

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора Ауліна Віктора Васильовича, професора кафедри експлуатації та ремонту машин Центральноукраїнського національного технічного університету на дисертаційну роботу Мальцева Тараса Віталійовича на тему:

"Підвищення триботехнічних властивостей поршневих кілець багат шаровим зміцненням наноструктурним покриттям", що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.04 "Тертя та зношування в машинах"

Актуальність теми. Важливим напрямом підвищення якості та надійності деталей двигунів спеціальної техніки є забезпечення високих трибологічних характеристик шляхом удосконалення методів їх зміцнення та відновлення. Однією з найбільш відповідальних деталей двигунів є поршневі кільця. Відомі технології підвищення їх триботехнічних властивостей мають суттєві недоліки. Запропонована технологія зміцнення передбачає використання багат шарового наноструктурного покриття TiN/CrN. При цьому частка хрому, додатково наноситься на робочу поверхню плазмовим потоком для більшого зчеплення покриття з основним металом. Тому безумовно актуальним є дослідження спрямовані на забезпечення стабільних триботехнічних властивостей деталей вузлів спеціальної техніки протягом всього життєвого циклу.

Зв'язок теми з науковими програмами, планами і темами. Виконання роботи здійснювалось у відповідності до тематики ХНТУСГ імені Петра Василенка та програм: "Розробка і впровадження нових технологій зміцнення тонкостінних деталей" (ДР № 0114U006552) та "Розробка і використання нових технологічних прийомів зміцнення наноструктурними покриттями в машинобудуванні" (ДР №0120U102792).

Наукова новизна результатів дисертації та їх значення для практики.

Положення, які характеризують наукову новизну результатів дисертаційної роботи полягають у отриманні залежності трибологічних характеристик різних співвідношень Ti/Cr багат шарового покриття TiN/CrN та експериментальному обґрунтуванні оптимального співвідношення Ti/Cr; теоретичного, аналізу якості покриття з використанням оптико-математичного методу, в основу якого покладено опис дифузійних потоків (лапласіанів) та щільності фрагментів зображення (дивергенцій) поверхонь тертя з виявленням відмінностей у їх якості. Доведено, що зміна якості робочої поверхні суттєво змінює трибологічні показники при різних параметрах процесів тертя та зношування. Визначено, що зміцнення нанесеного багат шарового покриття дозволяє корегувати властивості поверхні тертя поршневих кілець шляхом зміни частки зміцнюючих фаз TiN/CrN. Проведеними комплексними дослідженнями виявлено: значну циклічну пластичну деформацію, що створює зони стиснення та розтягнення, які відрізняються структурними змінами та змінами

хімічного складу; зміну щільності, розвиток пошкоджень, схоплень та іншими можливих руйнувань. Удосконалено теоретично-розрахунковий підхід оптико-математичного аналізу, який адаптовано для умов тертя. Виявлено структурні якісні зміни зон тертя з урахуванням умов експлуатації поршневих кілець.

Практична значимість результатів досліджень полягає у розробленні нової комплексної технології підвищення триботехнічних властивостей поршневих кілець для двигунів спеціальної техніки багатошарових іонно-плазмових покриттів. Економічний ефект від впровадження зміцнених поршневих кілець при виробництві спеціальної техніки тільки на один двигун складає 14220 грн.

Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у роботі. Ґрунтуючись на аналізі стану і проблем процесів тертя та зношування в трибосистемах, визначено мету, об'єкт, предмет і сформульовано основні завдання дослідження. При цьому виявлено істотне підвищення триботехнічних властивостей поршневих кілець багатошаровим зміцненням нанесенням наноструктурних покриттів.

Результати проведених досліджень доповідались та обговорювались на вітчизняних і зарубіжних міжнародних науково-практичних конференціях. Основні результати роботи опубліковані в статтях у фахових вітчизняних і іноземних виданнях. Про достовірність отриманих результатів свідчить достатній ступінь відповідності результатів теоретичних розрахунків експериментальним даним, одержаних з використанням сучасних методик досліджень, а також їх відповідність науково-технічним джерелам інформації та даним інших дослідників.

