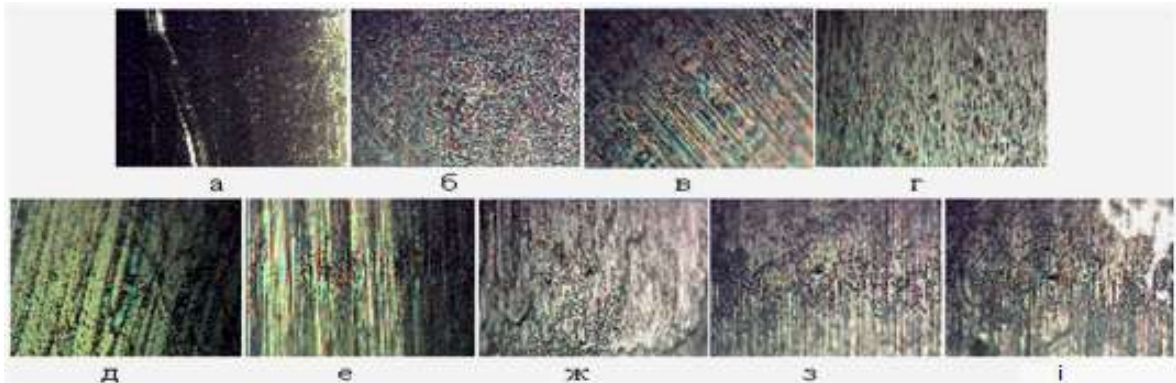


Рис. 6. Зображення фрагментів поверхні досліджуваної деталі у напрямку зростання інтенсивності зношування: а) зона покриття до експлуатації, $\times 10$; б) аморфна структура; в) початок експлуатації, формуються деформаційні смуги - сліди тертя, відбиток індентора утворює смуги зсуву; г), д), е) розвиток процесу тертя; ж), з), і) зменшення деформаційних смуг та руйнування структури покриття, поява рельєфної сітчастої структури, деформація в зоні відбитку індентора; б) - і) $\times 500$

При зношуванні смуги тертя інтенсивно руйнуються та мають вигляд окремих фрагментів і вони формують стійку сітчасту структуру. Межі сітчастої структури декоруються включеннями наноалмазів, сформованими в процесі тертя при руйнуванні алмазної плівки. Мікрорентгеноспектральним аналізом встановлено, що в деформаційній смузі відзначається збільшення концентрації вуглецю в 1,5 рази.

Рівномірність зношення покриття аналізували на основі зміни концентрації заліза, хрому і вольфраму при однаковій плямі мікросонду (3мкм) досліджуваних зон. Виходячи з цього встановили, що в перший період експлуатації, коли частка вольфраму максимальна (55-63%) концентрація заліза і хрому – відсутні або мінімальні. У цей період фіксується неоднорідність товщини шару аморфного покриття. У подальші періоди експлуатації при максимальному зношуванні частка вольфраму знижується, а хрому і заліза - зростають. Одночасно підвищується вміст вуглецю (з основного металу).

Для ідентифікації структурних виділень наноалмазів та їх розподілу при експлуатації в аморфному покритті використовували розроблений метод оптико-математичного аналізу, що оцінює зображення, які розрізняються за статистичними характеристиками - елементам фотографій мікроструктур на фрагментах 10×10 пікселів і щільності їх розподілу. Для зручності всі виявлені умовні кольори були розподілені на 16 груп. Побудовано гістограми інтегрального розподілу умовного

кольору для аналізованих фрагментів (табл. 1). Умовні кольори розташовуються в стовпцях 1, 2, 5, 6, 7, 10, 11, 12, а також 14, 15, 16, які відповідають наступним фазам: 1 – чистий W; 2 – чистий Co; 5 - з'єднання Co-W-C (min C); 6 – алмаз; 7 - з'єднання Co-W-C (max C); 10, 11 та 12 - з'єднання Co-W з різним співвідношенням цих компонентів; 14, 15 та 16 - з'єднання за місцем інтенсивного зношування Fe-Cr-C з різним співвідношенням цих компонентів (відображає основний метал). Зміни середнього умовного кольору наведено на (рис. 7).



