

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора **Дихи Олександра Володимировича**,
завідувача кафедри зносостійкості і надійності машин Хмельницького
національного університету,

на дисертаційну роботу Циганова Володимира Васильовича **“Науково-методологічні засади формування зносостійких поверхонь деталей при багатокомпонентній термоконтактній дії”**, подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.04 – тертя та зношування в машинах.

Актуальність обраної теми досліджень та зв'язок її з науковими програмами, планами і темами

Підвищення зносостійкості контактних поверхонь пар тертя залишається однією з актуальних задач, які потребують особливої уваги, враховуючи багатофакторність фізико-механічних параметрів трибосистем.

Під факторами, що впливають на перебіг процесів зношування, розуміють динамічний характер навантажень в контактi, амплітуди взаємних переміщень, різні експлуатаційні температури, що створюють специфічні умови контактної взаємодії. При цьому велика частина трибоз'єднань експлуатуються з наявністю вібрацій у контактi, що діють у різних напрямках – працюють в умовах багатокомпонентного динамічного навантаження: удар і проковзування в двох взаємно перпендикулярних напрямках з впливом як високих, так і мінусових температур. Такий комплекс умов навантаження викликає складний напружений стан поверхневих шарів контактуючих пар, що супроводжується відповідним механізмом зношування. Цим пояснюються обмежені можливості використання загальних положень теорій тертя, а також більшості результатів експериментальних досліджень.

Існуюча проблема розроблення науково-практичних основ підвищення довговічності трибоз'єднань, що експлуатуються за умов багатокомпонентного динамічного контактного навантаження і різних експлуатаційних температур вимагає комплексного підходу до її вирішення з проведенням досліджень процесів пошкоджуваності поверхонь тертя, вивчень спільного впливу на руйнування напруженого стану і температурних ефектів. Саме такі процеси були досліджені в даній роботі.

Важливість даного напрямку досліджень підкреслює і те, що основні етапи роботи виконувались в рамках робіт за господарчими договорами з підприємствами, держбюджетних науково-дослідних робіт на замовлення

МОН України, тематика яких відповідає обраному напрямку дисертації та проводилися у відповідності з державними науковими програмами за пріоритетним напрямком розвитку науки і техніки на 2014–2018 рр. затвердженими Постановою НАН України № 179 від 20.12.2013 р., та створенням прогресивних прикладних розробок і технологій відповідно до Концепції розвитку НАН України на 2014–2023 рр.

З огляду на вищевказане, тематика дисертаційного дослідження Циганова В.В., яка присвячена вирішенню проблеми підвищення зносостійкості трибоз'єднань при багатоконтактній термоконтатній дії є актуальною як в науковому, так і в прикладному плані.

Наукова новизна дослідження й отриманих результатів.

- Запропонована нова концепція підвищення зносостійкості трибосистем, яка полягає в реалізації триботехнічного принципу мінімізації зношування на основі реологічного явища структурно-енергетичної адаптації матеріалів при терті з різними видами динамічного навантаження та температури середовища.

- Розкрито і обґрунтовано механізм зношування трибоз'єднань при підвищенні складності навантаження, особливостями якого є: підвищення однорідності поверхневого шару; зниження міцності; зменшення величини рівноважної шорсткості; збільшення інтенсивності екзоелектронної емісії поверхні.

- Отримали подальший розвиток принципи моделювання трибологічних пар з урахуванням трибологічних, кінематичних, навантажувальних, металофізичних та фізико-механічних критеріїв багатоконтактного навантаження.

- Вперше розроблені моделі зношування трибоз'єднань з наявністю у зоні контакту вільних макрорадикалів і змащувально-охолоджувальної рідини.

- На основі трибодіагностики впливу вільних макрорадикалів на процеси обробки гранульованим абразивним матеріалом розвинута методологія підвищення ефективності фінішної абразивної обробки.

Загальна характеристика дисертаційної роботи.

Представлена дисертаційна робота складається з вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел і додатків.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми виконаної роботи, визначено мету та основні задачі досліджень, сформульовано наукову новизну і практичну цінність одержаних результатів, вказано дані про апробацію основних положень дисертації.

У **першому** розділі наведено аналіз сучасного стану наукової проблеми, яку досліджує автор у дисертації. Зокрема розглянуто вузли машин та механізмів і запропоновано класифікацією трибосистем за видами багатокомпонентного термомеханічного навантаження. Вказано, що для розв'язання проблеми, яка розглядається, необхідний комплексний підхід: аналізу напружено-деформованого і температурного стану поверхневого шару, встановлення фізичних закономірностей зношування, випробування трибологічних властивостей різних матеріалів в умовах, що досліджуються та розробки ефективних технологій підвищення зносостійкості.

В цілому, матеріал, що викладений в цьому розділі, достатньо повний та відбиває сучасний стан проблем, що розглядаються в роботі.

Другий розділ роботи присвячений моделюванню процесів зношування трибоз'єднань, які експлуатуються при багатокомпонентній термоконтатній дії. Представлено розроблений комплекс експериментального устаткування. Описано комплекс сучасних методів оцінки мікрогеометрії поверхні і структурного стану поверхневого шару зразків після випробувань, а також методики зміни умов контактування та руйнування поверхневого шару при дослідженнях. Для дослідження зношування поверхонь зразків за умови удару і ковзання у двох взаємно перпендикулярних напрямках використані оригінальні за будовою і принципом дії випробувальні установки та стенди.

У **третьому розділі** автор виклав результати досліджень процесів зношування при термодинамічних режимах навантаження. Визначено шлях тертя в трибоз'єднанні при трикомпонентному динамічному навантаженні та розглянуто контактну задачу механіки руйнування трибоз'єднань, які експлуатуються в умовах багатокомпонентного термомеханічного навантаження. Досліджена зміна інтенсивності зношування від фізико-хімічних властивостей різних сталей і сплавів, складності динамічного навантаження в контакті та експлуатаційних температур трибоз'єднання. Показано, що ускладнення характеру навантаження зразків при терті призводить до збільшення зносу, як при позитивних, так і при мінусових температурах. Запропоновано для визначення механізму зношування контактуючих поверхонь провести дослідження трансформації структурного стану поверхневого шару за різними умовами контактування.

Четвертий розділ присвячений комплексним експериментальним дослідженням структурного стану та якості поверхневого шару деталей після контактування в умовах багатокомпонентного термомеханічного навантаження. В розділі отримано експериментальне підтвердження положення про те, що зносостійкість деталей трибоз'єднань, як при мінусових, так і нормальних температурах значною мірою залежить від стану поверхневого шару контактуючих деталей. Показано, що підвищений знос

відбувається у деталей з однорідним за величиною та міцністю фрагментів поверхневим шаром в межах статистично визначної базової довжини, який характеризується зниженням міцності, більш рівномірною мікрогеометрією поверхні, низькими значеннями величини і розкиду роботи виходу електрона по поверхні.