Наукова цінність отриманих результатів. Наукова цінність отриманих результатів розв'язання науково-практичного завдання полягає в наступному: проаналізовано інформацію за умовами роботи та механізмами зношування поршневих кілець, методами їх зміцнення і досягаємим властивостям; розроблено методологічний підхід проведення досліджень для оцінки особливостей структурних змін при терті та зношуванні маслороз'ємних поршневих кілець; використано новий технологічний процес зміцнення багатошаровою наноконпозицією робочої поверхні маслороз'ємних поршневих кілець при використанні різних співвідношень зміцнюючих фаз; зроблено оцінку впливу запропонованого способу зміцнення на рівень напружено-деформованого стану поршневих кілець і розроблено метод контролю і бракувальні норми за рівнем залишкових напружень; запропоновано теоретичний підхід використання оптико-математичного аналізу для визначення характеру формування залишкових напружень і структуроутворення поверхонь тертя поршневих кілець.

Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях та на науково-практичних конференціях. Основні результати досліджень по дисертаційній роботі опубліковані в 9 періодичних виданнях, у тому числі: 6 статтях фахових видань України, 4 з яких включені до бази Scopus; 2 статті одноосібно; 1 публікації у закордонному виданні; 7 тез доповідей наукових конференцій та

отримано 4 патенти на корисну модель. В опублікованих працях повністю викладено основні положення дисертаційної роботи, а саме: визначено напрями розробок, проаналізовано умови роботи поршневих кілець двигунів техніки спеціального призначення; виконана оцінка напружено-деформованого стану неруйнівним методом за коерцитивною силою; досліджено триботехнічні властивості робочих поверхонь поршневих кілець та зміни їх якості поверхонь тертя; виявлено зміни у структуроутворенні та якості поверхонь тертя поршневих кілець оптико-математичним методом.

Загальна оцінка дисертації та автореферату. Дисертація складається з анотацій на українській та англійській мовах, вступу, п'яти розділів, висновків, переліку використаних джерел і додатків. Повний обсяг роботи складає 237 сторінок. Дисертація містить 33 таблиці, 74 рисунки і 3 додатки. Список використаних джерел нараховує 167 найменувань.

Оцінка змісту дисертації та автореферату.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовано мету, предмет, об'єкт, завдання, зазначено методи дослідження, з'ясовано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів.

У першому розділі проаналізовано умови роботи поршневих кілець двигунів і механізмів їх зношування. З'ясовано що, для забезпечення високих триботехнічних властивостей поршневих кілець виникає необхідність розглянути відомі методи та матеріали зміцнення робочої поверхні поршневих кілець з урахуванням умов їх експлуатації. Окрім того, для забезпечення високих експлуатаційних характеристик роботи двигуна протягом тривалого часу експлуатації, поршневі кільця повинні забезпечувати низький коефіцієнт тертя та високу зносостійкість. Здійснено аналіз методів зміцнення поршневих кілець, особливості структуроутворення покриттів та зміни триботехнічних властивостей. Виявлено, що технології хромування і лазерна обробка поверхонь не забезпечать високого рівня споживчих властивостей, у порівнянні з іонно-плазмовими методами осадження плівок і нанопокриттів. Розглянуті триботехнічні властивості іонно-плазмових і багатокомпонентних покриттів та виявлена доцільність використання багатошарової структури іонно-плазмового методу осадження покриттів. Також розглянуто особливості структуроутворення і триботехнічні властивості багатошарових іонно-плазмових покриттів.

Другий розділ присвячено методологічному підходу та етапом досліджень зносостійкості маслоз'ємних поршневих кілець. Проаналізовано метод зміцнення маслоз'ємних поршневих кілець двигунів. Визначено методи і методики комплексних досліджень на зносостійкості маслоз'ємних поршневих кілець двигунів спеціальної техніки. Розглянуто методики дослідження трибологічних характеристик та якості робочих поверхонь поршневих кілець. Визначення зносостійкості пропонується за допомогою стендових випробувань на машині тертя зі зворотно-поступальним рухом при різних швидкостях ковзання – від 0,7 до 1,6 м/с.