Рис. 7. Зміна усередненого умовного кольору фотографій, характеризуючих інтенсивність зношування поверхні в процесі тертя

Таблиця 1

Гістограми інтегрального розподілу груп умовного кольору, %

Вміст, % групи умовного кольору																№ фото (рис. 6)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
7,88	0,96	0,0	0,0	39,09	30,48	0,404	0,0	0,0	4,86	8,58	2,38	0,0	0,01	1,93	6,09	а
5,16	0,519	0,0	0,0	4,98	23,59	0,294	0,0	0,1	23,98	26,85	2,50	0,0	0,46	6,41	6,73	б
2,76	0,50	0,0	0,0	8,87	31,88	1,887	0,0	0,2	15,53	26,90	3,45	0,0	0,49	3,19	4,92	в
7,36	0,02	0,0	0,0	2,92	22,71	0,374	0,0	0,0	12,06	38,56	3,13	0,0	0,01	2,67	11,89	г
6,40	4,30	0,0	0,0	14,26	31,04	7,450	0,1	0,0	03,34	20,10	10,67	0,0	0,03	0,39	3,22	д
5,92	2,21	0,0	0,0	12,18	28,78	4,364	0,1	0,1	07,10	22,84	10,55	0,0	0,12	2,97	4,56	е
16,07	0,07	0,0	0,0	2,13	13,98	0,061	0,0	0,0	11,20	32,32	1,84	0,0	0,49	6,53	17,15	ж
9,99	0,03	0,0	0,0	1,66	14,48	0,145	0,0	0,0	22,36	33,03	2,80	0,0	0,27	3,86	13,86	з
8,22	0,10	0,0	0,0	2,51	20,25	0,194	0,0	0,0	17,69	30,38	2,72	0,0	0,12	5,34	18,01	і

З аналізу табл. 1 встановлено, що в процесі різних періодів зношування відбувається циклічна зміна неоднорідності структури, що пояснюється формуванням і руйнуванням (відлущуванням) тонкої плівки наноалмазів і зміною частки компонентів у покритті W-Co-C.

Виявлено, що в початковий період тертя має місце формування значної кількості структури наноалмазів з концентрацією 32% C. У процесі збільшення зношування спостерігається циклічна зміна їх частки (зменшується в ~ 2,3 рази), в середньому, до 14%. Відокремленні наноалмази в епіцентрі тертя руйнуються, перетворюючись на графіт і тим самим, знижуючи коефіцієнт тертя завдяки наявності кисню.

Вимірами встановлено, що середня мікротвердість вихідного аморфного покриття складає H-50-365 (відповідає мікротвердості металу). На першому етапі

максимального тертя, коли вже формуються вуглецеві кластери наноалмазів вона досягає Н-50-1360, а потім знижується до Н-50-560, що повністю узгоджується з кінетикою процесу структурних трансформацій і оціненим механізмом зношування плівкового покриття W-Co-C з циклічним формуванням і руйнуванням наноалмазної плівки (рис. 8).

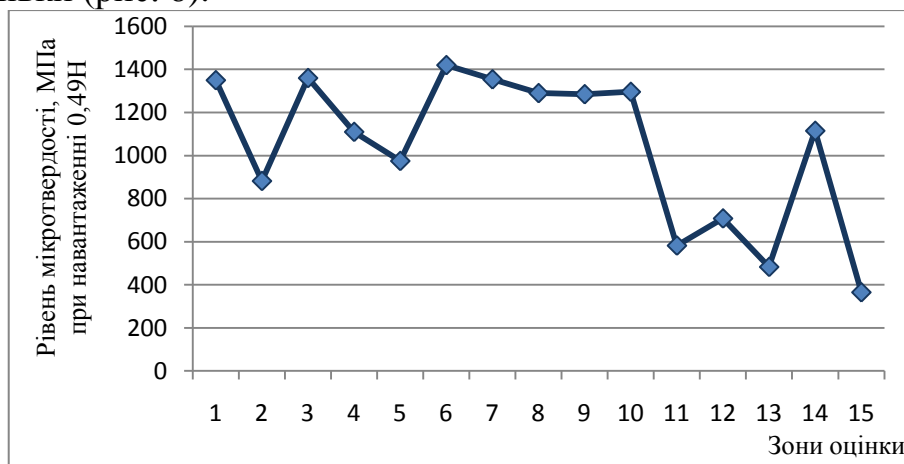


Рис. 8. Рівень мікротвердості в залежності від ступеню зношуваності плівкового покриття в зонах вимірювання

Четвертий розділ «Розробка технологічного процесу з використанням модифікування нанодомішками». Виходячи з аналізу застосовуваних плівкових покриттів при виготовленні деталей, для відновлення запропонована технологія хромування з нанодомішками, яка відрізняється широкими функціональними можливостями, маловитратним обладнанням та необхідними властивостями при певних технологічних прийомах. Така технологія може ефективно замінити іонно-плазмове покриття W-Co-C у зв'язку з тим, що при його експлуатації має місце нестабільність властивостей через поступове зниження концентрації вуглецю (з 34% до 14%) і падіння рівня мікротвердості, приблизно, в 2 рази. Технологія відновлення хромування з нанодомішками забезпечує однакову зносостійкість на протязі всього періоду експлуатації.

