

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Марчука Володимира Єфремовича на тему «**Науково-методологічні основи підвищення зносостійкості робочих поверхонь деталей з текстурованою лунковою структурою в екстремальних умовах експлуатації**», представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.04 – тертя та зношування в машинах

Актуальність теми. Для сучасного машинобудування важливими залишаються питання підвищення експлуатаційних характеристик матеріалів, довговічності деталей і вузлів. Фізико-механічні властивості матеріалів, в тому числі їх зносостійкість, можуть бути поліпшені шляхом використання нових технологій, направлених на структурування поверхні.

Проблема тертя та зношування деталей і вузлів нової техніки, техніки спеціального призначення (ТСП) стає актуальною в умовах дії високих статичних і динамічних навантажень.

На цей час набув розвиток методів зміцнення та модифікування поверхонь тертя. Серед таких методів відомим методом є метод, в основі якого лежить дискретне зміцнення поверхневого шару, тобто зміна суцільного шару на дискретну структуру.

В умовах різноманіття відомих результатів стає необхідними системні дослідження, закономірності зносостійкості при різних видах тертя і зношування.

Перспективним є ствердження, що фізико-механічні та триботехнічні властивості поверхонь деталей можуть бути підвищені шляхом створення текстурованих лункових поверхонь з поглибленими дискретними ділянками

З огляду на це, наукова проблема, яка полягає у створенні нових технологій управління функціональними властивостями деталей ТСП за рахунок створення зносостійких поверхневих шарів і управління їх властивостями при різних видах тертя та зношування, є актуальною і своєчасною.

Ціль дисертаційної роботи сформульована логічно вірно та відображає актуальність роботи. Поставленні завдання направлені на реалізацію цієї цілі.

Наукова новизна і практичне значення одержаних результатів
Наукова новизна полягає у тому, що для підвищення зносостійкості створених текстурованих лункових поверхонь з поглибленими дискретними ділянками запропоновані підходи, які базуються на дослідженнях напружено-деформованого стану, як окремої дискретної ділянки, так і дискретної поверхні в цілому.

Розкрити механізми абразивного зношування і фретинг-зношування текстурованої поверхні з накладанням іонного азотування, що підвищило експлуатаційні параметри.

При цьому встановлені оптимальні співвідношення між різними технологічними параметрами обробки, формування відповідної структури і

експлуатаційними властивостями поверхневих шарів (виробів), які діють на різних етапах отримання вихідної структури поверхні, якій відповідають необхідні зносостійкість, мікротвердість, пористість, міцнісні характеристики.

На основі матеріалів дисертаційної роботи розроблений комбінований технологічний процес підвищення зносостійкості деталей і вузлів тертя в умовах експлуатації ТСП.

Розроблений комплект із багатьох патентів України на пристрої і комбіновані технологічні процеси, направлені на підвищення довговічності деталей і вузлів автомобільної техніки, вузлів авіаційної і бронетанкової техніки, запропоновані практичні рекомендації щодо зміцнення поверхневого текстурованого шару іонним азотуванням.

Результати дисертаційної роботи знайшли промислове впровадження на етапах створення, виробництва та модернізації деталей та вузлів техніки спеціального призначення.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, є достатнім, що демонструється сукупністю експериментального матеріалу, обґрунтованим теоретичним обговоренням власних і літературних даних. Якість досліджень, викладених у дисертації, підтверджується ретельно розробленою методикою, сучасними методами, застосованими для отримання експериментальних даних, грамотно застосованим статистичним апаратом. Логіка викладення матеріалу відповідає поставленій меті та завданням дисертації.

Повнота викладу в опублікованих працях. Фактичний матеріал дисертаційної роботи та висновки за результатами досліджень апробовано на сторінках наукових видань, доповідались на численних вітчизняних та міжнародних наукових конференціях.

Вважаю, що основні положення дисертації достатньою мірою викладено в 36 наукових працях, серед яких 30 статей опубліковані у фахових виданнях, 6 статей – у виданнях, які увійшли до переліку міжнародних наукометричних баз даних. Матеріали роботи доповідались на багатьох міжнародних, республіканських і регіональних конференціях.

До найбільш вагомих здобутків дисертаційної роботи варто віднести такі:

Детально розглянутий науково обґрунтований підхід щодо створення зносостійких текстурованих лункових поверхонь з поглибленими дискретними ділянками, який базується на дослідженні напружено-деформованого стану як окремої ділянки, так і дискретної поверхні в цілому, що дало змогу рекомендувати нові комплексні підходи для підвищення зносостійкості.

Представляє науковий інтерес аналіз впливу внутрішнього магнітного поля на вилучення продуктів зношування з врахуванням дії цього поля на кромки дискретних ділянок і за рахунок збільшення кількості діамагнітних молекул мастильного матеріалу.

Робота виконувалась згідно з планами наукової та науково-технічної діяльності Національного авіаційного університету МОНУ, Національної академії наук України та Національної академії оборони України.

