

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента на дисертаційну роботу

Гловина Михайла Андрійовича «Триботехнічні властивості дискретно азотованих лазерною хіміко-термічною обробкою покриттів», представлену на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 – Механічна інженерія, спеціальності 131 – Прикладна механіка

Актуальність дослідження

Підвищення надійності та довговічності вузлів тертя машин і механізмів є одним із важливих завдань прикладної механіки, оскільки інтенсивне зношування робочих поверхонь безпосередньо впливає на ресурс, витрати на технічне обслуговування та експлуатаційну безпеку технічних систем. Особливої актуальності ця проблема набуває для авіаційної, транспортної та спеціальної техніки, елементи якої працюють за високих контактних навантажень, змінних режимів тертя та дії комплексу механічних і теплових факторів.

Традиційні технології суцільного поверхневого зміцнення не завжди забезпечують оптимальне поєднання твердості, пластичності та сприятливого напружено-деформованого стану. У зв'язку з цим перспективним є формування дискретно-градієнтних поверхневих структур, у яких локальні високотверді зони поєднуються з більш пластичною матрицею. Такий підхід створює передумови для перерозподілу контактних напружень, зниження схильності до крихкого руйнування та керування процесами припрацювання.

Дисертаційна робота Гловина М.А. присвячена підвищенню зносостійкості елементів трибосистем шляхом формування дискретно азотованих поверхневих шарів методом лазерної хіміко-термічної обробки та встановленню впливу їх структурно-геометричних і технологічних параметрів на триботехнічні властивості. Обраний напрям дослідження є актуальним, має наукове і прикладне значення та відповідає сучасним тенденціям інженерії поверхні й трибології.

Оцінка обґрунтованості та достовірності наукових положень

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими. Достовірність результатів забезпечується коректною постановкою науково-технічної задачі, комплексним характером експериментальних досліджень, використанням взаємодоповнювальних методів аналізу та статистичною обробкою отриманих даних.

Як об'єкти дослідження обрано конструкційні леговані сталі 40Х і 38Х2МЮА та швидкорізальну сталь Р6М5, а контртілом у трибологічних випробуваннях слугувала підшипникова сталь ШХ15. Технологія формування поверхневого шару включала попереднє газове азотування та наступну локалізовану лазерну обробку за сітчасто-стільниковою схемою з варіюванням густини потужності випромінювання, кроку дискретності та частки зміцненої поверхні.

Трибологічні випробування проведено за схемою «диск–колодка» в умовах сухого та граничного тертя. Для оцінювання стану поверхневих шарів використано металографічний аналіз, мікротвердометрію, рентгенодифракційне визначення залишкових напружень методом $\sin^2\psi$, а також аналітичне оцінювання напружено-деформованого стану з використанням положень контактної механіки. Дослідження виконано із застосуванням багатфакторного планування експерименту; побудовано поліноміальні регресійні моделі другого порядку та проведено їх статистичну перевірку за критеріями Стюдента і Фішера.

Важливо, що експериментальні залежності апроксимовано моделями з високими коефіцієнтами детермінації, а для опису процесу припрацювання запропоновано напівемпіричну модель динаміки коефіцієнта тертя з похибкою, що не перевищує 8,4 %. Сукупність використаних методів та узгодженість експериментальних і розрахункових результатів дозволяють вважати основні положення роботи достовірними.

Оцінка новизни наукових результатів дисертаційного дослідження

Наукова новизна дисертації полягає у розвитку уявлень про формування та триботехнічну поведінку дискретно-градієнтних азотованих поверхневих шарів, модифікованих локалізованим лазерним впливом.

До найбільш вагомих результатів слід віднести встановлення особливостей формування дискретно-градієнтної структури поверхневого шару залежно від частки зміцненої площі та параметрів лазерного впливу, що пов'язано з локальним нагріванням попередньо азотованого шару, перерозподілом азоту та фазовими перетвореннями. Встановлено закономірності впливу густини потужності лазерного випромінювання, кроку дискретності та частки зміцненої площі на коефіцієнт тертя й інтенсивність зношування.

