

ВІДГУК

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

на дисертаційну роботу Гуменюка Ігоря Анатолійовича на тему **«Триботехнічні властивості сталі 12Х18Н10Т, поверхнево модифікованої комбінованими покриттями»**, подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.04 – тертя та зношування в машинах.

Дисертаційна робота Гуменюка І.А. є науково-дослідною роботою, яка представлена у вигляді рукопису та містить анотацію, вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел із 171 найменування та додатків на 13 сторінках. Дисертаційна робота викладена на 154 сторінках машинописного тексту із 48 рисунками і 21 таблицею. Загальний обсяг роботи 201 сторінка.

Актуальність обраної теми досліджень та зв'язок її з науковими програмами

Сучасний стан машинобудування потребує використання матеріалів з підвищеною міцністю та зносостійкістю. Задовольнити цим потребам можливо зокрема шляхом використання традиційних матеріалів шляхом розробки і дослідження нових технологічних способів модифікації їх поверхневих шарів.

Корозійностійкі сталі, які досліджуються в роботі, знайшли широке застосування у різних галузях промисловості внаслідок хорошої пластичності, зварюваності і високим опором корозії. Разом з цим низька твердість таких сталей суттєво обмежує галузь їх можливого використання як конструкційних матеріалів для деталей трибосистем. Тому доцільним і актуальним є розробка способів підвищення зносостійкості поверхневих шарів таких сталей із збереженням комплексу вказаних позитивних властивостей.

Тематика дисертації пов'язана з науковими дослідженнями кафедри технологій виготовлення та відновлення авіаційної техніки і кафедри машинознавства Національного авіаційного університету і виконана як складова частина досліджень за бюджетними темами: «Фізико-технологічні основи комбінованих методів формування зносостійких покриттів на титанових сплавах деталей авіаційної техніки» (№ ДР 0114U001604); «Наукові основи створення сучасних технологій інженерії поверхні деталей з

Загальна характеристика дисертаційної роботи

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, поставлені мета та завдання досліджень, визначені наукова новизна і практична значимість отриманих результатів, наведені дані щодо апробації і впровадження.

У першому розділі проведений аналіз відомих досліджень в галузі створення комбінованих зносостійких покриттів і обґрунтована актуальність та визначені основні напрямки досліджень.

Наведено аналіз літературних джерел про методи нанесення покриттів на сталі 12X18H10T з властивими їм перевагами та недоліками. Зазначено, що перспективним шляхом зміцнення поверхневих шарів аустенітних сталей є створення комбінованих покриттів, що надасть можливість підвищити їх триботехнічні й експлуатаційні властивості.

У другому розділі наведено відомості про сталь 12X18H10T, методики отримання та методи дослідження покриттів.

Запропоноване визначення фазового складу азотованих та хромоалітованих покриттів шляхом пошарового аналізу поверхні зразків на рентгенівському дифрактометрі у мідному монохроматизованому випромінюванні.

Наведена методика дослідження зносостійкості покриттів та коефіцієнту тертя в умовах тертя ковзання без змащування за схемою «вал-площина» або «вал-частковий вкладиш» на машинах тертя у парі із загартованою сталлю.

Для обробки результатів дослідів та виконання оптимізації технологічного процесу осадження градієнтного електролітичного покриття з боридними і карбідними наповнювачами описані методики проведення багатофакторного планування експерименту та математичної статистики.

У третьому розділі наведено результати досліджень фізико-механічних і триботехнічних властивостей сталі 12X18H10T після хромоалітування, електроіскрового легування та комбінованої обробки: дискретної лазерної з наступним азотуванням.

Досліджені фазові та хімічні склади, структура та мікротвердість хромоалітованого покриття на сталі 12X18H10T. Встановлено, що процес зношування композиції «сталь-покриття» контролюється градієнтною структурою багатокомпонентного покриття.

Проведені дослідження покриттів, отриманих методом електроіскрового легування, в процесі напилення яких відбувається формування високодисперсної термодинамічної нерівноважної структури тонкого конгломерату фаз. Показано, що відпал отриманих електроіскрових

евтектичних покриттів призводить до зниження коефіцієнта тертя і зниження зносостійкості при великих навантаженнях.