У п'ятому розділі сформульовані трибологічні принципи підвищення зносостійкості пар тертя за рахунок впливу умов навантаження на наноструктурні перетворення поверхневого шару за рахунок залежності пластичного деформування від орієнтації зерен в полікристалі, структурної перебудови за дослідженнями наукової школи В. В. Запорожця, ефекту хвиль солітонного типу при динамічному циклічному навантаженні та впливу на зносостійкість температурних чинників. В даному розділі також рекомендовані принципи моделювання трибопроцесів в зоні контакту інструменту і заготовки при обробці різання металів за раціоналізації технологічних режимів обробки та прогнозування впливу вільних радикалів в зоні контакту на зносостійкість за умови використання за дослідженнями В.Д. Євдокимова поверхнево активних мастильно-охолджувальних середовищ при різанні.

Шостий розділ роботи відображає результати розробки і практичної реалізації методів забезпечення підвищення довговічності трибоз'єднань, що експлуатуються за умов багатоконпонентного динамічного контактного навантаження і різних експлуатаційних температур. Запропоновано алгоритм керування зносостійкістю трибоз'єднань, способи визначення зносостійкості сталей і сплавів на основі показників структурної однорідності поверхневого шару, спеціальні конструкції інструменту для проведення прискорених випробувань на зносостійкість ріжучої ланки пильного ланцюга, пристрій для зменшення вібрацій ріжучого інструменту. Показана можливість керування трибологічними властивостями зони контакту трибоз'єднань дією вільних макрорадикалів, ефективність фінішної обробки металів з використанням гранульованого абразивного матеріалу. Рекомендовані методи інженерії поверхні трибоз'єднань багатоконпонентного навантаження, розроблена концепція зносостійкого матеріалу у формі шаруватої композиційної структури.

У висновках викладені найбільш важливі наукові і практичні результати, одержані в дисертаційному дослідженні.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність і новизна

Обґрунтованість представлених у дисертаційній роботі Циганова В.В. наукових положень, висновків і рекомендацій полягає перш за все у комплексному підході до вирішення поставлених наукових задач, який

включає використання експериментальних даних при побудові методів і моделей. Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи ґрунтуються на всебічному аналізі отриманих результатів та використанні наукових положень сучасної теорії і практики тертя на зношування, надійності машин. Враховуючи вищевказане, обґрунтованість викладених в роботі положень не викликає сумніву.

До найвагоміших науково-практичних результатів, отриманих в роботі, слід віднести:

- узагальнення та встановлення ступеню впливу основних параметрів багатокомпонентного динамічного навантаження на закономірності тертя і зношування;

- удосконалену модель структурної організації і руйнування поверхні при терті з багатокомпонентним динамічним навантаженням з урахуванням динаміки навантаження, структурного та енергетичного стану поверхневих шарів, мікрогеометрії поверхні та деструкційних процесів;

- розроблену методологію прискореної оцінки зносостійкості поступальних пар з періодичним ударним розривом контакту (типу «напрямна-ланцюг») і трибоз'єднань «деталь-ріжучий інструмент» з урахуванням умов багатокомпонентного навантаження;

- запропонована модель зношування трибоз'єднань з наявністю у зоні контакту вільних макрорадикалів та запропоновані науково обґрунтовані методи інженерії поверхні для керування зносостійкістю трибоз'єднань при багатокомпонентній термоконтактній дії.

Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях.

Матеріали дисертації достатньо повно викладені в 49 публікаціях (з них 9 одноосібних). В тому числі одна монографія, статей – 30 (6 з них в зарубіжних виданнях), патентів України – 18, а також у тезах конференцій. Всі вимоги положень ДАК МОН України щодо наукових публікацій витримано. Зміст автореферату достатньо повно відображає зміст і результати дисертаційної роботи.

Зауваження до дисертації

1. У розділі 1 дисертації наведено аналіз роботи великої кількості трибовузлів різних машин та механізмів, що має інформативний характер та неаргументовано збільшує обсяг роботи. Необхідно було в огляді літератури більш стисло і чітко представити критичну складову, яка дозволяє оцінити необхідність досліджень з точки зору вирішення невирішених іншими дослідниками частин проблеми.

2. У розділі 2 слід було б детальніше провести аналіз існуючих методів, які можливо було використати для визначення особливостей структурного стану поверхневого шару зразків після тертя.

3. В таблиці 2.1 (с.95) відсутнє позначення вуглецю (0,58 %) в хімічному складі, а в таблиці 2.2 не вказана розмірність ударної в'язкості (використано старе позначення a_n , нове – КСУ) сталі 60С2А.

4. У 3 розділі для аналізу впливу умов складного динамічного навантаження на зносостійкість трибоз'єднань вибрано залежність інтенсивності зношування від амплітуди поперечних проковзувань при зношуванні зразків різних матеріалів, але не наведено пояснень, чому саме ці залежності було обрано для аналізу.

5. Дослідження ступеню впливу багатокomпонентного навантаження на інтенсивність зношування наведених матеріалів (п. 3.2) проведені за амплітуд ковзання 0,05...0,2 мм (табл. 3.4; 3.5). Такі умови роботи можуть призвести до активізації фретинг-процесів, потрібно було проаналізувати такий можливий механізм зношування.

6. В розділі 4 для оцінки розкиду сили тертя використовується залежність дисперсії від амплітуди проковзування (рис. 4.5, 4.8.), при цьому розмірність дисперсії на графіках не вказана. Але оскільки розмірність дисперсії дорівнює квадрату розмірності самої випадкової величини, використовувати дисперсію для відносної оцінки випадкової величини не рекомендується.

7. При аналізі результатів дослідження структурного стану поверхневого шару, необхідно було привести мікроструктуру поверхневого шару до зношування для зручності порівняльного аналізу.

8. Наведений в 5 розділі детальний опис технології виготовлення спеціального гранульованого матеріалу на основі поліакрилату доцільно було навести в додатках до роботи.

9. Також у розділі 5 недостатньо приділено уваги обґрунтуванню вибору методу впливу на структурний стан поверхневого шару впровадженням вільних макроадикалів у зону контакту.

10. У розділі 6 декілька представлених результатів досліджень не достатню аргументовано пов'язано з методологією інженерії поверхні, їх доцільно було б надати у окремому розділі. Рекомендований метод фінішної обробки гранульованим абразивним матеріалом з вмістом ацетону погіршує санітарно-екологічні умови обробки.

11. Окремі висновки по розділах носять декларативний характер, тобто у формі анотації перераховується те, що зроблено в дисертації. Має місце дублювання у висновках пунктів наукової новизни.

12. У тексті дисертаційної роботи мають місце деякі описки та повтори.

Наведені зауваження дещо знижують якість викладеного матеріалу, але по суті не впливають на загальні висновки, наукову новизну і практичну цінність дисертаційного дослідження.