Структура і зміст дисертації

Робота складає 289 сторінок основної частини машинописного тексту, вона містить 47 таблиць, 225 рисунків на 26 сторінках додатків. Список використаних літературних джерел включає 663 найменувань на 65 сторінках. Загальний обсяг дисертації – 460 сторінок.

Структура дисертації побудована відповідно до чинних вимог, побудована по традиційному плану і складається з вступу, семи розділів, які включають огляд літератури, матеріали і методи досліджень, результати експериментальних досліджень, аналіз та узагальнення результатів досліджень, висновки, список використаних джерел, додатки.

У вступі дається характеристика стану проблеми, обґрунтована її актуальність, обґрунтована актуальність теми і її наукова новизна, сформульовані мета роботи і основні задачі, що вирішуються, визначено практичне значення роботи.

У першому розділі наведені багато чисельні результати вітчизняних і зарубіжних джерел (їх більш 500), пов'язаних з дослідженнями різних видів зношування деталей спеціального призначення. Наведені причини зношування, а також способи і технології підвищення зносостійкості при різних умовах експлуатації.

Обґрунтована концепція підвищення зносостійкості в різних умовах експлуатації за допомогою використання технології створення текстурованих лункових поверхонь. Обґрунтована також перспективність застосування комбінації технологій поверхнево-пластичного деформування поверхні та іонного азотування для підвищення зносостійкості деталей і вузлів техніки спеціального призначення.

На основі проведеного глибокого аналізу проблеми сформульована мета і задачі досліджень та вирішення проблеми в цілому.

У другому розділі представлена загальна методика математичного моделювання процесів, що розглядаються, використано метод багатофакторного планування експерименту та математичної обробки статистичних даних щодо формування текстурованих лункових поверхонь, моделювання напружено деформованого стану. Розглянуто технології і обладнання для формування текстурованих лункових поверхонь, електроіскрового легування, іонно-плазмового термоциклічного азотування. Представлена методика визначення залишкових напружень, методики трибо технічних досліджень в умовах абразивного зношування, фретинг-зношування, досліджень на фретинг-втому, тертя ковзання. Приведений опис фізичних і хімічних методів досліджень.

У третьому розділі представлені результати розрахунково-експериментальних досліджень залишкових напружень при формуванні окремої лунки та дискретної поверхні в цілому. Визначено, що величина і характер залишкових напружень мають не однозначну поведінку, залежать

від текстури поверхні, що впливає на параметри зносостійкості. Було проведено статистичний аналіз та побудовано регресивна модель для визначення оптимальних параметрів, що описують залишкові напруження ТЛП.

За результатами статистичного аналізу отримані регресивні залежності, що дозволило визначити оптимальні параметри для залишкових напружень при формуванні ТЛП з поглибленими ДД.

Представлені результати досліджень впливу іонного азотування на структуру і фізико-механічні властивості текстурованих лункових поверхонь. Розгляд НДС текстурованої поверхні, підданої ПТА, показав зниження залишкових напружень розтягу навколо дискретних лунок за рахунок наявності азотованого шару.

Показана позитивна роль електроіскрових дискретних покриттів за рахунок релаксації залишкових напружень у покритті і розвантажені матеріалу основи.

У **четвертому розділі** представлені експериментальні дослідження ТЛП з поглибленими ДД в умовах абразивного зношування, запропоновані закономірності зношування в залежності від конструктивних, технологічних параметрів ділянок, а також розмірів абразиву. Показано збільшення зносостійкості при використанні методу ПТА. Позитивний ефект досягається за рахунок формування азотованого шару з високою твердістю. Крім того, азотований шар забезпечує залікування дефектів ТЛП, знижує крихкість, пороутворення. Визначений критерій оптимізації для умов абразивного зношування.

У **п'ятому розділі** наведені закономірності зношування текстурованих лункових поверхонь в умовах фретинг-зношування та фретинг-утоми. Встановлено, що застосування ТЛП дозволяє керувати процесами припрацювання в умовах фретингу за рахунок вибору оптимальної текстури ТЛП. Моделювання температурного і силового навантаження в умовах фретинг-зношування показало можливість процесів відведення тепла із зони трибоконтакту у дискретних ділянках.

Експериментально досліджено границю витривалості дискретних поверхонь в умовах фретинг -утоми. При цьому встановлено вплив стану поверхні ДД на характеристики фретинг-утоми та ефективного використання методу ПТА на збільшення границі витривалості конструкційних матеріалів.

У **шостому розділі** представлені експериментальні результати зносостійкості текстурованих лункових поверхонь в умовах граничного мащення при терті ковзання. Доведено, що найбільшою зносостійкістю і найменшим коефіцієнтом тертя володіють зразки з ТЛП, що оброблені за запропонованою технологією. Доведено, висока зносостійкість ТЛП, зміцненою методом ПТА обумовлена високою захисною дією поверхневих азотованих шарів, їх високою твердістю, що посилює ефект гальмування виникнення дефектів у трибоконтакті.