З метою створення зносостійких поверхневих шарів розроблені технологічні процеси і досліджені особливості дискретного структуроутворення при азотуванні попередньо обробленої лазером сталі 12X18H10T.

У четвертому розділі виконані теоретичні та експериментальні дослідження закономірностей формування композиційних електролітичних покриттів на сталі 12X18H10T. Триботехнічними дослідженнями встановлено, що зносостійкість КЕП залежить від розміру часток наповнювача, їх вмісту та сили зчеплення з нікелевою основою. Показано, що дифузійне хромовання КЕП зміцнює ці сили зв'язку.

На моделі композиційного матеріалу, в якому між наповнювачем та матрицею є перехідна зона з відповідним законом зміни в ній механічних властивостей, досліджено характер напруженого стану, що виникає в умовах навантаження силами тертя.

Досліджено вплив термічної обробки відпалюванням на триботехнічні властивості КЕП з наповнювачами евтектичного сплаву з різним ступенем нерівноважного структурного стану.

Проведений аналіз динаміки руйнування поверхневих шарів на основі енергетичної моделі. Визначено, що умова руйнування покриття в процесі тертя визначається його механічними властивостями.

Проведена оцінка процесу руйнування з точки зору енергетичного стану поверхні тертя. Показано, що дисипативна енергія є результатом пластичної деформації поверхневого шару при терті і перетворюється у пружну енергію дислокацій, які зосереджуються по границях зерен структури матеріалу і призводять до руйнування поверхні деталі.

У п'ятому розділі на основі енергетичного підходу до оцінювання зносостійкості поверхневих шарів за умов їх руйнування при терті змодельовано багат шарове градієнтне покриття, що формується на сталі 12X18H10T, досліджено механізм його зношування та триботехнічні властивості.

Розроблено технологічний процес формування градієнтного покриття з високою припрацьовуваністю і зносостійкістю, обумовленою забезпеченням виконання правила додатнього градієнта механічних властивостей.

Проведено математичне моделювання формування зносостійких градієнтних КЕП.

Проведено багатокритеріальну оптимізацію технологічного процесу формування зовнішнього підшару верхнього шару градієнтного покриття і встановлено найоптимальніше поєднання рівнів конструктивних та технологічних факторів, що впливають на критерії оптимізації

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

Обґрунованість наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність і новизна

Висунуті у дисертації наукові положення та отримані висновки і рекомендації у достатній мірі обґрунтовані. Достовірність теоретичних положень дисертації ґрунтується на застосуванні термодинамічної теорії прогнозування та руйнування твердих тіл, концепції самоорганізації та зносостійкості трибосистем, структурно-енергетичної пристосованості матеріалів.

Експериментальні результати ґрунтуються на мікроструктурних, рентгеноструктурних і рентгеноспектральних методах дослідження мікроструктури, визначення фазового та хімічного складу зміцнених поверхневих шарів. Для обробки результатів досліджень та виконання оптимізації технологічного процесу нанесення покриття застосовувались Методи багатофакторного планування експерименту та математичної статистики.

До найбільш **вагомих нових наукових результатів**, отриманих дисертантом можна віднести наступні.

1. На основі досліджень фазового та хімічного складу, структури та мікротвердості хромалітованого покриття на сталі 12X18H10T, встановлено, що процес зношування композиції «сталь-покриття» контролюється градієнтною структурою багатокомпонентного покриття з визначеним фазовим складом.

2. Встановлено, що відпал електроіскрових покриттів з термодинамічно нерівноважною структурою призводить до зміни їх триботехнічних властивостей, що дозволяє підібрати раціональні параметри сполученої пари в різних умовах тертя.

3. Запропоновані технології і досліджені особливості дискретного структуроутворення при азотуванні попередньо обробленої лазером сталі 12X18H10T. Встановлено, що існує оптимальний за критерієм зменшення інтенсивності зношування, вміст зміцнених ділянок.