В якості електроліту рекомендується водний розчин хромового ангідриду CrO_3 масовою концентрацією 150-400г/л і добавкою 1,5-4,0г/л хімічно чистої кислоти H_2SO_4 . При цьому модифікування нанодомішками здійснювали в оптимальній кількості 10-15г/л.

Рекомендовані параметри процесу: температура електроліту 55°C , катодна щільність струму 30-50А/дм² з обробкою при номінальному струмі. Додатково, на початковій стадії хромування, слід проводити обробку при струмі в 1,5-2,0 рази більшому номінального, поштовхом на протязі 2-3 хв.

Виконані комплексні порівняльні дослідження включають спосіб підготовки деталей до відновлення, вибір технологічних параметрів процесу хромування і введення модифікуючих домішок. При цьому визначали найбільш ефективний тип домішок, а також особливості формування структури таких покриттів і їх властивості.

Досліджено вплив модифікуючих нанодомішок УДА і Al_2O_3 при електролітичному нанесенні покриттів. Показано, що недоліком такої технології є нерівномірна кристалізація агрегованих частинок (рис. 9).

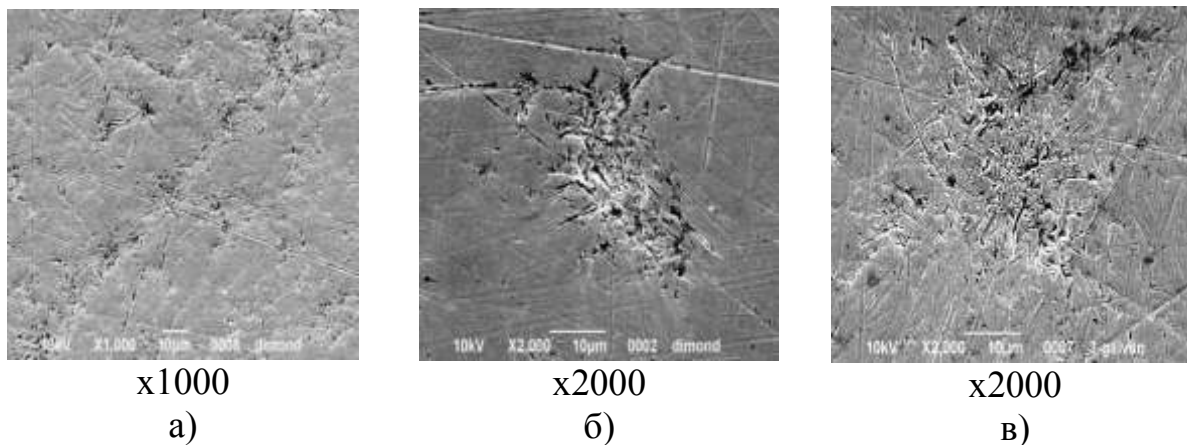


Рис. 9. Мікроструктура покриттів з додаванням в хромовий електроліт нанодомішок: а), б) - УДА; в) - алюмінієвої пудри - Al_2O_3

При кристалізуванні покриттів формуються скупчення нанодомішок у вигляді грубих виділень по границях зерен. Також спостерігається нерівномірний розподіл скупчень, який пов'язаний з осіданням частинок на дно рідкої ванни в процесі електролізу та при їх кристалізуванні у покритті.

Оцінкою мікротвердості встановлено, що при введенні нанодомішок Al_2O_3 рівень їх в зонах агрегування зростає в 5,5 разів, а УДА в - 1,3. Висока твердість при модифікуванні Al_2O_3 не дозволяє використовувати цю домішку при відновленні такими покриттями тому, що вона буде викришуватися і збільшувати зношення деталей, що сполучаються. Введення УДА забезпечує близьку за значеннями мікротвердість, щодо покриттів складу W-Co-C, і кінетика процесу зношування при експлуатації буде аналогічною.

Проблеми пов'язані з нерівномірним розподілом наночасток в матеріалі покриття, були вирішені за допомогою розробленого обладнання і технології хромування, в основі якої лежить спеціальний спосіб введення УДА для модифікованих покриттів (рис.10). Суть методу полягає в тому, що в процесі кристалізування зміцнюючого покриття нанодомішками, рівномірно розподіляються як у електроліті, так і – покритті. Таке досягається завдяки введенню в технологічний процес магнітної мішалки.



