

ВІДГУК

офіційного опонента

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

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

Дисертаційна робота Марчука В.Є. є науково-дослідною роботою, яка представлена у вигляді рукопису та містить перелік умовних позначень, вступ, сім розділів, висновки, список використаних джерел із 663 найменувань та додатків на 26 сторінках. Дисертаційна робота викладена на 289 сторінках машинописного тексту із 225 рисунками і 47 таблицями. Загальний обсяг роботи 460 сторінок.

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

Одною з актуальних проблем сучасного машинобудування є розробка заходів по підвищенню довговічності машин в умовах жорстких швидкісних і навантажувальних режимів експлуатації. При цьому на перше місце виходить проблема забезпечення зносостійкості поверхні деталей трибосистем, які визначають ресурс машини в цілому. Новою тенденцією в інженерії поверхні є розробка комбінованих технологій, що дозволяють утворити на поверхні дискретно зміцнені ділянки. Суцільні зміцнюючі структури на поверхні деталей не дозволяють забезпечити потрібну довговічність трибосполучень у жорстких умовах експлуатації, що і обумовлює розробку технологічних методів створення дискретних структур (поверхонь), тобто заміні традиційного суцільного шару поверхні на переривисту дискретну структуру. Для створення дискретних поверхонь можуть використовуватися різноманітні методи: електрофізичні, механічні, металургійні, хімічні, електрохімічні, та інші методи.

Зокрема, в своїй роботі Марчук В. Є. пропонує створювати на поверхні механічним способом регулярні лункові структури.

Оптимізація дискретних канавок або лунок досягається варіюванням виду рисунка; глибини, ширини і кількості канавок, що припадають на одиницю площі оброблюваної поверхні. Змінюючи ці параметри можна керувати основними властивостями поверхні такими як: зносостійкість, тертя, здатність утримувати мастило, опір схоплюванню, опір корозії, витрати мастила.

Крім зазначеного, відомо, що у всіх випадках знос є результатом перенапруження поверхневого шару контактуючих тіл за рахунок нормальних і дотичних навантажень. Дискретна структура зміцненого шару обмежує це перенапруження. Розміри і форму дискретних ділянок встановлюють виходячи з умови мінімізації рівня напружено-деформованого стану поверхневого шару. Ці питання також піднімаються в рецензуемій роботі.

Дискретно модифіковані лункові поверхневі структури впливають не тільки на мікрогеометрію оброблюваної поверхні, але й призводять до позитивних змін у структурі, напружено-деформованому стані, фазовому та хімічному складі поверхневого шару металу та забезпечують оптимальний розподіл фізико-механічних властивостей на зміцненій поверхні залежно від конкретних умов експлуатації.

Вищевикладене обумовлює актуальність дослідження процесів підвищення зносостійкості робочих поверхонь деталей з текстурованою лунковою структурою в екстремальних умовах експлуатації.

Дисертаційна робота виконувалася згідно з планами наукової та науково-технічної діяльності Національної академії оборони України в межах науково-дослідної роботи «Шляхи відновлення важконавантажених деталей авіаційної техніки військового призначення» № 13413/2. Також дисертаційне дослідження проводилися у відділі втоми та термовтоми матеріалів у рамках науково-дослідної роботи № 1.3.4.710 «Дослідження критеріїв граничного стану матеріалів при циклічному навантаженні з урахуванням впливу поверхні та контактної взаємодії» (номер держреєстрації РК0106U000710) в інтересах спільної діяльності з Інститутом проблем міцності ім. Г. С. Писаренка НАН України.

Наукова новизна дослідження й отриманих результатів полягає в розробці концептуального підходу щодо створення зносостійких текстурованих лункових дискретних поверхонь, який на відміну від існуючих базується на дослідженні напруженого стану дискретно зміцненої поверхні та моделюванні закономірностей її формування.

Досліджено механізм зношування текстурованих лункових поверхонь (ТЛП) з дискретними ділянками в умовах абразивного зношування при терті нежорстко закріпленими абразивними частинками, що базується на нейтралізації розміцнюючої дії дискретних ділянок іонним азотуванням.

Встановлено закономірність зношування дискретних поверхонь в умовах фретинг-зношування при обмеженій подачі мастильного матеріалу в зону трибоконтакту, яка враховує конструктивно-технологічні параметри дискретної ділянки та можливість видалення із зони трибоконтакту продуктів зношування, запобігаючи їх дії як абразивного матеріалу.

Запропоновані нові уявлення про закономірності і процеси впливу магнітного поля на механізм вилучення продуктів зношування, які враховують дію внутрішнього магнітного поля кромek дискретних ділянок.

Доведено, що завдяки впливу внутрішнього магнітного поля кромek дискретних ділянок на регенерацію граничних мастильних плівок

витрачається менше енергії за рахунок збільшення кількості діамантних молекул мастильного матеріалу.