Загальний висновок

Представлені в дисертаційній роботі нові науково підтверджені результати дозволяють зробити обґрунтований висновок, що вони, в сукупності, складають вагомий внесок в розвиток науки про тертя і зношування та ефективно дозволяють вирішувати важливу науково-прикладну проблему підвищення зносостійкості трибоз'єднань при багатокомпонентній термоконтактній дії.

Дисертаційна робота В.В. Циганова відповідає вимогам, що висуваються до докторських дисертацій згідно з пп. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567.

У зв'язку з вищенаведеним вважаю, що дисертація за актуальністю, новизною теоретичних та експериментальних результатів, високим рівнем проведених досліджень відповідає вимогам ДАК МОН України до докторських дисертацій з технічних наук, а її автор Циганов Володимир Васильович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.04 – тертя та зношування в машинах.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри зносостійкості
і надійності машин Хмельницького
національного університету

Диха О.В.

Підпис завідувача кафедри зносостійкості машин, д.т.н. Дихи О.В.
засвідчую:

Учений секретар Хмельницького національного університету,

к.т.н., доцент



Тебляшкіна Л.І.

24 квітня 2017р.

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Циганова Володимира Васильовича на тему “Науково-методологічні засади формування зносостійких поверхонь деталей при багатокомпонентній термоконтатній дії”, подану до захисту у спеціалізовану вчену раду Д 26.062.06 в Національному авіаційному університеті на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.04 – тертя та зношування в машинах

Актуальність обраної теми досліджень та зв'язок її з науковими програмами, планами і темами

Подальший розвиток науки трибологія потребує розвитку сучасних підходів до розробки нових матеріалів, зносостійких покриттів, які дозволяють досягати аномально низьких значень зношування у трибосистемах відповідальних вузлів тертя авіакосмічної галузі та машинобудування. Ключовою проблемою для цих галузей є збільшення ресурсу прецизійних трибосистем.

Загальною проблемою є визначення механізму зношування та основ управління зносостійкістю трибосистем з динамікою навантаження та температурою середовища наближених до реальних умов експлуатації, особливо з урахуванням можливої наявності коливань які діють у різних напрямках у контакті поверхонь тертя. Вирішення цих задач значно стримується недосконалістю методів досліджень та використанням відповідної експериментальної бази.

Дисертаційна робота виконана згідно з основними науковими напрямами та проблемами фундаментальних досліджень у галузі технічних наук на 2014- 2018 рр. затвердженими Постановою НАН України № 179 від 20.12.2013 р., та створенням прогресивних прикладних розробок і технологій відповідно до Концепції розвитку НАН України на 2014–2023 рр. Дослідження виконані в межах наступних науково-дослідних робіт МОН України: ДБ 04123 2002-2004р. «Вплив умов тримірної навантаження на довговічність деталей трибоз'єднань», ДБ 03226 2006-2007р. "Принципи формування поверхневого шару деталей трибоз'єднань ГТУ за умов тримірної навантаження під час експлуатації та виготовлення", ДБ 01311 2011-2012р. «Зменшення зношення елементів складнонавантажених трибосистем методами, які охоплюють триботехнічне матеріалознавство та триботехнологію», ДБ 01313 2013-2014р. «Основи підвищення зносостійкості трибоз'єднань за рахунок оптимізації характеру складного термомеханічного навантаження» та робіт за господарчими договорами з підприємствами ДП ЗМКБ «Івченко-Прогрес» (м. Запоріжжя), «Салют» (м. Москва) та іншими, де здобувач був відповідальним виконавцем.

Із урахуванням викладеного можна зробити висновок, що дисертаційна робота де розроблено науково-практичні основи підвищення

довговічності трибосистем, що експлуатуються в умовах багатокомпонентного динамічного контактного навантаження і різних експлуатаційних температур, є актуальною.

Наукова новизна досліджень й отриманих результатів

При розробці наукової гіпотези структурної організації процесів контактної взаємодії на основі великої кількості літературних та інтернет-видань, автором була визначена можливість управління зносостійкістю трибоз'єднань при багатокомпонентному термомеханічному навантаженні. Встановлено ступінь впливу основних параметрів багатокомпонентного динамічного навантаження на закономірності тертя і зношування та показано, що багатокомпонентність динамічного навантаження ускладнює процеси контактної взаємодії, які не визначаються загальними теоретичними основами трибології та неоднозначно впливають на зносостійкість трибосистем.

Зроблено слушне припущення, щодо реалізації триботехнічного принципу мінімізації зношування матеріалів на основі використання реологічного явища структурно-енергетичної адаптації матеріалів при терті з різними видами динамічного навантаження та температури середовища. Такий підхід дозволив, автору роботи запропонувати умови формування зносостійкого поверхневого шару і методологію управління процесами структурної організації і руйнування поверхні при терті з багатокомпонентним динамічним навантаженням.

Для управління зносостійкістю трибосистем при багатокомпонентній термоконтактній дії автором запропоновано не тільки змінювати умови динамічного навантаження, але й використовувати методи інженерії поверхні. З цією метою показано перспективність застосування методів введення в зону контакту вільних макрорадикалів, створення поверхневого шару з різноорієнтованими кристалітами, градієнтним шаруватим покриттям.

Встановлено, що при підвищенні складності навантаження діє механізм зношування трибоз'єднань специфічними особливостями якого є: підвищення однорідності поверхневого шару (рівномірності та розміру фрагментів) в межах статистично визначної базової довжини; зниження міцності; зменшення величини і підвищення рівномірності рівноважної шорсткості поверхні; збільшення інтенсивності екзоелектронної емісії поверхні зі зниженням величини і розкиду роботи виходу електрона. Запропоновано алгоритм керування зносостійкістю трибосистем, що дозволяє формалізувати процедуру інтерпретації отриманих результатів величини зносу і стану поверхневого шару та обчислити логічні функції для оцінки зносостійкості і умов подальшої експлуатації трибосистем.

Викликають певний інтерес принципи трибодіагностики впливу вільних макрорадикалів на процеси контактування трибоз'єднань та розвинення на цій основі методології підвищення ефективності фінішної абразивної обробки з використанням гранульованого абразивного матеріалу.

Ступень обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи

Основні положення, висновки та рекомендації отримані автором при вирішенні сформульованих наукових задач на основі глибокого та всебічного аналізу проблем галузі трибології, підходів створення зносостійкого поверхневого шару, використання сучасних методів оцінки зміни стану поверхневого шару поверхонь: трибоспектральний метод з аналізом трибограм під час сканування поверхневого шару індентором і метод аналізу електронної будови поверхневого шару металів на основі зміни роботи виходу вільних електронів. Методологія досліджень включала моделювання процесів контактної взаємодії в трибоз'єднаннях з вивченням закономірностей зношування матеріалів деталей пар тертя як при роздільному, так і комплексному впливі навантажувальних параметрів за допомогою створеного спеціального устаткування та встановлення закономірностей зміни якості поверхневого шару матеріалів у зоні контакту, що дає підстави вважати наведені наукові результати достовірними та обґрунтованими.