Рис. 10. Обладнання для хромування з модифікуванням покриттів: 1 - термостійка колба з електролітом; 2 - ТЕН для підігріву електроліту; 3 - регулятор частоти обертання електромагніту; 4 - цифровий вольтметр; 5 - цифровий термометр; 6 - цифровий амперметр; 7 - включення ТЕНу; 8 - включення функції гістерезису термометра; 9 - індикаторна лампа включення установки; 10 - електрозамок включення установки; 11 - регулятор щільності струму електроліту; 12 – включення електромагнітної мішалки; 13 - включення електромагніту

Така технологія дозволила зменшити ступінь агрегування частинок, виділення їх у менших розмірах, забезпечити більш рівномірний розподіл в компактній формі, (рис. 11) а також підвищити однорідність структури та твердості гальванічних покриттів.

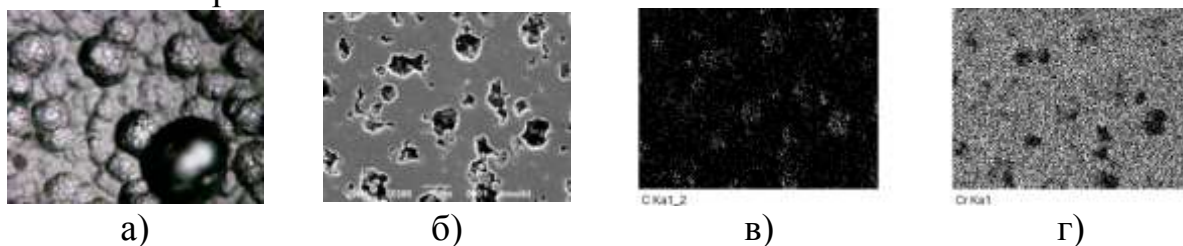


Рис. 11. Мікроструктура хромованого покриття, одержаного з використанням розробленої технології: а) - структура хромованого покриття без введення наноалмазів з грубим зерном і порами; б) - електронне зображення розподілу наноалмазів; в) - розподіл наноалмазів; г) - розподіл хрому; в), г) - термоелектронна емісія розподілу С і Cr відповідно, а) x500; б), в), г) x2000

Механізм модифікування структури покриття за розробленою технологією відрізняється введенням в електроліт заряджених дисперсних фаз УДА, осідаючих на поверхню при кристалізуванні разом з хромом (на попередньо активовану щітковою обробкою), і забезпечує збільшення кількості центрів кристалізації, видалення бульбашок водню, що зменшує розмір зерна, виключає пористість і підвищує твердість у 1,3 рази до рівня плівкових покриттів W-Co-C.

Порівняння структури покриттів, отриманих при електрономікроскопічних дослідженнях і термоелектронної емісії з розподілу С і Cr (див. рис. 9, а, б та 11, в, г) в умовах перемішування при електролізі з модифікуванням УДА підтвердило, що за відсутності руху частинок структура покриття формується більш крупнозернистою і характеризується більшим ступенем їх агрегування. При перемішуванні - формується дрібнозерниста структура, що пояснюється більш швидким підведенням іонів до поверхні катода. Агрегати УДА мають більш компактну форму, близьку до сферичної, без гострих кромки і утворюють тонку сітку з виділенням окремих наноалмазів по границях субзерен в покритті. Мікрорентгеноспектральний аналіз виявив значну наявність хрому (до 40%) в алмазних агрегатах, що свідчить про досить високу однорідність структури отриманого покриття.

П'ятий розділ «Розробка промислової технології відновлення деталей паливної апаратури хромуванням зі зміцненням УДА і оцінка її економічної ефективності». Розглянуто розвиток дефектів, що виникають в процесі експлуатації інжекторів різних машин закордонного виробництва. Виявлено до яких відмов вони призводять. Це інтенсивний протік палива через дренажні отвори, некоректна робота двигуна при виході з ладу форсунки, зношування рухливих деталей сполучення (кулька-конусне сидло, сидло-напрямна мультиплікатора, голка-корпус розпилювача) та інш.

Промислова технологія хромування зі зміцнюючим модифікуванням впроваджена на ремонтному підприємстві «Дизельсервіс» (м. Харків). Вона складається з ряду операцій: діагностика стану інжектора з виявленням зон зношення деталей по зміні температури при випробуванні на стенді BOSH (EPS200) з використанням пірометра, а також методом індентування; видалення збереженого

покриття без порушення геометрії деталей (методом анодного розчинення і спеціальної обробки); активування поверхні щітковою обробкою; хромування з модифікуванням наноалмазами в кількості 10-15г/л при їх введенні у вигляді водної суспензії (метод відновлення і зміцнення захищений патентом України № 99408); оцінка якості відновлення. На процес відновлення таким методом розроблена і погоджена технологічна інструкція з ремонтним підприємством.