Запропоновані моделі процесу формування ТЛП з поглибленими дискретними ділянками при різних видах тертя та зношування, які враховують розміри, розташування і глибину дискретних ділянок, що дозволяє керувати властивостями поверхневого шару.

Загальна характеристика дисертаційної роботи

Вступ містить основні передбачені положеннями ДАК МОН України дані щодо актуальності роботи, її наукової цінності і практичного значення. Визначено мету і задачі дисертаційної роботи, об'єкт та предмет дослідження, показано особистий внесок здобувача при виконанні роботи

У першому розділі наведені результати аналізу вітчизняних і закордонних літературних джерел з наукових проблем дисертації. З анотованого огляду 663-х літературних джерел 644 висвітлюють способи формування і результати досліджень трибосистем, проведених останнім часом вченими вітчизняних (450 посилань) і зарубіжних (190 посилань) наукових шкіл. 160 посилань на літературні джерела стосуються способів формування і зносостійкості дискретних поверхонь трибосистем, 163 – повністю або частково механізму тертя і зносостійкості матеріалів в умовах абразивного зношування, 82 – в умовах граничного мащення, 130 – втомної міцності дискретних поверхонь в умовах фретинг-корозії. Проведене обґрунтування актуальності, деталізовані мета роботи і напрямки вирішення поставленої наукової проблеми.

Другий розділ містить методологічні підходи та опис (с.125 - 140) теоретичних основ планування експерименту на основі плану, згенерованого на основі ЛП_т – чисел, і пакету прикладних програм «Планування, регресія і аналіз моделей» (ППП ПРИАМ), опис моделювання НДС методом скінчено-елементного аналізу і чисельного моделювання у програмному комплексі MSC Nastran (с.140–151), опис (с.151 – 154) моделювання течії рідини за допомогою блоку FLOTRAN пакету ANSYS та опис (с.154 – 156) визначення впливу магнітних полів на трибологічні процеси.

У третьому розділі встановлені закономірності виникнення залишкових напружень у ТЛП і окремих дискретних ділянках з застосуванням комплексного підходу, який базується на розрахунково-експериментальному, математичному методах і методі скінчено-елементного аналізу.

У четвертому розділі встановлено закономірності зношування ТЛП в умовах абразивного зношування при терті не жорстко закріпленими абразивними частинками, досліджено вплив конструктивно-технологічних і експлуатаційних параметрів на їх зносостійкість, виявлено фізичну природу руйнування поверхневих шарів.

У п'ятому розділі визначено закономірності зношування ТЛП в умовах фретингу, побудовано фізичні, математичні моделі, здійснено моделювання температурно-силового навантаження методом скінчено-

елементного аналізу, досліджено процеси керування властивостями ТЛП в умовах припрацювання. Досліджено границю витривалості деталей з ТЛП в умовах фретинг-утоми, визначено вплив фретингу та циклічного навантаження на довговічність деталей з ТЛП.

У шостому розділі встановлені закономірності зношування ТЛП при терті ковзання в умовах граничного мащення. Сформовані системні уявлення про закономірності і процеси впливу магнітного поля на механізм вилучення продуктів зношування, запропоновано механізм подачі мастильного матеріалу для регенерації граничної мастильної плівки, побудовані математичні моделі, які дозволили визначити оптимальну текстуру ТЛП.

У сьомому розділі проведено теоретичне обґрунтування й узагальнення наукових досліджень, а також техніко-економічний аналіз промислового використання технологічного процесу формування ТЛП.

Розроблено алгоритм підвищення триботехнічних характеристик деталей, який базується на оптимізації комбінованого технологічного процесу та практичних рекомендаціях щодо зміцнення поверхневого шару іонним азотуванням.

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

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

Висунуті у дисертації наукові положення та отримані висновки і рекомендації у достатній мірі обґрунтовані. Автором застосовані сучасні методики досліджень та методи обробки даних.

Достовірність отриманих результатів та висновків з них підтверджена порівнянням результатів теоретичних розрахунків з експериментальними даними. При цьому використані сучасні експериментальні методи: рентгеноструктурні методи для визначення кристалографічної текстури у поверхневому шарі деталей і структурно-фазових змін; методи растрової електронної мікроскопії та рентгенівського аналізу для дослідження особливостей мікроструктури поверхневого шару, вмісту та розподілу легуючих елементів у дискретній поверхні, фрактографічних досліджень зруйнованих поверхонь та зломів; методи інженерної механіки для дослідження залишкових напружень у дискретній поверхні, їх мікротвердості, триботехнічних характеристик в умовах абразивного зношування і зношування при фретингу. Всі експериментальні дослідження, а також роботи з впровадження підтвердженні відповідними актами.

