

ВІДГУК

офіційного опонента кандидата технічних наук Цимбала Богдана Михайловича на дисертаційну роботу Мальцева Тараса Віталійовича «Підвищення триботехнічних властивостей поршневих кілець багат шаровим зміцненням наноструктурним покриттям», подану до захисту у спеціалізовану вчену раду К 64.832.03 Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.04 – тертя та зношування в машинах

Актуальність теми дисертації

У комплексі проблем стосовно підвищення надійності й довговічності спеціальної техніки особливе місце посідає питання зносостійкості деталей. Недостатня зносостійкість матеріалів обмежує зростання продуктивності спеціальної техніки і термінів її експлуатації, збільшує витрати на ремонт і запасні частини. Далеко не завжди необхідний комплекс властивостей виробів може бути сформований традиційними методами термічної й хімічної обробки. В наш час однією з проблем машинобудування є підвищення зносостійкості поршневих кілець, виготовлених із високоміцного чавуну. Широко використовувані у практиці вітчизняного та зарубіжного машинобудування покриття з електролітичного хрому в ряді випадків не досить добре задовольняють вимогам, що висуваються до поршневих кілець. Маючи твердість Н900-1000, хромові покриття забезпечують стійкість проти абразивного зношування, володіють високою адгезійною міцністю, відносно низьким коефіцієнтом тертя, задовільною припрацьовуваністю та оливопоглинанням, високою теплопровідністю. Однак пористий шар хрому товщиною 40–50 мкм за кілька сот годин спрацьовується, і тоді починає зношуватися тверда основа. Електролітичний хром незадовільно працює на тертя і зношування за високих температур, що призводить до зміцнення; в певних умовах він схильний до вологої корозії. Поршневі кільця деталей циліндро-поршневої групи працюють у напружених умовах, які характеризуються високими температурами (до 1900 °С горючої суміші, до 6000 °С на поверхні гільзи і до 450 °С на спідниці поршня), тисками (до 15 МПа) і вкрай несприятливим характером тертя – від рідинного до сухого, за умов зворотно-поступального руху. Поршневі кільця циліндрів двигунів, виготовлені з ливарних чавунів, за наявності електроліту складають один з

одним гальванічні пари. Пари утворюються і між структурними складовими чавуну – перлітом, графітом, фосфідною евтектикою, а всередині перліту – між феритом і цементитом. Крім того, внаслідок нерівномірності температури в областях із більш високою температурою виникають анодні ділянки. Спалювання у циліндрах спеціальної техніки палива з підвищеним вмістом сірки збільшує інтенсивність зношування поршневих кілець. Крім того, хромування потребує захисту навколишнього середовища та працівників від шкідливих та небезпечних чинників, а також захисту поверхонь деталі, які не піддають зміцненню.

Виходячи з вищенаведеного, вважаю, що тема даної дисертаційної роботи є актуальною.

Актуальність дисертаційної роботи підтверджується її зв'язком з тематикою ХНТУСГ ім. Петра Василенка та подальшими перспективами розвитку отриманих результатів у галузі трибоматеріалознавства та підвищення ресурсу трибосистем у машинобудуванні.

Ступінь обґрунтування наукових положень, висновків і рекомендацій

В дисертаційній роботі наведено наукові узагальнення та висновки з теоретичного та експериментального підтвердження високих триботехнічних властивостей багат шарового іонно-плазмового зміцнювального покриття TiN/CrN поршневих кілець двигунів техніки спеціального призначення, які базуються на ретельному аналізі багатьох теоретичних і експериментальних досліджень, виконаних іншими авторами, та були досягнуті автором у процесі вирішення поставлених завдань.