Оскільки контроль за відновленими деталями процес тривалий і погано контрольований (після ремонту та відновлення деталей – інформація про експлуатацію відсутня), то паралельно провели стендові випробування на зношування в умовах заводу ім. В. А. Малишева. Випробування проводили в різних середовищах з покриттями: хромуванням; хромуванням + УДА (без перемішування при кристалізації покриття); хромуванням + УДА (з перемішуванням електроліту). При цьому аналізували зношування покриттів в різних середовищах: у свіжому мастилі М14В2; дизельному паливі з добавкою кварцового пилю і без нього. Результати випробувань показали, що модифіковані покриття в 1,5-2 рази менше зношуються при перемішуванні електроліту в процесі кристалізації. Це характерно для випробувань в маслі і дизельному паливі без домішок кварцового пилю. Одночасно, у ряді випадків, відзначається і зниження коефіцієнта тертя на 5-20% в порівнянні з покриттям тільки хромуванням.

За період впровадження розробок на ремонтному підприємстві «Дизельсевіс» (м. Харків) був відновлений 61 ротор паливного насоса і зауважень у споживачів не виникло. Економічний ефект від впровадження цього обсягу деталей склав 97,6 тис. грн., Що підтверджено актом впровадження.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У роботі розглянута важлива народно-господарська проблема, спрямована на підвищення зносостійкості деталей паливної апаратури машин закордонного виробництва, за рахунок ефективного їх відновлення, низько коштовним і доступним методом з використанням модифікування наноалмазами в умовах ремонтних підприємств України.

1. Виконано аналіз літературних джерел, патентів, що стосуються умов експлуатації, чинників виходу з ладу деталей паливної апаратури дизельних двигунів автомобілів закордонного виробництва. На довговічність роботи деталей, що визначають термін служби паливної апаратури, великий вплив мають чистота і склад (тип) палива, що використовується. Зокрема, велика частина відмов деталей паливоподаючих систем типу "Common Rail" є наслідком застосування палива не належної якості. Це, згідно з даними, відноситься до палива: з поганими змащувальними властивостями; водою у своєму складі; погано відфільтроване, яке має абразивні частки; забруднення домішками бензину, розчинників, відпрацьованого масла, алкоголю, гасу.

2. Для реалізації поставленої мети - розробки технології відновлювальних покриттів на деталях паливної апаратури прийнята методологія проведення поетапних досліджень. Використані сучасні методи аналізу - металографічний, електронікроскопічний, термоелектронної емісії, мікрорентгеноспектральний і рентгеноструктурний аналізи, випробування на зношення в різних середовищах. Для оцінки структурних змін при терті розроблено спеціальний метод математичного

опису розподілу фаз в плівкових покриттях на фотографіях мікроструктур. Метод заснований на оптико-структурному машинному аналізі.

3. Запропоновано нові методи діагностування якості плівкових покриттів, а також стенд для оцінки стану (ступеню зношування) деталей до і після їх відновлення. Для діагностування стану поверхні деталей при експлуатації рекомендовано використовувати неруйнівний метод мікротвердості. За рахунок зсуву покриття під індентором формуються смуги, що характеризують залишкову його товщину і може бути підставою для проведення відновлення.

Для діагностування ступеню зношування і перевірки якості відновлених акумуляторних систем живлення з електронним управлінням типу «Common Rail» запропоновано використовувати стенд BOSH (EPS200) і пірометр, які в процесі проведення випробувань дозволяють встановити конкретне місце зношення згідно підвищенню температури деталей, яке відбувається за рахунок збільшення зазорів в сполученнях де проходить більша за регламентовану кількість палива. Встановлено, що коли температура розігріву піднімається до 55-70°C, то це свідчить про необхідність проведення відновлення деталей. Запропоновано залежність зміни температури від ступеню зношення деталей інжектора. Обидва методи контролю якості захищені патентами України.

4. Вивчено кінетику і механізм зношення деталей з плівковими покриттями машин виробництва фірмами Японії та Канади. Встановлено, що покриття деталей складаються з композиції W-Co-C. Рентгеноструктурним аналізом показано, що таке покриття є аморфним. У процесі експлуатації на аморфному покритті з'являється алмазна плівка, яка періодично руйнується, а потім знову формується, причому на перших етапах її кристалізується більше (до 32% C), а потім при значному зношенні зменшується в 2,3 рази (до 14% C). Для встановлення кінетики процесу структурних змін аналізували гістограми інтегрального розподілу структур відриву по фотографіях з умовним кольором на фрагментах 10x10 пікселів і щільності їх розподілу. Проведеним аналізом встановлено, що зносостійкість такого покриття визначається формуванням кристалічної наноалмазної плівки, яка руйнується і, потрапляючи в очаг тертя утворює графіт і за наявності кисню є мастилом, що забезпечує зниження коефіцієнта тертя.