Такі швидкості були обрані, виходячи з оцінки рівня зношування та умов експлуатації двигуна. Найбільш детально досліджували механізми зношування поверхонь тертя при переході від пружної деформації при швидкості ковзання 1,3 м/с до пластичної – при 1,0 м/с. При цих випробуваннях проводили порівняльний аналіз зношування серійних та зміцнених різним співвідношенням Ti/Cr поршневих кілець.

Виконано математичне планування експерименту з виявленням факторів впливу властивостей покриттів на мікротвердість та швидкість зношування. Для виявлення факторів, що можуть впливати на показники зносостійкості поршневих кілець використано метод планування експерименту з побудовою лінійних рівнянь регресії з чотирма значеннями змінних факторів (план експерименту – 2^2). Для оцінки рівня впливу факторів (x_1 та x_2) на розглядаємий параметр (відгук – y) побудовано рівняння регресії і враховано впливи концентрації в покритті Ti (x_1) та Cr (x_2) на рівень його мікротвердості (y_1) та швидкість зношування (y_2). Застосовано оптико-математичний метод оцінки змін якості поверхні тертя поршневих кілець. Він полягав в апроксимації електронних фотографій металу похилої поверхні (прилеглої до зони тертя) і безпосередньо зони тертя кілець. При цьому аналізували серійне кільце і з іонно-плазмовим покриттям з оптимальним співвідношенням Ti/Cr, яке забезпечує найвищу зносостійкість.

В третьому розділі наведені результати вимірювання лінійних розмірів замків поршневих кілець та коерцитивної сили їх робочих зон після нанесення покриттів. Досліджено вплив мінімальної та максимальної швидкості ковзання на зносостійкість зміцнених поршневих кілець. Аналізували границю впливу мінімальної швидкості ковзання, що дорівнює 1 м/с, при якій пройдений шлях тертя склав 360 км та вплив на зміну мікротвердості, знос і структуроутворення, що формуються при терті.

У четвертому розділі наведено результати впливу різних швидкостей ковзання від 0,7 до 1,6 м/с на швидкість зношування зміцнених поршневих кілець іонно-плазмовим покриттям при різних співвідношеннях основних елементів – Ti та Cr. Особливий інтерес представляють швидкості ковзання в інтервалі 1,0 і 1,3 м/с, які супроводжуються зміною співвідношенням компонентів в процесі випробувань, так і зносом частки покриття при різному шляху тертя. Розглянуто зміну хімічний складу поверхні тертя зміцнених поршневих кілець при різних швидкостях ковзання. Для цього використовували результати локального мікрорентгеноспектрального аналізу робочих поверхонь тертя серійних кілець і зміцнених багат шаровим наноструктурним покриттям TiN/CrN. Здійснена оцінка товщини зміцненого шару в системі "покриття-основа" поршневих кілець та її прогнозування при експлуатації. Оцінювали зміни локального хімічного складу в зоні тертя з урахуванням оцінки частки вихідного зміцнюючого покриття поршневих кілець і їх зміни по глибині, що враховував перетин покриття, перехідну частину і шар, який формується після експлуатації, тобто зміни, що характеризують вміст компонентів в системі "покриття – основа".

В п'ятому розділі проведено обробку та аналіз зображень поверхонь тертя поршневих кілець. Обґрунтовано особливості зносостійкості маслоз'ємних поршневих кілець в умовах тертя ковзання та вплив параметрів тертя на стійкість структуроутворення у зміцненому шарі поршневих кілець за зміною якості поверхонь тертя. Дослідження проводили також по електронномікроскопічним зображенням. За допомогою спеціально розробленого алгоритму програми додатково були порівняльно оброблені цифрові зображення трьох партій маслоз'ємних серійних і зміцнених кілець. Проведено оцінку економічної ефективності технології зміцнення багатшаровим іонно-плазмовим покриттям TiN/CrN маслоз'ємних поршневих кілець.

Загальні висновки містять вісім пунктів, з яких до результатів теоретичних досліджень можна віднести пунктів 1,7, а до експериментальних досліджень – пункти 2-6,8.

Автореферат відповідає змісту дисертації і достатньо повно розкриває сутність дисертаційної роботи.

Зауваження по дисертаційній роботі та автореферату:

1. На рис 1.1, стор. 26, представлено дані відмов деталей ЦПГ двигунів техніки спеціального призначення. Слід було зазначити посилання на літературні джерела, марку двигуна і пробіг транспортного засобу.