Здобувачем було отримано залежності трибологічних характеристик різних співвідношень Ti/Cr багат шарового покриття TiN/CrN та експериментально обґрунтовано оптимальне співвідношення Ti/Cr, яке забезпечує високі триботехнічні показники поршневих кілець, виготовлених із сірого чавуну. Теоретично, з використанням оптико-математичного методу на основі опису дифузійних потоків (лапласіанів) та щільності фрагментів зображення (дивергенцій) поверхонь тертя, виявлено відмінність у їх якості, яка суттєво змінює трибологічні показники за різних параметрів тертя та зношування відносно таких деталей без зміцнення і дозволяє корегувати властивості поверхні тертя поршневих кілець шляхом зміни частки зміцнюючих фаз.

Висновки за розділами певною мірою відображають отримані результати та узгоджуються із висновками по роботі, містять наукову новизну, розкривають сутність вирішення поставлених у роботі задач.

В цілому обґрунтованість сформульованих теоретичних положень, висновків і рекомендацій не викликає сумнівів. Виконана дисертаційна робота надає наукове обґрунтування високих триботехнічних властивостей багат шарового іонно-плазмового зміцнювального покриття TiN/CrN поршневих кілець двигунів техніки спеціального призначення, що зумовлює подальше вдосконалення існуючих трибосистем.

Наукова новизна матеріалів дисертації

Основну частину дисертаційної роботи автор присвятив проведенню досліджень триботехнічних характеристик поршневих кілець, зміцнених багат шаровою нанозміцнювальною композицією TiN/CrN. Автором дисертаційної роботи було проведено комплексні дослідження виявлених змін, що відбуваються на поверхні тертя, які полягають у тому, що незалежно від типу поверхні тертя має місце значна циклічна пластична деформація, що створює зони стиснення та розтягнення, і вони відрізняються зміною хімічного складу, щільністю, розвитком пошкоджень, схоплень, можливими руйнуваннями, особливо на деталях без зміцнення, та комплексні дослідження впливу параметрів тертя та зношування поршневих кілець спеціальної техніки на структурні зміни. Здобувачем було удосконалено теоретично-розрахунковий підхід оптико-математичного аналізу, який адаптовано для опису структурних змін зон тертя з урахуванням умов експлуатації поршневого кільця.

Практична значущість матеріалів дисертації

Практична значущість отриманих результатів полягає в тому, що на підставі одержаних результатів розроблено нову комплексну технологію підвищення триботехнічних властивостей поршневих кілець для двигунів спеціальної техніки. Вона базувалась на комплексному підході до досліджень, розробках нових технологічних процесів виробництва, керування співвідношенням зміцнюючих фаз багат шарового наноструктурного покриття та неруйнівним контролем якості.

Дослідження автора мають промислову апробацію, а саме апробацію технології зміцнення багат шаровим іонно-плазмовим покриттям TiN/CrN оливознімного поршневого кільця, і забезпечують підвищення стійкості в умовах, які відповідають експлуатаційним, від 12 до 15,7 раза залежно від швидкості ковзання.

Автором було показано, що, з урахуванням використання 60 кілець в одному двигуні, економічна ефективність від впровадження складає 14220 грн.

Достовірність матеріалів дисертації

Достовірність матеріалів дисертаційного дослідження, наукових положень, висновків і практичних рекомендацій підтверджено наступним.

Розв'язання поставлених у роботі задач спирається на відомі закономірності зміни трибологічних властивостей поршневих кілець із багатошаровим зміцненням наноструктурним покриттям.

Для проведення експериментальних випробувань використовували наступне обладнання, а саме: коерцитиметр моделі КРМ-Ц-2М, який забезпечує контроль виробів за цим параметром у діапазоні від 1,0 до 60,0 А/см; машину тертя зі зворотно-поступальним рухом СМТ-1 за схемою «диск–колодка»; прилад моделі ПМТ-3 для вимірювання мікротвердості; електронний мікроскоп JSM-6390LV для вимірювання вмісту хімічних елементів; ваги WA-200.

