

Вченому секретарю спеціалізованої
вченої ради Д 26.062.06
Свириду М.М.
Національний авіаційний університет,
просп. Любомира Гузара 1,
м. Київ, 03058

ВІДГУК
офіційного опонента

на дисертаційну роботу Токарука Віталія Володимировича на тему: «Підвищення зносостійкості дюралюмінієвого сплаву Д16 армуванням поверхневого шару дискретним електроіскровим покриттям», що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.04 «Тертя та зношування в машинах» (13 – Механічна інженерія)

Актуальність теми дослідження:

Актуальність теми дисертаційної роботи Токарука В. В. не викликає сумніву, оскільки пов'язана з підвищенням зносостійкості алюмінієвих сплавів. В роботі пропонується знижувати питому матеріаломісткість виробів шляхом використання армованого дюралюмінію Д16. Сучасним перспективним напрямком є застосування нових алюмінієвих антифрикційних сплавів для заміни бронзи в різних узлах тертя. Така заміна економічно обґрунтована, так як алюмінієві сплави мають в 2,5-3 рази меншу щільність, а вартість одиниці ваги такого сплаву в середньому в 2-4 рази менше заміненої бронзи. Однак, розширенню сфери практичного використання алюмінієвих сплавів триботехнічного призначення перешкоджають їх недостатня твердість і низька зносостійкість.

В дисертаційній роботі запропоновано вирішення науково-технічної проблеми підвищення триботехнічних і міцнісних характеристик алюмінієвих сплавів та розширення навантажувально-швидкісного діапазону їх працездатності за рахунок збільшення діапазону застосування антифрикційних алюмінієвих сплавів шляхом використання технології армування поверхневого шару алюмінієвого сплаву зносостійким електроіскровим покриттям з подальшою поверхнево-пластичною деформацією.

В. В. Токарук чітко визначив мету дисертаційної роботи - це підвищення протизношувальних властивостей та питомої маслоємності дюралюмінію Д16 формуванням дискретних електроіскрових покриттів з ефективними мікрогеометричними та міцнісними характеристиками.

Для досягнення вищезазначеної мети роботи достатньо коректно поставлені і вирішені наукові задачі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана згідно з планами науково-дослідної роботи Національного авіаційного університету.

Дисертаційні дослідження проводились в рамках науково-дослідних робіт:

–88/07.02.02. «Підвищення працездатності конструкцій з авіаційних матеріалів шляхом поверхневого зміцнення та відновлення деталей трибосистем». Автором розроблено методики діагностування трибопар авіаційних матеріалів за допомогою акустичних методів неруйнівного контролю.

–110/07.02.02. «Технологічні методи підвищення працездатності елементів авіаційних трибомеханічних систем». Автором проведенні досліджень кінетики задиростійкості і перехідних процесів при зносі електроіскрових покриттів.

–48-2022/07.06 «Підвищення ресурсу відповідальних вузлів авіаційної техніки та удосконалення технічного обслуговування повітряних суден». Автором визначені

26.062.06/16

ВРД 31.05.23

Свириду М.М.

закономірності зносостійких дисипативних структур дискретними електроіскровими покриттями.

Структура та обсяг дисертації. Дисертацією є рукопис, що складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, п'яти розділів, висновків, додатків, списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації становить 214 сторінок. Робота включає 25 таблиць, 57 рисунків, 5 додатків. Список використаних джерел налічує 190 найменувань і займає 20 сторінок. Додаток містить 24 сторінки. Обсяг основної частини становить 153 сторінки.

Загальна характеристика дисертаційної роботи.

У вступі обгрунтовано актуальність роботи, поставлено мету та сформульовано задачі дослідження, визначені наукова новизна і практична значимість отриманих результатів, наведені дані про апробацію і впровадження.

У першому розділі розглянуто сучасні методи формування зносостійких покриттів та проаналізовані методики оцінки їх якості. На підставі проведеного аналізу літературних джерел встановлено перевагу технології електроіскрового легування над іншими, яка заключається у енергозбереженні та підвищенні наукоємності технологічного забезпечення. Для оцінки зносостійкості армованих алюмінієвих сплавів в роботі залучені основні положення молекулярно-механічної та структурно-енергетичної теорії тертя, що дозволять виявити домінуючі чинники, що забезпечують підвищення зносостійкості трибосистеми.