Структура, зміст й оформлення дисертації

Дисертаційна робота виконана у вигляді рукопису, що має 401 сторінок тексту; з них 100 рисунків, 36 таблиць, 53 сторінки додатка та складається з вступу, шести розділів, списку використаних джерел з 205 найменувань.

Основна частина дисертаційної роботи побудована у наступній послідовності.

У першому розділі дисертації проведено аналіз літературних даних і інтернет-джерел за темою дисертаційної роботи та обґрунтовано завдання дослідження.

Показано, що велика частина трибосистем різних машин і механізмів в процесі експлуатації перебувають в умовах трикомпонентного динамічного навантаження (удар і проковзування в двох взаємно перпендикулярних напрямках), у зв'язку з функціональними взаємними переміщеннями у різних напрямках, наявністю вібрацій або їх комбінаціями. Але більшість авторів досліджували процеси тертя та зношування в умовах однонаправленого тертя ковзання, або реверсивного тертя (без розриву контакту) і майже не враховується динамічний характер контактного навантаження, який прикладається нормально до поверхні тертя, та можливість одночасного проковзування у різних напрямках, впливу експлуатаційних температур. Нехтування складністю комплексів чинників навантаження призводить до спотворення результатів досліджень і створення картини процесу зношування, яке мало відповідає реальному процесу.

Обґрунтовано необхідність дослідження впливу чинників навантаження на зносостійкість трибоз'єднань з урахуванням структурної зміни поверхневого шару.

У *другому розділі* дисертаційної роботи проведено методичне обґрунтування досліджень трибосистем при багатокомпонентному динамічному навантаженні, що полягає в особливостях динамічного навантаження, у кінематиці руху (проковзуванні, ударі із наступним проковзуванням, ударі з проковзуванням в двох взаємно перпендикулярних напрямках), у впливі температури навколишнього середовища. Описано розроблений комплекс експериментального устаткування. Показано методику досліджень зносостійкості матеріалів та оцінки мікрогеометрії поверхні і стану поверхневого шару зразків після випробувань.

У *третьому розділі* представлено дослідження процесу зношування трибосистем при динамічних режимах навантаження. Розглянуто елементи контактної задачі механіки руйнування трибосистем, які експлуатуються в умовах багатокомпонентного термомеханічного навантаження. Показано складність процесів руйнування та неможливість їх охопити в умовах багатокомпонентного навантаження в рамках єдиної теорії.

Встановлено відповідність між складністю динамічного навантаження в контакті трибосистеми та зносостійкістю металів. Розглянуто зміну зносостійкості металів в умовах проковзування, удару з проковзуванням або удару з проковзуванням в двох взаємно перпендикулярних напрямках. Ускладнення характеру навантаження зразків при терті призводить до збільшення зносу, як при позитивних, так і при мінусових температурах.

Це стало основою визначення механізму самовпорядкування трибосистеми з врахуванням структурних змін поверхневого шару.

У *четвертому розділі* дисертаційної роботи представлено результати досліджень структурного стану та якості поверхневого шару деталей після контактування в умовах багатокомпонентного термомеханічного навантаження.

Вказано на те, що зносостійкість деталей трибоз'єднань значною мірою залежить від стану поверхневого шару контактуючих деталей. Підвищений знос відбувається у деталей з рівномірним зниженою міцності поверхневим шаром, що супроводжується зменшенням шорсткості та підвищенням однотонності мікрогеометрії поверхні. Визначено, що стан поверхневого шару зразків після тертя з різними умовами динамічного навантаження при мінусових температурах узгоджуються з експериментами за оцінкою співвідношення механічних властивостей, параметрів структури і зносостійкості за нормальних температур.

При цьому в процесі досліджень застосовувався комплекс сучасних методів оцінки мікрогеометрії поверхні і стану поверхневого шару зразків після випробувань. Для оцінки зміни стану поверхневого шару в роботі використовувався трибоспектральний метод і метод аналізу електронної будови поверхневого шару металів на основі зміни роботи виходу вільних електронів.

П'ятий розділ роботи присвячено аналізу експериментальних досліджень процесу самоорганізації трибологічних систем за рахунок текстурування поверхневих об'ємів металу з визначенням природи

руйнування деталей трибоз'єднань. Особливу увагу приділено моделі структурної організації і руйнування поверхневого шару при терті та моделі руйнування металів в умовах багатокomпонентного термомеханічного навантаження. При цьому структурна організація і руйнування поверхневого шару представляється на основі зміни розміру та міцності випадково розташованих фрагментів (кристалітів).

Показано, що знос металорізального інструменту і формування поверхневого шару деталі при різанні відбувається при реалізації розглянутої структурної адаптації в умовах багатокomпонентного навантаження. Отримані результати використані автором при розробці методики керування однорідністю структурного стану обробленого поверхневого шару і його зносостійкістю під час застосування у зоні різання вільних макрорадикалів, що виникають в результаті термомеханічної деструкції полімеру. Ефективність цієї розробки підтверджена патентами на корисну модель виготовлення та використання спеціального гранульованого абразивного матеріалу.

У шостому розділі дисертації викладені прикладні основи інженерії поверхні трибосистем при багатокomпонентному навантаженні, що полягають в створенні зносостійкого поверхневого шару при виготовленні і експлуатації за рахунок урахування і керування розглянутими технологічними і експлуатаційними факторами. Запропоновані конструкторсько-технологічні рекомендації по підвищенню зносостійкості деталей машин і механізмів. Розроблено алгоритм керування зносостійкістю трибосистем, що дозволяє формалізувати процедуру інтерпретації отриманих результатів величини зносу і стану поверхневого шару.

Запропоновано способи визначення зносостійкості сталей і сплавів, розроблені дві спеціальні конструкції інструменту для проведення прискорених випробувань на зносостійкість ріжучої ланки пильного ланцюга, пристрій для зменшення вібрацій ріжучого інструменту.

Показана можливість керування трибологічними властивостями зони контакту трибосистем дією вільних макрорадикалів. Встановлено, що тертя з введенням в зону контакту розчину поліметилметакрилату в ацетоні (отримання вільних макрорадикалів внаслідок термомеханічної деструкції полімеру) супроводжується суттєвим збільшенням інтенсивності зношування при зниженні майже в два рази як сили тертя проковзування, так і спокою. Запропоновано метод фінішної обробки металів з використанням гранульованого абразивного матеріалу зі зв'язувальним матеріалом з поліметилметакрилату.

Зроблено висновок про можливість отримання необхідного зносостійкого структурного стану поверхневого шару деталей трибосистем різними методами інженерії поверхні. Розроблена концепція зносостійкого матеріалу у формі шаруватої композиційної структури для трибосистем з багатокomпонентним навантаженням.