Значення для науки і практики результатів дисертаційної роботи

Значимим для науки є те, що автором розроблено науково-методологічні основи підвищення зносостійкості робочих поверхонь деталей з текстурованою лунковою структурою в екстремальних умовах експлуатації.

Сформовані системні уявлення про закономірності і процеси впливу магнітного поля на механізм вилучення продуктів зношування, які на відміну від існуючих враховують дію внутрішнього магнітного поля кромки дискретних ділянок.

Методом скінченно-елементного аналізу доведено, що більша глибина дискретної ділянки є меншим концентратором напружень для основного матеріалу і їх рівень залежить від значень конструктивно-технологічних параметрів ТЛП.

Доведено, що завдяки впливу внутрішнього магнітного поля кромки дискретних ділянок, в умовах трибоконтакту з ТЛП, на регенерацію граничних мастильних плівок витрачається менше енергії за рахунок збільшення кількості діаманітних молекул мастильного матеріалу.

Практична цінність роботи полягає у тому, що автором одержано наукові результати, які є основою розробки комбінованого технологічного процесу підвищення зносостійкості деталей і вузлів тертя ТСП в екстремальних умовах експлуатації, та дозволяють на етапах їх створення здійснити вибір раціональних за складом та властивостями ТЛП з поглибленими дискретними ділянками для підвищення зносостійкості конструктивних елементів в умовах експлуатаційного навантаження. Зокрема, розроблено комбінований технологічний процес формування ТЛП для підвищення довговічності допоміжних накладок корінних листів та опорних сухарів ресор автомобільної техніки, що дозволило збільшити ресурс ресор в 1,7 рази.

Повнота викладення основних результатів дисертаційної роботи у опублікованих наукових роботах

За темою дисертаційної роботи надруковано 60 наукових праць, у тому числі 30 у фахових виданнях переліку МОН України, 6 наукових праць в спеціалізованих іноземних виданнях. Результати роботи доповідалися і пройшли апробацію на 17 конференціях, конгресах та форумах. Розробки захищені семи патентами на винаходи та корисні моделі. Всі вимоги положень ДАК МОН України щодо наукових публікацій витримано.

Зауваження по дисертаційній роботі, автореферату та їх оформленню

По розділу 1.

1. Аналіз стану проблеми та вибір напрямків досліджень займає 120 з 289 сторінок основної частини дисертації, що складає 42 %. В переліку установ, які працюють в галузі створення і дослідження дискретних поверхонь (табл. 1.4, с. 62), відзначено 16 зарубіжних центрів (50 посилань), а із решти посилань цієї тематики виокремлено лише одну вітчизняну установу – Інститут проблем міцності НАН України (10 посилань). Відсутні, зокрема, посилання на роботи, проведені в Хмельницькому національному

університеті щодо створення і дослідження властивостей дискретних поверхонь на основі електроконтактних способів обробки.

2. Короткі анотації літературних джерел (с. 24, 30, 32, 42, 72, 74, 75, 109, 116) є не зовсім коректними перекладами з російської мови, що дещо порушує морфологію тексту.

По розділу 2.

3. В табл. 2.4 (с. 155) наведені фізичні властивості води та олив 20А, И50А, МС-20, а дослідження впливу магнітного поля на діелектричні властивості проводили для мінеральної оливи МК-8 без посилання на інші середовища (с. 156).

4. В описі роботи пристрою (рис. 2. 5, в) на с. 159 не вказані частота обертання привідного вала, поздовжня і поперечна подачі бойка, які визначають крок між лунками дискретної поверхні.

5. Вираз «сплав на основі ВК8» (с.160) некоректний, оскільки ВК8 – твердий сплав на основі карбіду вольфраму (92% WC+8% Co). Відсутня схема пристрою формування дискретних поверхонь електроіскровим легуванням.

6. В опису режимів іонного азотування (с.162) визначено температуру у вакуумній камері 570...600° С, а в табл. 1. 3 (с. 35) –вказана некоректна для азотування температура 900...1100° С.

7. Деталі вузлів тертя техніки спеціального призначення виготовляють зазвичай з легованих і вуглецевих сталей (с. 26, рис. 1.5), а залишкові напруження визначали на зразках латуні (с.164). Для розрахунку залишкових напружень (с.166) використано незрозумілий термін «ступінь p точки O » у формулах (2.80) і (2.81).

По розділу 3.

8. Лунки дискретної поверхні сформовані втисненням алмазного індентора (с.188), але не вказано його форму і кут при вершині. Очевидно (с.187, рис. 3.1), використовували стандартну 4-х гранну піраміду з кутом при вершині 136° за методом Віккерса.