Науковий інтерес становить запропонований механізм підвищення зносостійкості, заснований на формуванні локальних опорних зон та перерозподілі контактних напружень у поверхневому шарі. Встановлено, що градієнтний профіль мікротвердості та переважання стискаючих залишкових напружень у зонах лазерного впливу забезпечують зниження еквівалентних контактних напружень і щільності накопиченої пружної енергії деформації на 40–45 %.

Також до нових результатів належать розроблення напівемпіричної моделі зміни коефіцієнта тертя під час припрацювання, удосконалення енергетичного підходу до аналізу зношування дискретно зміцнених поверхневих шарів та розвиток підходів до багатокритеріальної оптимізації параметрів лазерної хіміко-термічної обробки.

Практична цінність отриманих результатів

Практичне значення роботи визначається можливістю використання встановлених закономірностей і розроблених моделей для вибору раціональних режимів поверхневого зміцнення деталей, що працюють в умовах інтенсивного тертя та високих контактних навантажень. Запропоновані регресійні залежності

можуть бути використані для прогнозування інтенсивності зношування залежно від технологічних параметрів і скорочення обсягу експериментальних випробувань.

Експериментально показано, що за раціональних режимів дискретної ЛХТО інтенсивність зношування сталей 40Х і 38Х2МЮА зменшується у 4,8-6,0 разів, а сталі Р6М5 – у 2,8–4,0 рази порівняно з вихідним станом. Максимальна мікротвердість поверхневого шару досягає 1074-1275 НV, тривалість припрацювання скорочується у 1,5-3,0 рази, а коефіцієнт тертя стабілізується на рівні 0,18-0,28.

Для низьковуглецевої сталі 20 додатково апробовано комбіновану схему «лазерне легування - азотування - дискретна лазерна модифікація». Отримано поверхневу мікротвердість 1100-1150 НV, зниження коефіцієнта тертя у 1,5-1,8 рази та інтенсивності зношування у 5-7 разів порівняно з необробленою сталлю. Розроблена технологічна карта режимів розмежовує області від недостатнього теплового впливу до термічної деградації та має практичне значення для керування процесом зміцнення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційну роботу виконано в межах наукових досліджень кафедри прикладної механіки та інженерії матеріалів Київського авіаційного інституту як складову бюджетної теми «446-ДБ23 Розроблення інноваційних технологій поверхневого зміцнення та відновлення деталей авіаційної техніки та техніки спеціального призначення». Тематика роботи відповідає науковим напрямам університету щодо підвищення зносостійкості та довговічності конструкційних матеріалів і елементів авіаційної техніки.

Повнота викладу основних результатів дисертації в публікаціях

Основні наукові положення та результати дисертаційного дослідження достатньо повно висвітлені у наукових публікаціях здобувача, зокрема у статтях у наукових фахових виданнях України та виданні, що індексується у міжнародних наукометричних базах Scopus/Web of Science, а також апробовані у матеріалах наукових конференцій. Тематика опублікованих праць відповідає основним положенням і результатам дисертаційної роботи. За тематикою дослідження також отримано патенти України на способи дискретної обробки азотованих сталевих виробів та отримання зносостійких градієнтних покриттів.

Основні результати дисертаційної роботи доповідалися на міжнародних науково-технічних конференціях «ABIA-2023» та «Актуальні задачі сучасних технологій» (2024 р.), а дисертаційна робота в повному обсязі була представлена на науково-технічному семінарі зі спеціальності «Тертя та зношування в машинах».

Наведені у дисертації відомості про особистий внесок здобувача свідчать, що результати, які становлять основу наукової новизни дисертаційної роботи, отримані за безпосередньої участі автора. Особистий внесок здобувача у працях, опублікованих у співавторстві, конкретизовано у дисертації.

Оцінка змісту дисертації, відповідність встановленим вимогам щодо оформлення та дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертаційна робота має логічну структуру та складається з анотацій українською й англійською мовами, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи становить 181 сторінку, основна частина – 134 сторінки; робота містить 25 таблиць, 42 рисунки, 3 додатки, список використаних джерел налічує 131 найменування.