Для дослідження зносостійкості електроіскрових покриттів у роботі обрано сучасний інформативний метод трибодіагностики – метод акустичної емісії. Проведений аналіз параметрів акустичної емісії дозволив обрати такі параметри як спектр зміни амплітуди акустичної емісії, величина розкиду сигналів, енергетичні параметри акустичної емісії. Встановлено, що використання методу акустичної емісії дозволить більш глибоко оцінити якість сформованих покриттів.

Визначена мета роботи і напрями теоретичних і експериментальних досліджень.

У другому розділі наведено методологію оцінки якості електроіскрових покриттів трибологічного призначення, яка полягає у створенні оптимальної мікрогеометрії та знаку залишкових напружень у дискретних електроіскрових покриттях для алюмінієвих сплавів за допомогою технології електроіскрового легування та подальшої обробки сформованих покриттів методом поверхнево-пластичної деформації. Застосування вищезазначеної методології дозволить сформувати поверхневий шар з високою твердістю, зносостійкістю, низькою шорсткістю і підвищеною втомною міцністю.

Для розрахунку напружено-деформованого стану електроіскрових покриттів в роботі пропонується застосувати метод кінцевих елементів, що дозволить на стадії проектування визначити оптимальну щільність електроіскрового покриття з урахуванням еквівалентних напружень в одиночному покритті, рівня максимальних напружень, залишкових напружень в покритті та дотичних напружень в площині адгезійного контакту.

Розроблено методики оцінки триботехнічних характеристик дискретних електроіскрових покриттів на модернізованій універсальній машині тертя СМТ-1 з інформаційно-вимірною системою.

Обгрунтовано необхідність оцінки параметрів профілю мікрорельєфу поверхні дюралюмінію з ЕІП, застосування сучасних методик металофізичних досліджень та оцінки хімічного складу поверхонь тертя для встановлення механізмів формування зносостійких дисипативних структур та оцінки рівня структурної пристосованості дискретних ЕІП при терті.

У третьому розділі проаналізовано вплив процесів контактної взаємодії електроіскрових покриттів на зносостійкість елементів трибосприяження.

Визначено оптимальний працездатний стан дискретних ЕПП зі щільністю 55–65 %, який характеризується мінімальними показниками зносу та усередненої потужності акустичної емісії за рахунок зниження напружено-деформованого стану покриття та основи при оптимізації дискретності покриття, розподілу контактних навантажень, формуванні оптимальної геометрії поверхні.

Встановлено підвищення зносостійкості армованого алюмінієвого сплаву Д16 комбінованим електроіскровим покриттям ВК8+Cu, що реалізується за рахунок локалізації еквівалентних напружень в елементах покриття, що обумовлено комбінацією реологічних показників твердого сплаву ВК8 та пластичного матеріалу міді.

Встановлено, що армування дюралюмінію Д16 комбінованим електроіскровим покриттям ВК-8+Cu забезпечує скорочення періоду припрацювання контактних поверхонь та підвищує несучу здатність, контактну довговічність, питому маслоспоживність поверхні.

За проведеною оцінкою міцнісних характеристик дискретних електроіскрових покриттів при терті встановлено вплив мікротвердості поверхневих та приповерхневих шарів матеріалу, градієнту механічних властивостей по глибині, суцільності покриття на їх оптимальну структурну пристосованість.

Четвертий розділ присвячений визначенню ефективності застосування методу акустичної емісії для дослідження процесів структурної пристосованості контактних поверхонь при терті.

Встановлена чітка кореляційна залежність вагового зносу пар тертя від параметру середнього значення усередненої потужності акустичної емісії (враховані показники в період припрацювання та на етапі сталої роботи).

Встановлено механізм підвищення зносостійкості, який полягає в збільшенні швидкості протікання фізико-хімічних процесів, які обумовлюють утворення вторинних структур за участю кисню та активованих молекул мастильного матеріалу.

Проведений аналіз дослідних зразків за кінетикою зміни триботехнічних показників та усередненої потужності акустичної емісії дозволив виділити основні чинники, які впливають на інтенсивність зношування контактних поверхонь, а саме критерій Пекле Pe , коефіцієнт тертя f , ударна в'язкість (KCU), та отримати емпіричні залежності для оцінити ефективності електроіскрового покриття.