5. Для заміни технології зміцнення з плівковим іоно-плазмовим W-Co-C покриттям найбільш близьким є процес хромування з введенням модифікуючих нанодомішок. Виконані порівняльні дослідження з використанням модифікування домішками Al_2O_3 і УДА. Показано, що їх введення при хромуванні підвищує мікротвердість покриттів, однак, нанодомішки агрегатуються і при кристалізації формують неоднорідну грубу структуру. Крім того, домішками Al_2O_3 різко підвищують твердість покриття в 5,5 разів, що сприяє викришуванню включень при терті через велику різницю у властивостях матриці і включень і інтенсивно зношує деталі у sprzęженні.

6. Для реалізації технології модифікування і виключення ефекту неоднорідного розподілу агрегованих включень розроблено спеціальне обладнання. В процесі обробки воно дозволяє підтримувати УДА в звішеному стані і забезпечує необхідну седиментаційну їх стійкість і кристалізацію рівномірно розподілених включень, пронизаних хромом, подрібнює зерно в покритті, виключає інтенсивне

газовиділення і пористість. Мікротвердість такого покриття істотно зростає і відповідає - плівковим Н - 50 - 1200 - 1342 на основі W-Co-C.

7. Виконано аналіз відмов деталей паливних насосів високого тиску та інжектора різних закордонних автомобілів. Визначено основні типи відмов і розроблена технологія їх реновації, яка включає діагностику стану деталей, ступінь їх пошкоджуваності і зношування, підготовку до відновлення, використання технології хромуванням з модифікуванням УДА, параметри процесу і кінцевий контроль якості. Стендові випробування на зношення виявили перевагу запропонованої технології, яка забезпечує підвищення зносостійкості відновлених деталей хромуванням з модифікуванням УДА в порівнянні з - традиційним методом.

Розробки впроваджені на ремонтному підприємстві «Дизельсервіс» (м. Харків), де був відновлений 61 ротор паливних насосів в період 2011-2014р.р. і економічний ефект склав 97,6 тис. грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

У фахових виданнях

1. Шержуков И.Г. Анализ инжеторов системы «COMMON RAIL», вызывающих повышенную утечку топлива в обратку / И.Г. Шержуков, А.Г. Тридуб, А.В. Плугатарёв // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві. Вип.122- Харків:ХНТУСГ, 2012р. – С.157-162.

2. Скобло Т.С. Влияние добавок порошка оксида алюминия на технологический процесс и свойства хромовых покрытий / Т.С. Скобло, А.В. Плугатарёв, Т.В. Мальцев // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва. Вип.151- Харків: ХНТУСГ, 2014р. – С.159-165.

3. Плугатарёв А.В. Легирование хромированного покрытия нанопорошками / А.В. Плугатарёв // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві. Вип.133 - Харків:ХНТУСГ, 2013р. – С. 158-163.

4. Плугатарёв А.В. Анализ деталей, подлежащих восстановлению хромированием с использованием нанопорошков / А.В. Плугатарёв // Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. П. Василенка. Выпуск 146. Харьков 2014г. – С. 96-103.

5. Особенности износа деталей топливной аппаратуры современных дизельных двигателей / [Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Плугатарев А.В. и др.] // Проблеми трибології (Problems of Tribology) 2014г., № 1 – С. 6-14 (Входить до міжнародних наукометричних баз).

6. Исследование влияния УДА при восстановлении и упрочнении деталей узлов топливной аппаратуры / [Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Плугатарев А.В. и др.] // Проблеми трибології (Problems of Tribology) 2015г., № 1 – С. 106-111 (Входить до міжнародних наукометричних баз).

Патенти

7. Патент України № 88376, F02M65/00 Спосіб оцінки стану зношення деталей інжекторів дизельних двигунів / Т.С. Скобло, А.В. Плугатарьов, І.Г. Шержуков, О.І. Сідашенко та інш. 11.03.2014, Бюл. № 5.

8. Патент України № 95887, C25D15/00 Спосіб одержання зносостійких електролітичних покриттів, зміцнених наночастинками / Т.С. Скобло, О.Ю. Клочко, А.В. Плугатарьов, О.І. Сідашенко та інш. 12.01.2015, Бюл. № 1.

9. Патент України № 99408, G01B21/08 (2006.01) Спосіб оцінки зносу і залишкової товщини робочого шару деталей з плівковими покриттями / Т.С. Скобло, А.В. Плугатарьов, О.І. Сідашенко, Н.С. Пасько та інш. 10.06.2015, Бюл. № 11.

Матеріали та тези конференцій

10. Плугатарёв А.В. Восстановление топливной аппаратуры высокофорсированных дизельных двигателей путем хромирования / А.В. Плугатарёв // Научно – технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар.науч. практ. конф. РУП «Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2011г. - Т.3. – С. 138-144.