Оцінка змісту дисертації та її завершеності

У першому розділі «Аналіз умов роботи, механізмів зношування та технологій зміцнення поршневих кілець двигунів» автором проаналізовано результати досліджень виконаних розробок за допомогою найбільш ефективних методів зміцнення деталей, що працюють у з'єднаннях. Він встановив, що найбільш ефективними є іонно-плазмові нанопокриття (що забезпечують підвищення рівня споживчих властивостей), які осаджені на робочу поверхню нітридо – та карбідоутворювальних компонентів. Покриття на основі титану і ряд інших – одношарових покриттів за своїми можливостями багато в чому вичерпали себе, і вони не можуть забезпечити значного поліпшення триботехнічних характеристик. Автор визначив, що в більшості випадків такі покриття не є універсальними і потребують цільового дослідження можливості застосування, для забезпечення максимальної ефективності. Крім того, одношарові покриття в ряді випадків не забезпечують високої тріщиностійкості, що супроводжується підвищеною схильністю до руйнування зміцненого шару. Здобувачем було встановлено, що важливим також є і матеріал підкладки, який робить істотний внесок в особливості структуроутворення покриття, як у процесі технологічного процесу виготовлення деталей, так і у період експлуатації. Слід також зазначити, що нанокompозитні покриття забезпечують більш високі властивості, ніж покриття, які характеризуються мікророзмірністю

структури. Багатошарові покриття, зокрема системи CrN/TiN, демонструють широкий спектр споживчих властивостей: високі показники твердості і стабільність у процесі експлуатації, стабільну зносостійкість, відносно низький коефіцієнт тертя, достатню адгезію між покриттям і підкладкою, корозійну стійкість, жароміцність, тріщиностійкість та ін. Тому, на думку автора, таке покриття можна вважати досить універсальним для широкого діапазону застосувань, а також і для зміцнення поршневих кілець двигунів внутрішнього згоряння, схильних до інтенсивних навантажень і зносу під час роботи.

На підставі розглянутих відомостей, даних, проміжних власних суджень автором були сформульовані мета, завдання дослідження, які дозволили отримати адекватні результати.

У другому розділі «Методи і методики досліджень зносостійкості маслоснімних поршневих кілець двигунів» автором для досліджень було використано метод планування експерименту з побудовою лінійних рівнянь регресії з чотирма рівнями значень змінних факторів (план експерименту – 22). Побудовано два рівняння регресії. За результатами їх аналізу автором встановлено, що на мікротвердість і швидкість зношування багатошарового іонно-плазмового покриття найбільший вплив, разом з іншими факторами, справляє концентрація Ti. Тому автор визначав оптимальне співвідношення зміцнювальних елементів покриття для забезпечення високої зносостійкості. Зміцнюєче покриття TiN/CrN автор наносив на устаткуванні «Булат-6» зі співвідношеннями Ti/Cr=0,17, Ti/Cr=0,27 та Ti/Cr=0,40. Він зміцнював поршневі кільця, виготовлені із сірого чавуну. Відповідно до технічних вимог до матеріалу їх виготовляли по Д100.04.ДТ61 для двигунів техніки спеціального призначення. Такі поршневі кільця мали наступний хімічний склад, %: C = 2,6–3,1; Si = 1,4–1,9; Mn = 1,0–1,5; P = 0,3–0,5; Cr≤0,3; Ni≤0,6; S≤0,1; Ti = 0,04–0,12; Fe – інше. У разі застосування серійної технології виготовлення таких кілець передбачено нанесення на їх робочу зону покриття оловом для прискореного припрацювання. Іонно-плазмове зміцнення виключало використання покриття оловом. Процес осадження покриття здійснювали за умов струму дуги $I_d = 100$ А і при напрузі зсуву підкладки $U_{см} = -200$ В. По черзі наносили 6 шарів CrN і 5 – TiN, попередньо розпорошивши підшар на метал поршневого кільця чистого Cr товщиною ~50 нм. При цьому товщина 1-го шару TiN становила 50 нм, а CrN – 240 нм за співвідношення Ti/Cr=0,17. Для співвідношення Ti/Cr=0,27 товщина шару TiN становила 90 нм, а CrN – 200 нм. Для співвідношення Ti/Cr=0,40, товщина шару TiN становила 140 нм, а CrN – 170 нм. Загальна товщина багатошарового покриття для всіх варіантів співвідношення досягала 1,7