У п'ятому розділі встановленні механізми задиростійкості елементів трибоспряження та проведена оцінка сигналів акустичної емісії в умовах ступеневого підвищення навантаження при переході трибосистеми від нормальної до катастрофічної стадії зношування.

Проаналізовано числові енергетичні показники при переході трибосистеми від нормального до катастрофічного зношування на основі уявлення кореляції енергії пластичної деформації з амплітудними характеристиками сигналів акустичної емісії.

Встановлено збільшення в кілька разів активних елементів кисню, сірки та фосфору в поверхневих шарах пар тертя трибосистеми 30ХГСА – Д16+ВК8+Cu, що свідчить про формування зносостійких дисипативних структур, що приводить до зменшення в 7 разів швидкості зношування до 600 Н, в порівнянні з трибосистемою 30ХГСА – Д16.

На основі проаналізованих експериментальних даних зносостійкості досліджуваних трибосистем одержані емпіричні залежності інтенсивності зношування від погонного навантаження, усередненої потужності сигналів акустичної емісії, розкиду величини усередненої потужності сигналів акустичної емісії, часу напрацювання та шляху тертя.

Встановлено, що розбіжність між експериментальними значеннями інтенсивності зношування досліджуваних трибосистем та значеннями, одержаними за емпіричною залежністю, складає 5...15%. Таким чином, за одержаною емпіричною формулою на основі усередненої потужності сигналів акустичної емісії можливо прогнозувати інтенсивність зношування трибосистеми в оптимальному діапазоні навантаження.

Висновки дисертаційної роботи ґрунтуються на аналізі одержаних результатів. Вони наведені в кінці кожного розділу та в узагальненому вигляді в заключній частині дисертації.

Список літературних джерел включає 190 найменувань, що свідчить про глибоке і ґрунтовне опанування дисертантом обробленої інформації за обраною тематикою та її аналіз.

У додатках наведені: результати моделювання напружено-деформованого стану трибосистеми сталь 30ХГСА – неармований / армований дискретним електроіскровим покриттям дюралюміній Д16 в SolidWorks; список публікацій за темою дисертації; акти впровадження та реалізації результатів наукових досліджень; технологічний процес зміцнення деталей; порівняння режимів обробки поверхні дюралюміній Д16 дискретним електроіскровим покриттям.

Наукова новизна одержаних в дисертації результатів. Під час виконання дисертаційної роботи автором встановлено механізми підвищення зносостійкості в 2 рази в умовах ковзання для дюралюмінію Д16, армованого комбінованим дискретним електроіскровим покриттям щільністю 55–65 % зі сплаву ВК8 та міді з наступною поверхневопластичною деформацією, що дозволило досягти позитивного градієнту зміни механічних властивостей по глибині та домінування еластогідродинамічного або змішаного режиму мащення.

Також автором вперше одержано емпіричні залежності інтенсивності зношування трибосистем сталь – дюралюміній Д16 (неармований / армований електроіскровим покриттям) з урахуванням антифрикційних характеристик, здатності матеріалу поглинати механічну енергію процесів деформації або руйнування та інтенсивності механо-деструкційних процесів в поверхневих шарах металу при терті, за якими можливо спрогнозувати ефективність створених зносостійких покриттів на етапі лабораторних досліджень.

В роботі отримала подальшого розвитку теорія оцінки переходу трибосистеми від нормального до катастрофічного зношування на основі аналізу сигналів акустичної емісії, а саме усередненої потужності та величини розкиду сигналів акустичної емісії.

Під час виконання роботи автором визначено механізм утворення зносостійких дисипативних структур для трибосистем з комбінованим дискретним електроіскровим покриттям сплаву ВК8 та міді, який полягає в формуванні хімічномодіфікованих граничних шарів, насиченні поверхневих шарів пар тертя активними елементами сірки, фосфору та кисню в результаті активації механохімічних процесів окислення при терті та наявності резерву мастильного матеріалу внаслідок дискретності покриття.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці методик і способів, комп'ютеризованої акусто-емісійної системи для дослідження та діагностики трибосистем, програмно-математичного забезпечення, оцінці напружено-деформованого стану електроіскрового покриття – основа з застосуванням методів скінченно-елементного аналізу в програмних комплексах Nastran та SolidWorks. Зазначені результати використовуються при проведенні наукових досліджень спільно з Інститутом проблем міцності імені Г. С. Писаренка НАН України (м. Київ), ТОВ «ПОДОЛІА-АГРО» під час ремонту та модернізації промислового маслопресу ПМ 450 (Вінницька обл.), ТОВ «АВАНТІ ГРУП» при ремонті та відновленні турбокомпресорів двигунів внутрішнього згорання автомобільної техніки (м. Київ) та в навчальному процесі в Національному авіаційному університеті (м. Київ).