У додатку приведені результати моделювання зносостійкості, властивостей поверхневого шару трибосистем в умовах, що досліджуються, а також акти про впровадження і використання результатів досліджень.

Основні наукові положення і висновки дисертації

Значимим для науки є те, що автором для вирішення важливої науково-технічної проблеми підвищення зносостійкості трибосистем, що експлуатуються при багатокомпонентному навантаженні використано комплексний підхід, який дозволив на основі теоретичних і експериментальних досліджень визначити вплив чинників навантаження на структурний стан поверхневого шару та його зносостійкість.

Такий підхід забезпечив отримання наступних практичних результатів. Розроблена методологія прискорених випробувань трибоз'єднань в умовах багатокомпонентного динамічного навантаження та методи визначення зносостійкості трибоз'єднань на основі оцінки стану поверхневого шару деталей після тертя із застосуванням трибоспектрального методу і по зміні величини роботи виходу електрона.

Це дозволило автору розробити рекомендації підвищення зносостійкості трибоз'єднань, що базуються на створенні відповідних характеристик поверхневого шару і зміні параметрів навантаження матеріалу. Представлені методологічні принципи інженерії поверхні підвищеної зносостійкості для трибоз'єднань багатокомпонентного контактного навантаження, розроблені інструменти стрижневого і дискового типів для прискорених випробувань на зносостійкість ріжучих ланок пильного ланцюга, що дозволяє до двадцяти разів знизити час випробувань та пристрій, який дозволяє зменшити до 20% вібрації і підвищити зносостійкість ріжучого інструменту за рахунок використання спеціальних демпфіруючих пластин. Запропонована методика керування однорідністю структурного стану обробленого поверхневого шару і його зносостійкістю за рахунок зміни умів обробки і наявності вільних макрорадикалів в зоні контакту інструменту і заготовки.

Наукові рекомендації з отримання зносостійкого ультрадисперсного наноструктурного поверхневого шару деталей трибосистем в залежності від умов контактування та виготовлення впроваджені на підприємствах. Практичне значення досягнутих результатів підтверджено актами впровадження та актами випробувань, наведених у додатку.

Зміст дисертації та її завершеність в цілому

Дисертація містить шість розділів, загальні висновки, список використаних джерел, додатки. Робота викладена технічно-грамотною і зрозумілою мовою з фотографіями, графіками, схемами і рисунками, які підтверджують вирішення поставлених завдань. Оцінюючи викладення матеріалу можна зробити висновок, що всі поставлені завдання в першому розділі дисертації вирішені в наступних розділах і знайшли повне

відображення в висновках. За обсягом виконаних досліджень роботу можна вважати завершеною, яка має наукову новизну та практичну значимість.

Зміст автореферату дисертації відповідає змісту дисертації.

Повнота викладення основних результатів дисертаційної роботи у опублікованих наукових роботах

Основні наукові розробки та досягнення, зроблені здобувачем в ході роботи над дисертацією, достатньо повно представлені в опублікованих у спеціалізованих виданнях наукових працях. За темою дисертаційної роботи надруковано 59 праць (з них 9 самостійних), зокрема монографій – 1, статей – 30 (6 в зарубіжних виданнях), патентів України та тез конференцій. Результати роботи доповідалися і пройшли обговорення на двадцяти трьох міжнародних конференціях. Вісімнадцять патентів на винахід захищають авторське право розробок здобувача.

Матеріали кандидатської дисертації автора "Трибодіагностика якості поверхні нержавіючих сталей при фінішній абразивній обробці" за спеціальністю 05.02.04 – тертя та зношування в машинах та 05.03.01 – процеси механічної і фізико-хімічної обробки, верстати та інструмент не використовувалися при написанні цієї докторської дисертаційної роботи.

Зауваження по дисертаційній роботі

За змістом дисертаційної роботи слід зробити такі зауваження:

1. У розділі 1 дисертації автором було приділено багато уваги аналізу умов експлуатації різноманітних деталей, які навіть не планувалося розглядати та використовувати у роботі.

2. У розділі 2 автором представлено використані ефективні методи визначення структурного стану поверхневого шару: трибоспектральний метод та по зміні величини роботи виходу електрона, але теоретично не обґрунтована необхідність їх використання порівняно з іншими методами, які можливо було застосувати у роботі.

3. У розділі 3 описується підхід до установаження зв'язку між інтенсивністю зношування та умовами динамічного навантаження у зоні контакту. Наведено графічні залежності (рис. 3.4 – 3.11). Однак, можливо слід було б показати залежності отримані для інших матеріалів.

4. У цьому ж розділі при аналізі контактної задачі механіки руйнування трибоз'єднань отримані результати слід було би пов'язати із приведеними дослідженнями інтенсивності зношування за різними умовами динамічного навантаження. У цьому випадку ці результати мали б більш високе практичне значення.

5. У розділі 4 на основі аналізу структурного стану поверхневого шару після тертя з різним динамічним навантаженням вказується на розбіжності у механізмі зношування титанових сплавів та сталей (с. 175). В той же час не достатньо акцентовано в чому полягають ці розбіжності.

6. У 5 розділі у підрозділах 5.1.2 та 5.1.3 приведено модель структурної організації і руйнування поверхневого шару при терті та модель

руйнування металів в умовах багатокомпонентного термомеханічного навантаження. При цьому не наведено глибокого аналізу існуючих моделей та в чому полягає їх відмінність від запропонованих, що зменшує цінність виконаної роботи.

7. У цьому ж розділі руйнування поверхні металів при терті пов'язується з формуванням структурного поверхневого шару та пояснюється наявністю різної щільності дислокацій. Однак, в роботі відсутні данні з визначення щільності дислокацій.

8. У 6 розділі на рисунку 6.1 вказані не триботехнічні основи підвищення зносостійкості деталей трибоз'єднань, а чинники, які впливають на зносостійкість. З рисунку не зрозуміло, як необхідно їх змінювати, або яка необхідна комбінація цих чинників для отримання підвищеної зносостійкості деталей.

9. У підрозділі 6.2 не просліджується логічний зв'язок між назвою розділу 6 і змістом підрозділу. Наведено запатентовані способи визначення зносостійкості сталей і сплавів. Для чого тут методологія інженерії поверхні?

Загальний висновок по дисертаційній роботі

Дисертаційна робота “Науково-методологічні засади формування зносостійких поверхонь деталей при багатокомпонентній термоконтатній дії” є закінченою науково-дослідною роботою, що містить вирішення важливої науково-технічної проблеми розроблення науково-практичних основ підвищення довговічності трибосистем, що експлуатуються за умов багатокомпонентного динамічного контактного навантаження і різних експлуатаційних температур.

Ця робота дає змогу дослідити складні процеси структурування поверхневого шару трибосистем та дозволяє досягнути значних практичних результатів при використанні запропонованих конструкторсько-технологічних рекомендацій підвищення зносостійкості трибосистем в умовах контактування, що розглядаються.