У першому розділі виконано системний аналіз сучасних теоретичних уявлень про тертя, зношування та структурно-енергетичний стан поверхневих шарів, обґрунтовано перехід від суцільних покриттів до дискретних і градієнтних структур та сформульовано наукову гіпотезу дослідження. Другий розділ містить обґрунтування вибору матеріалів, технології отримання дискретно азотованих шарів, методик трибологічних, структурних і механічних досліджень та планування багатофакторного експерименту.

У третьому розділі наведено основний масив експериментальних результатів щодо впливу параметрів лазерної обробки на інтенсивність зношування, мікротвердість, залишкові напруження, припрацювання та стабільність коефіцієнта тертя. Позитивно слід оцінити порівняння запропонованої технології з традиційними методами поверхневого зміцнення. У четвертому розділі реалізовано багатокритеріальну оптимізацію, сформовано технологічну карту режимів та розширено апробацію підходу на низьковуглецеву сталь 20.

Виклад матеріалу в цілому є послідовним, результати розділів узагальнено у висновках. Дисертація має ознаки самостійного завершеного наукового дослідження. Використані положення та результати інших авторів супроводжуються відповідними посиланнями. Підстав вважати, що в роботі порушено принципи академічної доброчесності, під час аналізу дисертації не виявлено.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. У роботі запропоновано багатокритеріальний інтегральний показник ефективності ЛХТО, у якому найбільші вагові коефіцієнти надано мікротвердості поверхні та залишковим напруженням. Водночас обґрунтування конкретних числових значень вагових коефіцієнтів потребує більш детального пояснення. Просимо здобувача уточнити, наскільки результати оптимізації є чутливими до зміни ваг окремих критеріїв і чи змінюється положення оптимальної області при іншому співвідношенні їх значущості.

2. У різних частинах дисертації наведено дещо відмінні значення параметра, що характеризує частку або перекриття зміцнених зон: в анотації для оптимальної області зазначено $\phi = 0,30-0,35$, тоді як у висновках до четвертого розділу наведено $\phi = 0,45-0,55$; у результатах експериментальної оптимізації також фігурує діапазон близько 30–35 %. Доцільно уніфікувати позначення та значення цього параметра й пояснити, чи йдеться в зазначених фрагментах про

різні геометричні характеристики дискретної структури, чи про редакційну неузгодженість.

3. Практичне значення роботи пов'язується, зокрема, з можливістю застосування отриманих результатів для авіаційної техніки. Разом з тим доцільно було б конкретизувати номенклатуру деталей і трибоспряжень авіаційної або наземної авіаційної техніки, для яких запропонована технологія є найбільш перспективною. Просимо здобувача навести приклади таких деталей та співвіднести характерні для них контактні навантаження, швидкості ковзання й умови мащення з режимами проведених у роботі випробувань.

Висловлені зауваження мають переважно дискусійний та уточнювальний характер, не зменшують наукової новизни і практичної цінності отриманих результатів та можуть розглядатися як напрями подальшого розвитку досліджень.

Висновок про дисертаційну роботу

Дисертаційна робота Гловина Михайла Андрійовича «Триботехнічні властивості дискретно азотованих лазерною хіміко-термічною обробкою покриттів» є завершеною самостійною кваліфікаційною науковою працею, у якій отримано нові науково обґрунтовані результати щодо формування та триботехнічної поведінки дискретно зміцнених азотованих поверхневих шарів.

За актуальністю теми, рівнем наукової новизни, обґрунтованістю та достовірністю одержаних результатів, практичною спрямованістю і повнотою їх оприлюднення дисертаційна робота відповідає вимогам «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 № 44 від 12.01.2022 р. (зі змінами), а її автор, Гловин Михайло Андрійович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 131 – Прикладна механіка галузі знань 13 – Механічна інженерія.

Рецензент:

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри авіаційного транспорту
Аерокосмічного факультету
Національного університету
«Київський авіаційний інститут»

Олена ХАРЧЕНКО



Харченко О. Ярославна
секретар
Ліна Набока