

ВІДГУК

офіційного опонента, кандидата технічних наук, доцента, доцента кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства в Хмельницькому національному університеті Бабака Олега Петровича на дисертаційну роботу Скворцова Олександра Олексійовича на тему «Підвищення зносостійкості елементів трибоспряження в абразивному середовищі нанесенням композиційних покриттів», представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 131 – Прикладна механіка

В дисертаційній роботі отримані нові, науково обґрунтовані результати, робота є завершеним науковим дослідженням, що в комплексі вирішують завдання підвищення зносостійкості елементів трибоспряження в абразивному середовищі шляхом формування композиційних покриттів методом електроіскрового легування.

Робота направлена на вирішення проблеми забезпечення міцності, твердості, зносостійкості та триботехнічних властивостей деталей і вузлів тертя авіаційної та наземної техніки застосуванням композиційних покриттів на основі вибору їх складу та способу формування. В якості матеріалу для нанесення зносостійких покриттів використовуються композиційні матеріали, що поєднують високу твердість армуючих фаз та наноструктурованих композитів з в'язкістю матриці, яка рівномірно розподіляє напруження, забезпечує несучу здатність системи покриття–основа і захищає від механічних ушкоджень, що є актуальним напрямком для забезпечення зносостійкості. Дисертація містить анотації українською та англійською мовами, вступ, чотири розділи, основні результати і висновки, список використаних джерел та додатки. Обсяг основної частини становить 116 сторінок, а загальний обсяг складає 163 сторінки.

АНАЛІЗ ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

У **вступі** дисертаційної роботи проаналізовано основні напрямки підвищення триботехнічних властивостей деталей авіаційної та наземної техніки. У вступі також обґрунтовано актуальність роботи, поставлені мета та завдання досліджень, визначені наукова новизна і практична значимість отриманих результатів, наведені дані щодо апробації і впровадження результатів досліджень.

У **першому розділі** проведений аналіз літературних даних за темою дисертаційної роботи та визначені основні напрямки досліджень. На основі аналізу літературних даних визначено домінуючі види пошкоджень деталей авіаційної техніки, де втрома становить більшу частину, а знос – фіксований відсоток від загальної кількості відмов. Проаналізовано питання щодо застосування зміцнюючих захисних покриттів і розглянуто переваги та недоліки технологічних процесів їх нанесення. Відмічено переваги методу електроіскрового легування для зміни у заданому напрямі фізико-механічних, триботехнічних і експлуатаційних властивостей робочих поверхонь деталей без

термічної деструкції основи. Визначена мета роботи та напрямки теоретичних і експериментальних досліджень.

У **другому розділі** представлена загальна схема і методи досліджень, обґрунтовано вибір матеріалів та обладнання для формування композиційних покриттів з метою підвищення триботехнічних властивостей деталей. В якості об'єктів дослідження обрано конструкційні сталі кількох марок. Розглянуто комплекс методів досліджень, який включає в себе: метод електроіскрового легування на спеціальній установці за стабільного робочого струму; випробування на абразивне зношування за схемою тертя по не жорстко закріпленим частинкам піску; рентгенофазовий та оптичний металографічний аналіз; вимірювання твердості основи та мікротвердості покриттів за допомогою відповідних приладів.

У **третьому розділі** запропоновано оцінку напружено-деформованого стану та динамічних процесів у зоні трибоконтакту, де поверхневі шари представлені як анізотропні пластини на пружній основі. Обґрунтовано, що в зоні контакту абразивної частки з покриттям виникають параметричні та автоколивальні процеси, які призводять до розвитку багатоциклових напружень, деформаційних хвиль та мікротріщин. Експериментально доведено, що електроіскрове легування значно підвищує зносостійкість сталей за рахунок формування гетерогенної структури, де тверді карбіди вольфраму WC та титану TiC у кобальтовій матриці (при використанні сплавів BK8 та T15K6), а також складні карбіди вольфраму Fe_3W_3C у швидкорізальній сталі P18 створюють бар'єри для руху дислокацій.

У **четвертому розділі** наведено триботехнічні характеристики покриттів в абразивному середовищі залежно від розміру частинок кварцового піску. Обґрунтовано, що зі збільшенням розміру абразиву зношування суттєво зростає, змінюючи механізм руйнування від втомного до глибокого дряпання та мікрорізання. Найвищу ефективність продемонструвало покриття твердим сплавом BK8 на конструкційній сталі 40X, яке забезпечило значне зменшення зносу в 11,67 разів при терті у великодисперсному абразиві. Натомість для боридного покриття Fe-Cr-B зафіксовано низьку стійкість через руйнування м'якої феритної матриці після розколювання крихких боридів.