мкм. Оцінку показників зносостійкості автор проводив на основі стендових випробувань на тертя та зношування. Детально випробування виконувалось за двох швидкостей ковзання: 1,0 і 1,3 м/с. Для детального аналізу процесів, що відбуваються на поверхні тертя, використовували вдосконалену методику оптико-математичного опису змін на поверхні тертя з одночасним визначенням хімічного складу в різних зонах тертя, що дозволить встановити кінетику розвитку змінності стану системи. Така методика полягала в оцінках масиву зображень похилої зони і поверхні тертя, що відносяться до певних інтервалів абсолютних величин лапласіанів і дивергенцій. Їх фізична суть полягає в описі дифузійних потоків і такого показника як щільність фрагмента зображення, що характеризують різні зони тертя.

В цілому сукупність наведеної інформації розкриває особливості методичного забезпечення теоретичних і експериментальних досліджень автора наукової праці.

У третьому розділі «Експериментальні результати досліджень трибологічних характеристик поршневих кілець, зміцнених багат шаровою нанозміцнюючою композицією TiN/CrN» наведено експериментальні дослідження автора. Перед і після нанесення багат шарового покриття TiN/CrN з різним співвідношенням Ti/Cr (0,17, 0,27 та 0,40) на поршневі кільця автор проводив, за спеціальною схемою, визначення і фіксацію показників коерцитивної сили, яка характеризує рівень напруженого стану. Вимірювання виявило, що у випадку нанесення зміцнюючого покриття змінюється не тільки рівень напружень в середньому, до 3,1 %, але і величина замку кільця – на 17,24 %, що не відповідає вимогам нормативно-технічної документації. За швидкості ковзання 1,0 м/с встановлено, що зношування зміцнених поршневих кілець зі співвідношенням Ti/Cr=0,17 зменшується до 12,2 раза, а висота зон тертя нижчою в 4 рази відносно серійного варіанта.

Автор встановив, що співвідношення Ti/Cr=0,27 та Ti/Cr=0,40 забезпечують зниження зношування в 3,4 раза та на 47 % у порівнянні з серійним варіантом. При цьому коефіцієнт тертя за співвідношення Ti/Cr=0,17 і такої швидкості випробувань знижується утричі. Випробуваннями на знос поршневих кілець у парі з гільзою виявлено, що використанням для зміцнення багат шарового покриття TiN/CrN не тільки підвищується їх експлуатаційна стійкість, але й нівелюється зношування сполученої деталі. Так, підвищений знос є характерним для гільз, що працюють у парі зі зміцненими кільцями – в період припрацювання. В цьому випадку знос є вищим у 3 рази при Ti/Cr=0,17 та 0,27, і в 3,9 раза – при Ti/Cr=0,40, в порівнянні з гільзою циліндрів, що випробовувалась із

серійними кільцями. Однак вже на другому етапі випробувань ваговий знос гільзи, яка працювала в парі із зміцненими кільцями (при $Ti/Cr=0,17$), знижується, в порівнянні із серійними на 43 %, а на третьому – на 29 %. Співвідношення елементів покриття $Ti/Cr=0,27$ та $Ti/Cr=0,40$ характеризуються більшим рівнем зносу гільз на 2-му і 3-му етапах у порівнянні із трибосистемою «гільза–серійне кільце» – в діапазоні від 21 % та 55 %.

В цілому сукупність наведеної інформації розкриває заявлені автором підходи щодо експериментальних досліджень трибологічних характеристик поршневих кілець, зміцнених багатошаровою нанозміцнювальною композицією TiN/CrN .