За таких умов при глибині лунки X_3 відстань між рядками X_1 і між лунками в рядку X_2 не може бути менше $2X_3/tg22^\circ$. При моделюванні геометричних параметрів лунок в роботі отримані дані по глибині лунок від 0,5 до 1,5 мм, що відповідає (з геометрії лунок) ширині лунок на поверхні відповідно 1,25 мм та 3,75 мм. Отже, при зазначеному в роботі оптимальному поздовжньому і поперечному кроці лунок порядку 2 мм, будемо мати майже повне перекриття лунок з відсутністю несучої поверхні. Такі результати моделювання оптимальних параметрів запропонованої дискретної структури з використання методики планування експерименту, на нашу думку, потребують корекції.

9. Залишкові напруження (рис. 3.3, 3.4, 3.5 (с.187, 189), математична модель (с. 91), рівні варіювання факторів (табл. 3.1, 3.2, с.192) та інші ілюстрації (с. 196...198) показані безвідносно марки матеріалу і розмірів зразка, а тому потребують додаткового пояснення.

10. Вказано (с. 198), що необхідні для розрахунку методом скінчених елементів граничні умови наведені в табл. 2.3, а фактично там наведено лише

властивості матеріалів. Вимагає обґрунтування значна різниця напружень на різних гранях лунки (табл. 3.18), оскільки наведені пояснення (с.208) є недостатньо аргументованими. Різниця, на нашу думку, передусім зумовлена тим, що зразок під час втискання індентора додатково рухався в напрямку поперечної подачі верстату.

11. В роботі не відображено, яким чином врахований вплив залишкових напружень, зумовлений механічним формуванням лунок, на еквівалентні напруження після іонного азотування та нанесення електроіскрових покриттів. Також не висвітлено вплив еквівалентних напружень тертя від контактної взаємодії в розглянутих трибосистемах з дискретними структурами на зносостійкість, що є важливим для такого дослідження

По розділу 4.

12. Не вказано відносно якого стану сталі 30ХГСА наведені показники зносостійкості на рис. 4.1 (с. 227), застосування текстурованої лункової поверхні (30ХГСА+Л) при абразивному зношуванні згідно рис. 4.1 підвищує зносостійкість у 2 рази, а за текстом (с.229) – в 1,5 рази, а у висновках (с.253) – у 1,5 – 3,6 рази; електроіскрове покриття ВК8+М – в 1,8 рази згідно рис. 4.1 і 2,2 рази за текстом (с.233).

Висновки (с.235) щодо показників зносостійкості сталі 30ХГСА з електроіскровим покриттям ВК8 і ВК8-М також значно відрізняються від показаних на рис. 4.1 і 4.12.

13. Оскільки одне з основних призначень утворюваних поглиблених лунок на поверхнях деталей це змащувальна дія, то виникає питання доцільності проведення експериментів в середовищі із незакріпленим абразивом.

По розділу 5.

14. Не встановлено функціональний зв'язок між механізмом фретинг-зношування і фретинг-втомою, що є основною характеристикою довговічності при циклічному навантаженні матеріалу (с. 286-296).

По розділу 6.

15. В дослідях тертя в умовах граничного мащення використовували контрзразки зі сталі 45 та індустриальне масло И-20А (с. 300, 309), яке практично не використовується для змащення вузлів тертя спецтехніки, а основними конструкційними матеріалами є леговані сталі (с. 26).

16. При розгляді фізичної моделі лунки з мастильним матеріалом (с. 306) вимагає пояснення термін «частинка рідини», зокрема її форма та розміри. Без цього не зрозумілі диференціальні рівняння 6.3 і 6.4. Допущена помилка у формулі 6.3 (с. 306), оскільки відцентрова (інерційна) сила $F_i = mw^2r$, а тому вирази 6.7 і 6.8 є не вірними, а розмірність R не відповідає одиниці сили в системі СІ.

По розділу 7.

17. Основним показником якості техніки спеціального призначення є надійність, тобто напрацювання до першої відмови, а довговічність (с.353) – це показник тривалої роботи з урахуванням ремонтів будь-якої техніки. Не

наведені конкретні показники екстремальних умов роботи техніки спеціального призначення.

Загальний висновок

Дисертаційна робота “Науково-методологічні основи підвищення зносостійкості робочих поверхонь деталей з текстурованою лунковою структурою в екстремальних умовах експлуатації ” є закінченою науково-дослідною роботою, що містить вирішення важливої науково-прикладної проблеми керування функціональними властивостями деталей за рахунок створення зносостійких поверхневих шарів в екстремальних умовах експлуатації.

Дисертаційна робота у цілому виконана на достатньому науковому рівні, її теоретичні і практичні результати є актуальними, науково обґрунтованими та достовірними. Оформлення, стиль і мова викладення роботи, хоча і мають певні недоліки, але в цілому відповідають вимогам.

У цілому робота 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, а її автор Марчук Володимир Єфремович заслуговує на присудження йому 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

10 січня 2017р.



Тебляшкіна Л.І.