Запропоновані представлення про процеси впливу магнітного поля на механізм вилучення продуктів зношування, який враховує дію внутрішнього

магнітного поля кромek дискретних ділянок за рахунок збільшення їх напруженості магнітного поля у порівнянні з напруженістю поля у між лунковому просторі. Така силова взаємодія призводить до переміщення продуктів зношування, направлене на покращення характеристик тертя і зниженню зносу контактуючих поверхонь.

У **сьомому розділі** узагальнені результати оптимізації текстури лункових поверхонь, наголошується на підвищенні властивостей ТЛП за рахунок запропонованої оптимізації.

Наведено техніко-економічне обґрунтування ефективності впровадження технологічного процесу формування текстурованих лункових поверхонь.

На підставі аналізу та узагальнення результатів досліджень розроблено практичні рекомендації щодо підвищення триботехнічних характеристик і збільшення ресурсу деталей та вузлів тертя ТСП. Практичні рекомендації представлені у вигляді блок-схеми алгоритму комбінованого технологічного процесу формування зносостійких ТЛП, зміцнених ПТА, на сталевих деталях рухомих з'єднань ТСП.

Робота закінчується 14-ма висновками, де узагальнені і представлені основні результати досліджень.

Надруковані праці відображають основний зміст дисертації.

Автореферат дисертації відображає основні положення самої роботи.

Представлена робота за актуальністю, обсягом проведених досліджень та новизною отриманих результатів має безумовно наукову та практичну цінність.

Загалом позитивно оцінюючи дисертаційну роботу Марчука В. Є. слід вказати і на окремі недоліки, висловити зауваження та побажання:

1. Рисунок 4. 11 на стор.236 має назву «фізична модель». В той же час цей рисунок представляє собою елементарну схему, яка демонструє дискретну ділянку з продуктами зношування, вона не є фізичною моделлю, «фізична модель» – це більш складне уявлення, що описує процес зношування.

2. У дисертації, на мій погляд, бажано було би визначитися із схожими поняттями, що часто повторюються. Це такі вирази і терміни: чисельне модулювання, математичне моделювання закономірностей, системні уявлення про закономірності, системний підхід, математична модель, і в той же час рівняння регресії в кодових значеннях, регресивна модель залежностей критерію. Наприклад: стор.191, назва підрозділу 3.2. – побудова математичних моделей за результатами експерименту, а у тексті вже відразу говориться, що проведено статистичний аналіз та побудовано регресійна модель залежностей критерію оптимізації.

На мій потрібно було би систематизувати всі ці вирази і звести їх до одного – двох ключових виразів.

3. Невдала назва таблиці 2.3, стор. 142, в ній представлені для декількох матеріалів властивості, такі як модуль пружності, коефіцієнт Пуассона, густина, які не є граничними умовами.

4. В підрозділі 2.5.1, 157 стор. «Технологія формування текстурованих лункових поверхонь» можна було би, на мій погляд, обмежитися загальним

видом установки, а не розглядати ретельно простий принцип дії пристрою, що складається з закріплення гайкою, гвинтом, затискання в патроні, контактування коромисла і т.д. Всі ці прості процедури не потрібно описувати у докторській дисертації.

5. Підрозділ на стор. 356 «7.2 Техніко-економічне обґрунтування ефективності впровадження технологічного процесу формування ТЛП» варто було би включити у Додаток, а не в основний розділ 7.

6. Погана якість багатьох рисунків, на яких можна побачити тільки «чорний квадрат», це установки, наприклад, рис. 2.5, 2.8, стор.158, 163, металографії поверхні – рис.3.7, стор.191, 3.31, стор. 213, 4.2, стор. 228, 4.13, стор. 239, а також інший графічний матеріал.

Водночас зауваження можна розглядати, як дискусійними, які не стосуються принципів положень дисертації, не знижують загальної високої оцінки роботи, її наукової і практичної цінності.

Загальний висновок.

Враховуючи актуальність теми, обсяг досліджень, наукову новизну, кваліфікаційний рівень, аналіз одержаних результатів, оформлення, апробацію, зміст висновків і пропозицій виробництву, вважаю, що дисертаційна робота на тему «Науково-методологічні основи підвищення зносостійкості робочих поверхонь деталей з текстурованою лунковою структурою в екстремальних умовах експлуатації», відповідає існуючим вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук і п. п. 9, 10 «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567, щодо докторських дисертацій, а її автор Марчук Володимир Єфремович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.04 – тертя та зношування в машинах.

Офіційний опонент

Доктор технічних наук, професор

кафедри інженерії поверхні

Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут

імені Ігоря Сікорського» МОН України,

професор

Копилов В. І.

Підпис д.т.н., професора Копилова В.І.

засвідчую: Учений секретар

КПІ ім. Ігоря Сікорського

Мельниченко А. А.