11. Плугатарёв А.В. Повышение износостойкости восстановленных деталей топливной аппаратуры хромированием с предварительной активацией поверхности / А.В. Плугатарёв, Д.В. Грудина. // Сб.: «Физические и компьютерные технологии» 5-6 декабря 2012 г, г. Харьков - С.165-171.

В закордонних виданнях

12. Скобло Т.С. Разработка оборудования и технологии восстановления деталей хромированием с модифицированием наноалмазами / Т.С. Скобло, А.В. Плугатарёв, Н.С. Пасько // East European Scientific Journal (Warsaw, Poland) 2016, № 7. P. 59-65 (Входить до міжнародних наукометричних баз).

В інших виданнях

13. Способ определения износа деталей инжекторов дизельных двигателей / [Скобло Т.С., Сідашенко А.І., Плугатарев А.В. и др.] // Промышленность в фокусе, декабрь 2013г. № 12, С. 52-54.

14. Особенности износа деталей топливной аппаратуры с плёночным покрытием / Т.С. Скобло, А.В. Плугатарёв, А.І. Сідашенко, О.Ю. Клочко // Промышленность в фокусе, январь 2015г. № 1, С. 57-58.

15. Пасько Н.С. Розробка і впровадження нового обладнання та енергозберігаючих технологій виробництва і відновлення деталей / Н.С. Пасько, І.Н. Рибалко, А.В. Плугатарьов // Промышленность в фокусе, март 2015г. № 3, С. 50-54.

АНОТАЦІЯ

Плугатарьов А.В. Підвищення зносостійкості деталей паливної апаратури дизельних двигунів. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 - матеріалознавство. Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка Міністерства освіти і науки України, Харків, 2016.

У дисертації показано, що перспективним напрямом при формуванні робочих поверхонь із заданими експлуатаційними властивостями і розширенням технологічних можливостей є застосування нанопорошків в хромових електролітах. Запропоновано новий процес рівномірної кристалізації нанодобавок при хромуванні, що забезпечує високу твердість і підвищену зносостійкість.

При проведенні досліджень широко використані сучасні методи аналізу структури, механічних та експлуатаційних властивостей плівкових покриттів. Для цього застосовували рентгеноструктурний, металографічний, мікрорентгеноспектральний аналізи, емісійну мікроскопію, оцінку мікротвердості і зносостійкості. Розроблені та використані нові методи діагностування зношування деталей і стану зміцнених покриттів при їх експлуатації та реновації.

На основі теоретичних та експериментальних досліджень вивчено кінетику і механізм зношування плівкового покриття деталей паливної системи, які являють собою аморфне з'єднання, що складається з W-Co-C, а основною зміцнюючою фазою є наноалмазна плівка, яка формується в процесі тертя. При зношенні вона руйнується, виділяється, а потім заново формується і процес іде циклічно.

Встановлено, що замінити плівкове покриття W-Co-C можливо з використанням процесу хромування, модифікованого нанодомішками з рівномірним розподілом включень у відновленому шарі. Також отримані параметри введення нанодомішок при хромуванні, які забезпечують зменшення розміру зерен, підвищення твердості до рівня плівкового покриття W-Co-C, зниження газовиділення у процесі відновлення.

Розроблено нову комплексну технологію і устаткування реновації, які включають оцінку зношеного стану деталей, спосіб зняття залишків покриття, підготовку поверхні до нанесення зміцнюючого шару (проведення активації) із забезпеченням міцності зчеплення, а також рекомендації за параметрами процесу та контролю якості.

Експериментальні та теоретичні дослідження дозволили на підприємстві «Дизельсервіс» (м. Харків) виготовити стенд для контролю стану зношених деталей і обладнання для хромування з наноалмазами, що дало змогу знімати залишки зношених покриттів і наносити нові. Зносостійкість відновлених деталей, розробленим методом, зростає в 1,5-2 рази.

Ключові слова: плівкове покриття, нанодомішки, хромування, властивості, зносостійкість, новий спосіб відновлення, обладнання.

АННОТАЦИЯ

Плугатарёв А.В. Повышение износостойкости деталей топливной аппаратуры дизельных двигателей. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.02.01 – материаловедение. - Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенко Министерства образования и науки Украины, Харьков, 2016.

В диссертации показано, что перспективным направлением при формировании рабочих поверхностей с заданными эксплуатационными свойствами и расширения технологических возможностей является применение нанопорошков в хромовых электролитах. Предложен новый процесс равномерной кристаллизации нанодобавок

при хромировании, обеспечивающий высокую твердость и повышенную износостойкость.