У четвертому розділі «Порівняльний аналіз результатів експериментальних досліджень поршневих кілець, зміцнених за різних співвідношень Ti/Cr » автором було проведено аналіз впливу мінливості швидкості ковзання поршневого кільця на показники структурних змін у процесі експлуатації. Автор дисертаційної роботи проаналізував вплив швидкості їх ковзання від 0,7 до 1,6 м/с на зношування, структуроутворення і розвиток дифузійних процесів. Виконав порівняльну оцінку вихідних і зміцнених поршневих кілець багатошаровим нанопокриттям TiN/CrN , яка показала, що незалежно від швидкості ковзання виявляється багаторазове підвищення зносостійкості останніх. Особливий інтерес автора викликали швидкості ковзання в інтервалі 1,0–1,3 м/с, які супроводжуються змінністю компонентів та істотною зміною зносу за різного шляху тертя. За всі періоди випробувань сумарна швидкість зношування гільз циліндрів, що працювали у трибосистемі зі зміцненими кільцями (у випадку співвідношення елементів покриття $Ti/Cr=0,17$), на 6 % нижче за швидкості 1,3 м/с, в порівнянні із серійними. Сумарна швидкість зношування гільз циліндрів у трибосистемі зі зміцненими кільцями зі співвідношеннями $Ti/Cr=0,27$ та $Ti/Cr=0,40$ забезпечили більш низьку зносостійкість, порівняно зі співвідношенням $Ti/Cr=0,17$ – на 41 % та у 2 рази відповідно. Сумарна швидкість зношування гільз циліндрів, що випробовувалися в парі зі зміцненими кільцями ($Ti/Cr=0,17$), в 2,7 рази вище, в порівнянні із серійними. Підвищену швидкість зношування зафіксовано в період припрацювання. Однак вже на другому етапі випробувань автор встановив, що за цієї ж швидкості ковзання зношування гільзи, яка працювала в парі зі зміцненими кільцями (при $Ti/Cr=0,17$), знижується, в порівнянні із серійними, на 43 %, а на третьому – на 29 %. Сумарна швидкість зношування гільз циліндрів в трибосистемі зі зміцненими кільцями зі співвідношеннями $Ti/Cr=0,27$ та $Ti/Cr=0,40$ забезпечили дещо нижчу зносостійкість, порівняно зі співвідношенням

Ti/Cr=0,17 – на 11,6 % та на 27 % відповідно. За швидкості ковзання 1,3 м/с сумарна швидкість зношування є найнижчою у співвідношенні Ti/Cr=0,17 – в 12,3 раза по відношенню до серійних кілець, і на 43 % та в 3,7 разів порівняно зі співвідношеннями компонентів іонно-плазмового покриття Ti/Cr=0,27 та Ti/Cr=0,40 відповідно. За швидкості ковзання 1,0 м/с сумарна швидкість зношування також є найнижчою у співвідношення Ti/Cr=0,17 – в 6,4 раза по відношенню до серійних кілець, і у 2 рази та у 3,8 раза – порівняно зі співвідношеннями компонентів іонно-плазмового покриття Ti/Cr=0,27 та Ti/Cr=0,40 відповідно. При цьому збільшення висоти робочих поверхонь вихідних кілець зростає на 20 %, а зміцнених лише – на 5 %. Спостережуване є результатом зниження пластичної деформації в разі зміцнення поверхні наноструктурним багатшаровим покриттям, що підвищує їх довговічність. За результатами випробувань співвідношення покриття Ti/Cr=0,17 можна вважати оптимальним для забезпечення високої зносостійкості кільця.

Розділ за наведеною інформацією представляється змістовним і завершеним.