Достовірність результатів та висновків підтверджені порівнянням результатів теоретичних розрахунків з отриманими експериментальними даними. Висунуті у дисертації наукові положення та отримані висновки і рекомендації у достатній мірі обґрунтовані. Автором застосовані сучасні методи та методики досліджень і обробки даних.

Теоретичні і практичні дослідження ґрунтуються на положеннях молекулярно-механічної та структурно-енергетичної теорії тертя. Для моделювання напружено-деформованого стану використовувались сучасні програмні комплекси Nastran та SolidWorks.

У роботі використовувалась статистична обробка експериментальних даних із застосуванням регресійного аналізу, при розрахунку використовувався пакет прикладних програм.

Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях відповідає вимогам Міністерства освіти та науки України щодо кваліфікаційних наукових робіт, поданих на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Результати роботи достатньо повно викладено в 1 колективній монографії (SCOPUS), 22 наукових статтях у фахових виданнях (з них 20 статей у виданнях категорії Б, 2 - SCOPUS), 8 тезах доповідей і матеріалах науково-технічних конференцій.

Загальні зауваження до змісту та оформленню дисертації і автореферату.

З тексту дисертації не зрозуміло яку роль відіграють вторинні структури в утворенні зносостійких дисипативних поверхневих шарів, та яка кінетика зміни цих структур в процесі тертя.

Яким чином у Вашій емпіричній залежності інтенсивності зношування враховується здатність матеріалу поглинати механічну енергію процесів деформації?

У розділі 1 стор. 45-47 та на початку розділу 2 стор. 65-67 приведено аналіз технологій нанесення покриттів на алюмінієві сплави. Доцільно було б розмістити цю інформацію у розділі 1.

У розділі 1 забагато уваги приділено методу акустичної емісії – стор. 51-63.

Для визначення вмісту кисню сірки у вторинних структурах використовувався мікроскоп-мікроаналізаторі CamScan 4DV, що має невисоку точність. Для цієї задачі краще би підійшов метод Оже-спектоскопії.

Бажано було б розмістити опис устаткування та режими/параметри електроіскрового легування безпосередньо у тексті дисертації, а не виносити у додатки.

На рис. 3.5 розділу 3 стор. 92 не вказана розмірність еквівалентних напружень $\sigma_{екв}$.

У розділі 5 на рис. 5.7 стор. 158 наведено хімічний склад, який одночасно вказаний на гістограмі і таблиці. Доцільно було б обрати один з видів представлення інформації про хімічний склад вторинних структур.

Загальний висновок по роботі.

Дисертація Токарука В. В. «Підвищення зносостійкості дюралюмінієвого сплаву Д16 армуванням поверхневого шару дискретним електроіскровим покриттям» є закінченою науковою працею, в якій отримано нові науково-обґрунтовані теоретичні і експериментальні результати, направлені на вирішення науково-технічної проблеми підвищення триботехнічних і міцнісних характеристик алюмінієвих сплавів та розширення навантажувально-швидкісного діапазону їх роботоздатного стану.

Незважаючи на наведені вище зауваження, дисертаційна робота у цілому виконана на високому науковому рівні і є завершеною щодо поставлених завдань. Її нові теоретичні і практичні результати є актуальними, науково обґрунтованими та достовірними. Оформлення, стиль і мова викладення роботи в цілому відповідають встановленим вимогам.

Зміст автореферату відповідає основним положенням і змісту дисертації.

У цілому за актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю дисертація Токарука Віталія Володимировича відповідає спеціальності 05.02.04 - тертя та зношування в машинах та вимогам нормативних документів МОН України до кандидатських дисертацій (зокрема, пп. 9, 11, 13, «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567 з подальшими змінами і доповненнями).

Офіційний опонент:

доцент кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства,

Національний транспортний університет
кандидат технічних наук, доцент



Олексій КУЦ