Напрямок проведеного дослідження відповідає паспорту спеціальності 05.02.04 – тертя та зношування в машинах.

Дисертаційна робота Циганова Володимира Васильовича «Науково-методологічні засади формування зносостійких поверхонь деталей при багатокомпонентній термоконтатній дії» відповідає вимогам, які пред'являються ДАК МОН України до докторських дисертацій за спеціальністю 05.02.04 – тертя та зношування в машинах, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук.

Доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри транспортних технологій
і логістики Харківського національного
технічного університету сільського господарства
імені Петра Василенка



Войтов В. А.
Войтов В. А.
СВІДЧУЮ
Заступник відділу діловодства ХІТУСГ

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Циганова Володимира Васильовича
**"Науково-методологічні засади формування зносостійких поверхонь
деталей при багатокомпонентній термоконтактній дії",**
яку представлено на здобуття наукового ступеня доктора технічних
наук у спеціалізовану вчену раду Д 26.062.06 за спеціальністю
05.02.04 – тертя та зношування в машинах

Актуальність теми дисертації та зв'язок її з науковими програмами, планами і темами

Усунення наявного протиріччя оновлення парку техніки між необхідністю постійного оновлення парку техніки різного призначення, обмеженням фінансових можливостей і відсутністю науково-методологічного апарату дослідження зносостійкості поверхневого шару деталей трибоз'єднань, працюючих в умовах складного динамічного навантаження, висувають все більш високі вимоги до надійності конструктивних елементів, фізико-механічних і трибологічних властивостей та триботехнічних характеристик поверхонь їх деталей. В наслідок цього близько 80-90% відмов техніки відбувається в результаті контактної взаємодії під час експлуатації, а 30-40% дострокового знімання виробів з експлуатації зумовлено недостатньою міцністю поверхні деталей та їх низькою зносостійкістю, чому сприяють високі експлуатаційні навантаження.

Названа проблема вирішується шляхом пошуку, розробки та практичного використання інноваційних технологій керування функціональними властивостями деталей трибоз'єднань за рахунок цілеспрямованого створення зносостійких поверхневих шарів. При використанні таких технологій передусім необхідно обґрунтувати їх вибір, виходячи з визначення кола функціональних призначень, експериментальної перевірки та технологічної реалізації. Подібні завдання розв'язуються шляхом аналізу існуючих підходів та формування системних уявлень про закономірності і процеси, які відбуваються у поверхневих шарах контактуючих робочих поверхнях для різних умов багатокомпонентного навантаження, керування властивостями поверхневого шару з отриманням заданих триботехнічних характеристик та збільшення ресурсу деталей і вузлів тертя. Зазначене, безумовно свідчить про актуальність теми роботи.

Дисертаційна робота тісно пов'язана з основними науковими напрямами та проблемами фундаментальних досліджень у галузі технічних наук на 2014-2018 рр. затвердженою Постановою Національної академії наук

України № 179 від 20.12.2013 р., та створення прогресивних прикладних розробок і технологій відповідно до Концепції розвитку НАН України на 2014-2023 рр. Дослідження виконані в межах наступних науково-дослідних робіт: ДБ 04123 2002-2004р. "Вплив умов тримірного навантаження на довговічність деталей трибоз'єднань", ДБ 03226 2006-2007р. "Принципи формування поверхневого шару деталей трибоз'єднань ГТУ за умов тримірного навантаження під час експлуатації та виготовлення", ДБ 01311 2011-2012р. "Зменшення зношення елементів складнонавантажених трибосистем методами, які охоплюють триботехнічне матеріалознавство та триботехнологію", ДБ 01313 2013–2014р. "Основи підвищення зносостійкості трибоз'єднань за рахунок оптимізації характеру складного термомеханічного навантаження".

Загальна характеристика дисертаційної роботи

Представлена дисертаційна робота складається з вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаної літератури з 205 найменувань і 4 додатки. Загальний обсяг дисертації включає 401 сторінку, містить 100 рисунків, 36 таблиць.

У вступі відображено основні дані, що характеризують роботу: актуальність теми, зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, мета та завдання дослідження, наукова новизна і практичне значення одержаних результатів, особистий внесок здобувача, апробація та публікації результатів роботи, структура та обсяг дисертації.

У першому розділі наведені результати аналітичного огляду літературних джерел за темою дисертаційної роботи, зокрема пов'язаних із дослідженням стану проблеми підвищення зносостійкості деталей і вузлів машин та механізмів, які експлуатуються в умовах багатоконпонентної термоконтактної дії. За результатами цього розділу сформульовано наукову проблему, що вирішувалась в дисертації, визначено її мету, а також поставлено завдання, які розв'язувались для досягнення цієї мети.

У другому розділі наведені методологічні основи досліджень зносостійкості поверхонь трибоз'єднань, які базуються на застосуванні системного підходу до вирішення наукової проблеми. Передбачено аналіз складових системи, формування стратегій вибору, методики моделювання досліджень зносостійкості, структурного стану поверхневого шару та методики визначення впливу вільних макрорадикалів на трибологічні процеси у контакті трибоз'єднань. Приведено розроблений комплекс експериментального устаткування для дослідження зносостійкості трибоз'єднань в умовах багатоконпонентного термомеханічного навантаження.

У третьому розділі дано результати досліджень процесів зношування при багатокомпонентному термомеханічному навантаженні.

Визначено шлях тертя в трибоз'єднанні при трикомпонентному динамічному навантаженні, розглянуто контактну задачу механіки руйнування трибоз'єднань, встановлено закономірності зміни інтенсивності зношування різних сплавів і сталей від характеру динамічного навантаження в процесі тертя при додатних і від'ємних температурах, проаналізовано особливості зносу поступальних площинних пар IV класу з періодичним ударним розривом контакту, типу "напрямна-ланцюг" та трибоз'єднань "деталь-ріжучий інструмент".

Встановлено, що ускладнення характеру навантаження зразків при терті призводить до збільшення зносу. Розглянуто проковзування, удар з подальшим проковзуванням, удар і проковзування в двох взаємно перпендикулярних напрямках. Дано визначення та аналіз впливу зміни умов тертя на стан поверхневого шару контактуючих поверхонь.

У четвертому розділі проведені дослідження структурного стану та якості поверхневого шару деталей після контактування в умовах багатокомпонентного термомеханічного навантаження, за результатами яких встановлено залежність зносостійкості деталей трибоз'єднань від стану поверхневого шару контактуючих деталей.

Виявлено, що підвищений знос відбувається у деталей з рівномірних зі зниженою міцністю та зменшеною величиною фрагментів поверхневим шаром. Показано, що цьому сприяє підвищення складності навантаження в трибоз'єднанні, що підтверджується результатами досліджень поверхневого шару трибоспектральним методом і методом аналізу електронної будови поверхневого шару. Показано, що поверхня зносу зразків, отриманих в процесі тертя з двокомпонентним і трикомпонентним навантаженням, суттєво відрізняється і по параметрах рівноважної шорсткості, а наявність і збільшення амплітуди поперечних проковзувань супроводжується підвищенням однотонності мікрогеометрії поверхні, що вказує на отримання більш однорідного рівномірного поверхневого шару зразків.