ОБґРУНТОВАНІСТЬ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ, ЇХ ДОСТОВІРНІСТЬ ТА НОВИЗНА

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в установленні кореляції між структурним станом сталей (розміром зерна та морфологією перліту) і їх здатністю чинити опір абразивному впливу; у визначенні фізичної природи низької стійкості композиційного боридного покриття; в удосконаленні оцінки синергетичного бар'єрного та демпфуючого механізму покриттів на основі твердих сплавів; а також у розробці динамічної математичної моделі взаємодії, яка аналітично описує умови втрати стійкості мікрооб'єктів металу та явища параметричного резонансу.

Достовірність одержаних результатів підтверджується використанням класичних та сучасних методик структурного та триботехнічного аналізу,

узгодженістю теоретичних моделей із великим масивом експериментальних даних, а також суворим дотриманням міжнародних стандартів випробувань.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що запропоновано технологію електроіскрового легування та інструкції для відновлення та зміцнення елементів стійок шасі, які успішно пройшли лабораторні випробування та рекомендовані до стендових випробувань на авіаційному підприємстві. Результати досліджень також впроваджені у навчальний процес університету в лекційні та лабораторні курси з надійності машин та технологій конструкційних матеріалів.

АНАЛІЗ ПУБЛІКАЦІЙ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ДОСЛІДЖЕННЯ

За результатами дисертаційного дослідження було опубліковано наукові праці, у тому числі статті у наукових фахових виданнях, затверджених МОН України (категорія Б), та праці апробаційного характеру у матеріалах міжнародних конференцій. Основні положення та результати дисертаційного дослідження викладено в 8,5 наукових публікаціях, серед них 4,5 публікацій у наукових фахових виданнях України, 4 публікації у збірниках матеріалів конференцій.

Відповідно до чинних вимог наукові результати дисертації повною мірою висвітлені у публікаціях здобувача. Зміст наукових праць точно відображає сутність проведеного дослідження, а їх якість, кількість і обсяг повністю відповідні вимогам, що висувуються до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора філософії. Тематична спрямованість усіх публікацій повністю відповідає профілю спеціальності 131 – Прикладна механіка.

ВІДПОВІДНІСТЬ ДИСЕРТАЦІЇ ВСТАНОВЛЕНИМ ВИМОГАМ

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог, встановлених МОН України щодо оформлення дисертації. Робота написана у науковому стилі, викладена логічно та послідовно. У роботі повно та вичерпно висвітлено основні наукові досягнення, пропозиції та висновки автора.

ДИСКУСІЙНІ ПОЛОЖЕННЯ ТА ЗАУВАЖЕННЯ

Позитивно оцінюючи дисертаційну роботу, що виконана на високому науковому та методичному рівні, слід зазначити деякі зауваження, дискусійні питання та побажання:

1. У першому розділі під час аналізу методів інженерії поверхні доцільно було б ширше висвітлити порівняльні економічні та триботехнічні показники електроіскрового легування відносно традиційного гальванічного хромування, яке найчастіше застосовується для штоків шасі.

2. Процес модифікації у другому розділі виконувався на установці за стабільного робочого струму в один ампер. Проте автор не надав пояснень, якими саме критеріями було обґрунтовано вибір цієї сили струму і як зміна цього параметру впливає на товщину та адгезію наноструктурованих шарів.

3. У третьому розділі розглядаються параметричні та автоколивальні процеси у зоні контакту. Поясніть, які саме фізико-механічні характеристики сформованого покриття сплавами ВК8, Т15К6 чи швидкорізальною сталлю Р18 мають вирішальний вплив на демпфування деформаційних хвиль та зниження ймовірності виникнення параметричного резонансу.

4. Для покриттів зі швидкорізальної сталі Р18 у четвертому розділі встановлено схильність до прискороного викришування при терті дрібним абразивом через дискретний характер та наявність мікрорельєфу. Прошу детальніше пояснити механізм фіксації дрібних абразивних частинок на поверхні та уточнити, чи досліджувалися методи фінішної обробки для усунення цього ефекту.

Наведені зауваження по роботі не зменшують значущості отриманих наукових та практичних результатів дослідження, тому не впливають на загальну високу позитивну оцінку дисертаційної роботи.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

Дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Скворцова Олександра Олексійовича на тему «Підвищення зносостійкості елементів трибоспряження в абразивному середовищі нанесенням композиційних покриттів є самостійною та завершеною науково-дослідною працею, що містить нові науково обґрунтовані результати, які в комплексі вирішують конкретне науково-практичне завдання в галузі механічної інженерії. За змістом та якістю теоретичних і методичних розробок робота відповідає вимогам п. 6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, які висуваються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 131 «Прикладна механіка».

Здобувач Скворцов Олександр Олексійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 131 – Прикладна механіка.

Офіційний опонент:

доцент кафедри трибології, автомобілів
та матеріалознавства в Хмельницькому
національному університеті,
кандидат технічних наук, доцент

Підпис оф.опонента
к.т.н., доцента О.П. Бабака
засвідчую:

Вчений секретар
Хмельницького національного університету
М.П. «01» 06 2026 року

Олег БАБАК

Ольга ГОНЧАР