В работе при проведении исследований широко использованы современные методы анализа структуры, механических и эксплуатационных свойств плёночных покрытий. Для этого применяли рентгеноструктурный, металлографический, микрорентгеноспектральный анализы, эмиссионную микроскопию, оценку микротвердости и износостойкости. Разработаны и использованы новые методы диагностирования износа деталей и состояния упрочненных покрытий при их эксплуатации.

На основе теоретических и экспериментальных исследований изучены кинетика и механизм износа пленочного покрытия деталей топливной системы, которые представляют собой аморфное соединение, состоящее из W-Co-C, а основной упрочняющей фазой является наноалмазная пленка, которая формируется в процессе трения. При износе она разрушается, выкрашивается, а затем заново формируется, и процесс идет циклически.

Установлено, что заменить плёночное покрытие W-Co-C возможно с использованием процесса хромирования, модифицированного нанодобавками с равномерным распределением включений в восстановленном слое. Предложены параметры ввода нанодобавок при хромировании, которые обеспечивают уменьшение размера зерен, повышение твердости до уровня пленочного покрытия W-Co-C, снижения газовыделения в процессе восстановления.

На основании теоретических и экспериментальных результатов исследований установлен состав покрытия. Разработана новая комплексная технология и оборудование реновации, которые включают оценку изношенного состояния деталей, способ снятия остатков покрытия, подготовку поверхности к нанесению упрочняющего слоя (проведение активации) с обеспечением прочности сцепления, а также рекомендации по параметрам процесса и контролю качества.

Экспериментальные и теоретические исследования позволили на предприятии «Дизельсервис» (г. Харьков) изготовить стенд для контроля состояния изношенных деталей и оборудование для хромирования с наноалмазами, что дало возможность снимать остатки изношенных покрытий и наносить новые. Износостойкость восстановленных деталей, разработанным методом, возрастает в 1,5-2 раза.

Ключевые слова: плёночное покрытие, нанодобавки, хромирование, свойства, износостойкость, новый способ восстановления, оборудование.

ANNOTATION

Plugatarev A.V. Increasing of parts wear resistance of fuel injection equipment of diesel engine. – Manuscript copyright.

The dissertation on competition of a Scientific Degree of Doctor of Philosophy in Engineering Sciences by specialty 05.02.01 – Material Science. – Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2016.

The dissertation shows that using of nanopowders in chromium electrolytes is a promising direction during working area formation with given service properties and technological capability enhancement. A new process of uniform crystallization of nanoagents during chrome plating, providing high hardness and increased wear resistance,

was proposed.

The modern methods of the analysis of the structure, mechanical and service properties of film coatings are widely used when conducting research. For these purposes X-ray diffraction, metallographic, electron microprobe analysis, emission microscopy, microhardness and wear resistance evaluation were used. New methods of diagnosis of parts wear and hardened coating condition during their operation were developed and used.

Based on theoretical and experimental studies, kinetics and mechanism of the wear of parts film coating of the fuel supply system were examined, which are amorphous compound, consisting of W-Co-C, and the nanodiamond film forming in triboprocess is the basic strengthening phase. During the wear it fractures, crumbles away, then reforms, and process goes around the cycle.

It was determined that it is possible to replace the film coating W-Co-C by using chrome plating process, modified by nanoagents with uniform distribution of inclusions in restored layer. Input parameters of nanoagents during chrome plating, which ensure grain refining, hardness increasing up to the level of film coating W-Co-C, gas evolution reduction in the restoration process were proposed.

Based on theoretical and experimental research results, coating composition is determined. There were developed new aggregate technology and renovation equipment that comprise of evaluation of parts wear-out condition, coating rests stripping method, surface preparation for application of strengthening layer (carrying out of activation) with providing of adhesion strength, as well as process variables and quality control recommendations.

Theoretical and experimental studies were used at the “Dieselservice” company (Kharkiv) to make a stand for control of worn-out parts condition and equipment for chrome plating with nanodiamonds, enabling to strip rests of worn-out coatings and apply new ones. The parts wear resistance, restored by developed method, increases 1,5-2 times.

Keywords: film coating, nanoagents, chrome plating, properties, wear resistance, new restoration method, equipment.

Підписано до друку: 18.10.2016р.
Формат 60x84 1/16. Гарнітура Times New Roman.
Папір офсетний. Цифровий друк.
Обсяг 0,9 авт. арк. Зам. № 95 Тираж 130 прим.

Видавництво ТОВ «ТИПОГРАФИЯ МАДРИД»
61024, м. Харків, вул. Ольминського, 11
Тел.: (057) 756-53-25
Свідоцтво суб'єкта видавничої діяльності:
Серія ДК, № 4399 от 27.08.12 г.
www.madrid.in.ua e-mail: info@madrid.in.ua