Встановлено, що зміна структурного стану поверхневого шару та мікрогеометрії зразків після тертя у різних умовах динамічного навантаження при від'ємних температурах узгоджуються з результатами експериментальних досліджень, що стосуються оцінки співвідношення механічних властивостей, параметрів структури, зносостійкості і рівноважної шорсткості за нормальних температур.

П'ятий розділ присвячено визначенню природи руйнування деталей трибоз'єднань в умовах багатокомпонентного термомеханічного навантаження. Запропонована модель зношування металів з існуванням чотирьох основних стадій розвитку ушкоджень поверхні: руйнування

оксидних плівок; зниження міцності фрагментів; зменшення розмірів фрагментів; втомне руйнування. Виявлено самоорганізацію матеріалу за рахунок текстурування поверхневих об'ємів металу відображається моделлю структурної організації і руйнування поверхневого шару. Припускається наявність трьох видів руйнування: більшою мірою окислювального на першій стадії контактування, фрагментного – на другій і третій стадіях і міжфрагментного на четвертій стадії. Обґрунтовано зв'язок зносостійкості з розміром та міцністю фрагментів поверхневого шару та рівноважною шорсткістю контактуючої поверхні.

Розглянуто питання зносостійкості металорізального інструменту і формування поверхневого шару деталі при різанні на основі реалізації структурної адаптації в умовах багатоконпонентного навантаження, запропоновано методика випробувань деталей трибоз'єднання "деталь-ріжучий інструмент". З'ясована можливість керування однорідністю структурного стану обробленого поверхневого шару і його зносостійкістю з використанням методу впливу вільних макрорадикалів на оброблену поверхню в результаті термомеханічної деструкції полімеру в зоні різання. Обґрунтовано використання спеціального абразивного матеріалу у вигляді суцільних сферичних гранул, що містять абразивні зерна і зв'язувальний полімерний матеріал, розроблено способи виготовлення абразивного матеріалу з добавкою спеціальних речовин-регуляторів при радикальній суспензійній полімеризації, які дозволяють регулювати ступінь полімеризації, величину, кількість отриманих молекул полімеру та макрорадикалів.

У шостому розділі наведено результати визначення прикладних основ інженерії поверхні трибоз'єднань при багатоконпонентному навантаженні, в результаті яких створюється зносостійкий поверхневий шар при виготовленні і експлуатації, сформульовані конструкторсько-технологічні рекомендації по підвищенню зносостійкості деталей машин і механізмів, розроблено алгоритм керування зносостійкістю трибоз'єднань.

На підставі результатів експериментальних досліджень запропоновано способи визначення зносостійкості сталей і сплавів, які основані на аналізі величини сили опору в процесі сканування індентором поверхневого шару та величини структурної однорідності поверхневого шару по зміні величини або розподілу роботи виходу електрона по поверхні деталей. Визначено основні чинники, що впливають на знос поступальних площинних пар IV класу з періодичним ударним розривом контакту, типу "напрямна-ланцюг". Розроблено дві спеціальні конструкції інструменту для проведення прискорених випробувань на зносостійкість ріжучої ланки пильного ланцюга (час випробувань зменшується від 7 до 20 разів). Розроблено пристрій для зменшення вібрацій ріжучого інструменту, що дозволяє знизити до 20% як

амплітудну, так і частотну складову вібраційного процесу. Запропоновано метод фінішної обробки металів з використанням гранульованого абразивного матеріалу.

Рекомендується використання різних методів інженерії поверхні, що дозволяють отримувати зносостійкий поверхневий шар деталей трибоз'єднань в умовах тертя з багатоконпонентним навантаженням. Встановлено можливість керування трибологічними властивостями зони контакту трибоз'єднань дією вільних макрорадикалів, розроблена концепція зносостійкого матеріалу у формі шаруватої композиційної структури та окреслено перспективу використання різних методів отримання різноорієнтованих кристалітів у поверхневому шарі.

Висновки дисертаційної роботи ґрунтуються на відображенні основних отриманих наукових та практичних результатів процесів дослідження.

Список літературних джерел включає 205 найменувань, що свідчить про ґрунтовне опанування дисертантом обробленої інформації вітчизняних і закордонних джерел за обраною тематикою та її аналіз.

У додатках наведено основні дані розподілу роботи виходу електрона зношеної поверхні сплаву ХТН-61, топографії поверхні різних матеріалів після зносу, результати статистичної обробки сили тертя індентора при скануванні поверхневого шару та акти реалізації результатів наукових досліджень.

Наукова новизна роботи

У відповідності з метою досліджень дисертантом запропоновано концептуальний підхід створення зносостійких поверхонь трибоз'єднань які працюють в умовах багатоконпонентного термомеханічного навантаження на основі структурної організації і текстуруванні поверхневих шарів матеріалів деталі. Даний підхід базується на результатах досліджень ступеню впливу основних параметрів багатоконпонентного динамічного навантаження на закономірності тертя і зношування та структурний стан поверхневого шару. Розкрито механізм зношування трибоз'єднань в розглянутих умовах контактування, основою якого є структурно-енергетична адаптація матеріалів, що супроводжується деформацією первинної структури при терті з різними видами динамічного навантаження та температури середовища. Це дозволило дисертанту запропонувати концепцію підвищення зносостійкості трибосистем зі створенням таких умов контактування, при яких формується поверхневий шар з неоднорідним за міцністю та величиною фрагментів структурним станом в межах статистично визначної базової довжини. Виявлено, що зносостійкість трибоз'єднань з багатоконпонентним

навантаженням підвищується до 30%. Удосконаленою моделлю структурної організації і руйнування поверхні при терті з багатокомпонентним динамічним навантаженням обґрунтовується та враховується динаміка умов навантажень, структурний та енергетичний стани поверхневих шарів, мікрогеометрія поверхні та деструкційні явища. Принципи моделювання еквівалентних станів трибологічних пар, які експлуатуються в особливих умовах навантаження отримали подальший розвиток. Обґрунтовано методологію прискореної оцінки зносостійкості поступальних площинних пар IV класу з періодичним ударним розривом контакту, типу "напрямна-ланцюг" і трибоз'єднань "деталь-різальний інструмент". Це дало можливість запропонувати методи інженерії поверхні для керування зносостійкістю трибоз'єднань при багатокомпонентній термоконтатном дії шляхом введення в зону контакту вільних макрорадикалів, створення поверхневого шару з різноорієнтованими кристалітами, градієнтним шаруватим покриттям. На підставі трибодіагностики впливу вільних макрорадикалів на процеси обробки гранульованим абразивним матеріалом розвинута методологія підвищення ефективності фінішної абразивної обробки.