2. Бажано було б навести класифікацію методів зміцнення поршневих кілець у вигляді блок-схеми з подальшим порівняльним їх аналізом.

3. Потребують аналізу дані триботехнічних випробувань, представлені на рис. 1.4 та рис. 1.17.

4. У п.1.5 слід було чітко навести результати аналізу літературних даних з урахуванням існуючих триботехнічних властивостей багатшарових нанопокриттів, що вкладаються у зміст якості робочої поверхні чавунних маслоз'ємних поршневих кілець.

5. В структурній схемі досліджень (рис.2.1) в блоці контролю якості поверхонь тертя розглядається мікротвердість, а при формуванні і аналізі зміцнюючого покриття використовується нанотвердість. Не зрозуміло, як поєднуються ці величини.

6. При висвітленні методики математичного планування експерименту (п.2.4) потребують більш детального обґрунтування вибрані фактори, результуючі ознаки та графічна інтерпретація поверхонь відгуку, а при використанні оптико-математичного методу (п.1.5) – методики його реалізації при визначенні значень загального, третього і четвертого лапласіанів, дивергенції, потужності дисипації за мікрофотографіями поверхні тертя зразків поршневих кілець.

7. В табл.3.1, 3.2 слід було вказати термін останнього вимірювання лінійних розмірів замків та коерцитивної сил, а на рис.3.2,3.3,3.5,3.8,3.9,3.11 – недостатньо експериментальних точок з статистичної точки зору.

8. За результатами даних табл.3.5,3.6, рис. 3.6,3.7 та табл.3.8,3.9, рис. 3.12,3.13 необхідно було виявити тенденцію розвитку процесів дифузії, сегрегації хімічних елементів у поверхневих шарах матеріалу поршневих кілець при випробуваннях на тертя та зношування.

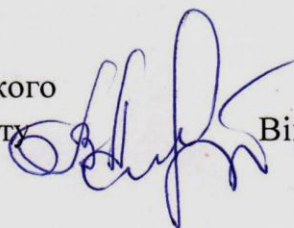
9. Не зрозуміло, якими обставинами обґрунтовується вибір тривалості випробувань 3, 25 і 72 год. (рис.4.1-4.4). Краще прослідкувати закономірність швидкості зношування та перерозподіл хімічних елементів в поверхневих шарах матеріалу при однакових періодах часу і більшій кількості експериментальних точок.

10. Пункт 5.1, в якому йде мова про обробку зображень поверхонь тертя поршневих кілець, слід перенести у методичний розділ 2. Слід також зазначити, що пункти 5.2 і 5.3 не є теоретичними обґрунтуваннями особливостей зносостійкості маслоз'ємних поршневих кілець, а є результатами оцінок якості їх поверхонь тертя за оптико-математичним методом.

Підсумковий висновок по дисертації. Дисертаційна робота Мальцева Тараса Віталійовича на тему: "Підвищення триботехнічних властивостей поршневих кілець багат шаровим зміцненням наноструктурним покриттям" є завершеним науковим дослідженням, що дає можливість вирішити актуальне наукове-практичне завдання підвищення зносостійкості поршневих кілець двигунів спеціальної техніки нанесенням багат шарового покриття TiN/CrN з різним співвідношенням TiN/CrN. Тема, зміст дисертації і автореферату відповідають паспорту спеціальності 05.02.04 – Тертя та зношування в машинах. За актуальністю і науковою новизною, обґрунтованістю наукових положень та практичних результатів, ступенем апробації результатів дослідження на конференціях і у фаховій літературі представлена дисертаційна робота відповідає існуючим вимогам до кандидатських дисертацій, а її автор, Мальцев Тарас Віталійович, заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.04 – Тертя та зношування в машинах.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри експлуатації та
ремонту машин Центральноукраїнського
національного технічного університету



Віктор АУЛІН

Підпис професора кафедри експлуатації та ремонту машин, доктора технічних наук Ауліна В.В. засвідчую:

Проректор Центральноукраїнського національного технічного університету,

доктор економічних наук, професор



Олександр ЛЕВЧЕНКО