У п'ятому розділі «Результати оцінки якості поверхонь тертя поршневих кілець оптико-математичним методом та економічна ефективність технології їх зміцнення» автором виконано теоретичну оцінку якості поверхні тертя у випадку нанесення багатшарового наноструктурного покриття TiN/CrN на поршневі кільця із сірого чавуну на основі поєднання електронномікроскопічних досліджень та нових підходів до оцінок показників зносостійкості з використанням оптико-математичного методу. На його основі автором роботи було розроблено спеціальну комп'ютерну програму для оцінки показників відносної нейтральності абсолютних величин лапласіанів і дивергенції, що описують процеси дифузії та змін щільності фрагментів відповідно. Завдяки попереднім дослідженням автором було визначено, що в даному випадку оцінювати процеси, які відбуваються в разі тертя і зношування, найбільш ефективно за допомогою розрахунків за п'ятиточковою різницею схеми осередку пікселів. Методом мікрорентгеноспектрального аналізу встановлено, що зона стиснення формується за рахунок переміщення твердих зміцнюючих фаз TiN і CrN, які досить рівномірно в них розподіляються: 14,27–15,67 % і 51,58–60,45 % відповідно. Одночасно в зонах розтягнення частка цих фаз знижується в 2 і 3 рази відповідно. Разом з тим показано, що частка азоту не завжди змінюється відповідно до основних зміцнюючих компонентів Ti і Cr, і це дає підстави автору припускати можливість формування в зонах стиснення різних типів нітридів: Cr₂N, CrN і TiN_{1-x}, TiN. У зонах, прилеглих до

поверхні тертя, також відзначається процес структуризації з досить близьким вмістом зміцнюючих фаз. Використання іонно-плазмового зміцнення кілець виявило, що середні функції цих показників після експлуатації за швидкості ковзання 1,3 м/с навпаки, підвищуються відносно їх вихідного стану на 6–17%. Різниця між вихідним станом поверхні і після тертя серійного кільця (швидкість ковзання – 1,3 м/с) нижче, ніж у зміцненому варіанті за показниками перерахованих вище середніх функцій від 3,2 до 8,7 раза. Зазначені результати, які представлені в роботі, ще раз підтверджують, що серійні кільця схильні до істотно більшої пластичної деформації. Одночасно багатошарове іонно-плазмове зміцнення забезпечує мінімальні зміни на поверхні тертя після експлуатації.

В цілому наукова праця виглядає цілісною та логічно зв'язаною за змістом.

Характеристика дисертації в цілому

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, який містить 167 найменувань на 23 сторінках, і 3 додатків на 41 сторінці. Загальний обсяг дисертації складає 237 сторінок комп'ютерного набору, у тому числі обсяг основного тексту дисертації становить 185 сторінок, 63 рисунки і 16 таблиць.

Назва дисертаційної роботи відображає її зміст. Тематика та зміст дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.02.04 – тертя та зношування в машинах і відображають логічну послідовність вирішення науково-технічного завдання.

За результатами досліджень опубліковано 9 наукових праць (2 одноосібні), з них 6 статей – у фахових виданнях із переліку МОН України, з них 4 – в базі SCOPUS, 1 – у закордонному виданні, 4 являють собою публікації матеріалів і тез конференцій; отримано 4 патенти на корисну модель.

Дисертація відповідає правилам оформлення і містить багато ілюстрацій, структура роботи є логічною, підпорядкованою меті і задачам, які сформульовані у вступі. Оформлення і структура дисертації та автореферату відповідають вимогам до оформлення дисертацій, поданим у наказі МОН від 12.01.2017 року №40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертацій». Однак відповідно до нього є наступні технічні зауваження.

1. На стор. 20 другого абзацу дисертаційної роботи та стор. 1 автореферату містяться твердження, що «хромування потребують екологічного захисту працівників», що є невірним, бо під час хромування

захисту потребує працівники та навколишнє середовище від дії шкідливих та небезпечних факторів.

2. У практичній значущості отриманих результатів відсутня інформація про промислову апробацію технології зміцнення багат шаровим іонно-плазмовим покриттям TiN/CrN маслознімного поршневого кільця, яка підтверджується Додатком А, та інформація міститься у п. 8 висновків дисертаційної роботи.