Практична цінність роботи

Дисертантом отримані нові результати, які є науково-методологічною основою розробки комбінованих конструкторсько-технологічних рекомендацій підвищення зносостійкості деталей і вузлів тертя в складних умовах термодинамічного навантаження і на етапах їх створення і експлуатації дозволяють забезпечувати формування зносостійкого поверхневого шару деталей. Усі розробки захищено деклараційними патентами України. Представлені методологічні принципи інженерії поверхні підвищеної зносостійкості для трибоз'єднань багатокомпонентного контактного навантаження. На основі оцінки стану поверхневого шару деталей після тертя із застосуванням трибоспектрального методу і по зміні величини роботи виходу електрона розроблено методи визначення зносостійкості трибоз'єднань. Розроблено пристрій, який дозволяє зменшити до 20% вібрації і підвищити зносостійкість ріжучого інструменту за рахунок використання спеціальних демпфіруючих пластин. Удосконалено гранульований абразивний матеріал, методи його отримання шляхом регулювання умовами псевдоживої радикальної полімеризації (концепція контрольованих процесів) і застосування при фінішній обробці. За рахунок зміни умов обробки і наявності вільних макрорадикалів в зоні контакту інструменту і заготовки можливе керування однорідністю структурного стану обробленого поверхневого шару і його зносостійкістю.

Технологічні рекомендації, щодо отримання зносостійкого ультрадисперсного наноструктурного поверхневого шару деталей трибоз'єднань в залежності від умов контактування та виготовлення, прийнято до впровадження у виробництво. Економічний ефект від впровадження результатів роботи на підприємстві складе 140 тис. грн. на рік.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій сформульованих в дисертації, їх достовірність і новизна

Наукові положення, висновки і рекомендації, що сформульовані у представленій роботі, обґрунтовані достатньо переконливо та повно. Достовірність та обґрунтованість одержаних у дисертації наукових положень підтверджуються коректною постановкою наукової проблеми, співпаданням, в прийнятних межах похибки результатів теоретичних досліджень з результатами проведених експериментальних досліджень та впровадженням технології у виробництво.

В роботі застосовано комплексний підхід до досліджень, який забезпечив всебічне і ґрунтовне вивчення та аналіз процесів, що відбуваються на поверхні тертя та поверхневих шарах деталей трибоз'єднань, які працюють в умовах багатоконпонентного термомеханічного навантаження, дозволив запропонувати технологію формування зносостійкого поверхневого шару. Комплекс досліджень включав в себе: моделювання процесів контактної взаємодії в трибоз'єднаннях за допомогою фізичних моделей; вивчення закономірностей зношування матеріалів деталей пар тертя як при роздільному, так і комплексному впливі навантажувальних параметрів за допомогою створеного спеціального устаткування; встановлення закономірностей зміни якості поверхневого шару матеріалів у зоні контакту. Якість контактуючих поверхонь оцінювалась за мікрогеометричними показниками та стану поверхневого шару. Для оцінки зміни структурного та енергетичного стану поверхневого шару поверхонь в роботі використовувався трибоспектральний метод і метод аналізу електронної будови поверхневого шару металів на основі зміни роботи виходу вільних електронів.

Враховуючи вище сказане, обґрунтованість викладених в роботі положень не викликає сумніву.

Повнота викладення основних результатів дисертації у наукових фахових виданнях

Основні результати дисертаційних досліджень Циганова В.В. опубліковано на чотирьох мовах (українській, російській, англійській і

французькій) в 59 друкованих працях (з них 9 одноособових), зокрема монографій – 1, статей – 30 (6 в зарубіжних виданнях), патентів України – 18, а також у 10 тезах конференцій.

Зауваження до дисертації.

1. Аналітичний огляд у першому розділі перевантажено великою кількістю фактичних даних з вузлів, які експлуатуються в умовах складного динамічного навантаження.

2. Через низьку якість рис. 1.6 та фотографій поверхонь (рис. 6.11) важко підтвердити або спростувати зазначене в основному тексті.

3. У першому розділі відсутній аналіз інформації щодо впливу конструктивних параметрів деталей на триботехнічні та фізико-механічні властивості трибо з'єднань.

4. Після аналітичного огляду слід було навести узагальнення та висновки, які б переходили до поставленої мети і завдань.

5. Є необхідність у другому розділі дати окремий пункт з обґрунтуванням і аналізом досліджуваних в роботі матеріалів, а також змащувально-охолоджувальної рідини.

6. Необхідно більш чітко навести методика визначення напружено-деформованого стану поверхонь при терті згідно з розглянутою контактною задачею механіки руйнування трибо з'єднань та використання цих результатів для досягнення мети роботи.

7. Доцільно було б зробити порівняння результатів дослідження з основними показниками поверхневого шару трибо з'єднань отриманими рентгеноструктурним методом, який широко використовуються на практиці.

8. Відсутнє порівняння запропонованих моделей структурної організації і руйнування поверхневого шару трибо з'єднань у п'ятому розділі з відповідними моделями визначеними за літературними даними.

9. Представлені результати досліджень у розділі 6, які стосуються способів визначення зносостійкості сталей і сплавів, конструкції інструменту для проведення прискорених випробувань на зносостійкість ріжучої ланки пильного ланцюга, пристрою для зменшення вібрацій різального інструменту, не достатньо приділено уваги питанням інженерії поверхні. Ці матеріали досліджень доцільно було б привести у окремому розділі.

10. Перші чотири загальні висновки носять декларативний характер і потребують конкретики, має місце і дублювання висновків за змістом.

11. В тексті роботи присутні друкарські помилки, наприклад, стор. 325 дисертації, описки та повтори.

Наведені зауваження істотно не впливають на отримані результати, загальні висновки, наукову та практичну цінність дисертаційного дослідження.

Загальний висновок по дисертаційній роботі

Дисертаційна робота Циганова В.В. "Науково-методологічні засади формування зносостійких поверхонь деталей при багатокомпонентній термоконтактній дії" містить нові науково підтвержені результати, що дозволяють вирішити важливу науково-прикладну проблему підвищення зносостійкості трибоз'єднань при багатокомпонентній термоконтактній дії, що є вагомим внеском в розвиток науки про тертя і зношування.

Дисертаційна робота В.В. Циганова є закінченою науково-дослідною роботою, яка відповідає вимогам, що ставляться до докторських дисертаційних робіт згідно пунктів 9, 10, 12 "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника", затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року №567.

У зв'язку із вищенаведеним вважаю, що дисертація за актуальністю, новизною теоретичних та експериментальних результатів, високим рівнем проведених досліджень відповідає вимогам ДАК МОН України до докторських дисертацій з технічних наук, а її автор Циганов Володимир Васильович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора 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,
м. Кропивницький

В.В. Аулін

Підпис офіційного опонента, проф. Ауліна В.В. засвідчую

перший проректор



В.М. Кропівний