3. У другому розділі дисертаційної роботи відсутня інформація про похибку приладів, які були використані під час експериментальних досліджень, а також відсутня інформація про довірчу ймовірність, оброблення отриманих результатів випробувань методом математичної статистики з використанням певного критерію.

4. Автором було розроблено спеціальну комп'ютерну програму, але її зміст не було представлено у додатках.

5. Не є зрозумілим, чому саме було обрано саме дві швидкості ковзання – 1,0 та 1,3 м/с, шлях тертя – 468 км. Чи відповідають вони натурним?

6. На стор. 5 дисертаційної роботи вказано, що «температура поверхні тертя досягала 70 °С», чи відповідає вона натурній?

7. На стор. 9 автор не зазначив, що праці, які додатково відображають наукові результати, є патентами на корисні моделі.

8. В дисертаційній роботі відсутній перелік умовних позначень, символів, визначень та скорочень.

9. У Вступі у другому абзаці міститься інформація про пробіг двигунів, низькі швидкості ковзання, яка не підтверджена літературними джерелами та не містить посилання на них.

10. Більшу частину огляду літературних джерел у першому розділі описано як власні здобутки, а не здобутки інших авторів.

11. Рис. 1.9 дифрактограми рентгенівських променів, рис. 1.11–1.13, рис. 1.15–1.17, рис. 1.19–1.24 містять іншомовні позначення параметрів, одиниць вимірювання.

12. Не є зрозумілим, чому саме автор обрав товщину покриття поршневих кілець 1,7 мкм?

13. Не є зрозумілим, яким чином були враховані нержавіючі властивості покриття, яке містить Cr, що впливає на точність вимірювання коерцитивної сили?

14. На рис. 5.6 та 5.7 відсутні позначення збільшення поверхонь тертя під електронним мікроскопом.

15. Не є зрозумілим, чому саме іонно-плазмове зміцнення виключало використання покриття оловом.

16. Не є зрозумілим, які характеристики визначав автор дисертаційної роботи для визначення якості маслознімних поршневих кілець, відповідно до існуючих стандартів.

17. У другому розділі дисертаційної роботи відсутні посилання на стандарти для проведення експериментальних досліджень.

Загальні висновки по дисертаційній роботі

Здобувачем вирішено актуальне наукове-практичне завдання з підвищення якості та триботехнічних властивостей робочої поверхні чавунних маслознімних поршневих кілець двигунів техніки спеціального призначення із сірого чавуну нанесенням іонно-плазмового багат шарового зміцнюючого покриття.

Результати досліджень, висновки і рекомендації являють собою цінність для науки «Трибологія», оскільки вони за своїм сенсом, виглядом та тлумаченням розширюють раніше встановлені закономірності. Зміст автореферату відповідає змісту дисертаційної роботи.

Недоліки, які відзначено в зауваженнях, не мають суттєвого впливу на якість виконаної роботи і скеровані на подальше її продовження з розширенням дослідження нових процесів, явищ та ефектів у трибосистемах об'єктів машинобудування.

Дисертаційна робота Мальцева Тараса Віталійовича є завершеною кваліфікаційною працею, актуальною за тематикою, виконаною на належному рівні.

В цілому робота за своїм змістом та важливістю отриманих результатів відповідає вимогам п.9, 11–13 документа «Про затвердження Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567 (із змінами в законодавстві 2015, 2016, 2019, 2020 років), що висуваються до кандидатських дисертацій, а її автор, Мальцев Тарас Віталійович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.02.04 – тертя та зношування в машинах (131 – Прикладна механіка).

Офіційний опонент, доцент
кафедри охорони праці та
техногенно-екологічної безпеки
Національного університету цивільного
захисту України,
к.т.н.

Підпис *Богдана Цимбал*

ЗАСВІДУ
УЧЕНИЙ СЕКРЕТАР КАТЕДРИ ПСИХОЛОГІЧНИХ
НАУК, СТАРШИЙ НАУКОВИЙ ПРАЦІВНИК
НАЧАЛЬНИК ПОБІДАШ

Богдан Цимбал