4. Експериментально та теоретично доведено, що дифузійне хромування композиційних електролітичних покриттів ущільнює його та зміцнює сили зчеплення частинок наповнювача з нікелевою основою, утворюючи перехідну зону із зменшеними напруженнями тертя.

5. На основі енергетичної моделі трибопроцесу виконано аналітичне дослідження умов утворення частинок зносу в процесі фрикційного руйнування поверхневих шарів.

6. Застосовуючи енергетичний підхід до оцінювання зносостійкості поверхневих шарів за умов їх руйнування при терті розроблено технологічний процес формування градієнтного покриття з високою припрацьовуваністю і зносостійкістю

7. Проведено багатокритеріальну оптимізацію процесу формування верхнього шару градієнтного покриття. Встановлено найоптимальніше поєднання рівнів конструктивних та технологічних факторів.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

Розроблено технологічний процес формування градієнтного покриття з високою зносостійкістю із забезпеченням виконання правила додатного градієнта механічних властивостей.

Розроблено спосіб формування дискретних азотованих покриттів з підвищеною зносостійкістю.

Розроблено зносостійкий евтектичний сплав на основі заліза для нанесення електроіскрових покриттів.

Розроблене градієнтне покриття (наповнювач WC) з високою припрацьовуваністю і зносостійкістю

Одержані в роботі результати пройшли апробацію і прийняті до впровадження на підприємствах ДП «Луцький ремонтний завод «Мотор» та ДП «Завод 410 цивільної авіації».

Результати дисертаційної роботи використовуються у навчальному процесі на кафедрі машинознавства НАУ.

Повнота викладу основних результатів дисертації

За темою дисертаційної роботи надруковано 20 наукових праць, у тому числі 8 статей у фахових виданнях переліку МОН України, 2 наукові статті у закордонних періодичних виданнях за профілем дисертації. Результати роботи доповідалися і пройшли апробацію на 7 наукових конференціях. Розробки захищені трьома патентами на винаходи та корисні моделі. Всі вимоги положень ДАК МОН України щодо наукових публікацій витримано.

Зауваження по роботі.

1. Залежності коефіцієнту тертя та зносу від навантаження для зразків з хромоалітуванням і без нього (рис. 3.2) свідчать про зниження коефіцієнту тертя при збільшенні навантаження від 0,5 до 1,5 МПа при одночасному збільшенні зносу. Чим можна пояснити збільшення зносу при зниженні коефіцієнту тертя в даному випадку?

2. В роботі не наведена геометрична поверхнева будова дискретного покриття. Це не дозволяє оцінити висновок автора, що "більшою зносостійкістю характеризуються зразки з поверхнею, обробленою перпендикулярно до напрямку тертя порівнянню зі зразками, обробленими паралельно напрямку тертя", стор 92.

3. Не зрозуміло для зміцнених або незміцнених ділянок дискретного покриття наведені результати мікроструктурних досліджень, стор. 93.

4. В підрозділі 4.1 детально описується відома методика нанесення композиційних електролітичних покриттів, яку слід було навести в другому методичному розділі дисертації.

5. На графіках залежності зносу КЕП від вмісту наповнювача і розмірів і розмірів частинок TiB_2 (рис. 4.2, 4.3) видно чіткі оптимуми вказаних параметрів за критерієм мінімального зносу. Але в аналізі цих залежностей в даному розділі на цьому на акцентується увага. Також залежність від вмісту наповнювача отримана не при оптимальних розмірах цих частинок (~40 мкм).

6. За допомогою профілограм на рис. 4.8 та 4.9 автор доводить кращий стан поверхні після дифузійного хромування. Але для досліджень були прийняті зразки із різними розмірами частинок TiB_2 (50 та 80 мкм). Для впливу ефективності дифузійного хромування слід було досліджувати зразки з однаковими розмірами включень.

7. При аналізі впливу термічної обробки на зносостійкість композиційних електролітичних покриттів з наповнювачами евтектичного сплаву вказано, що підвищення зносостійкості відбувається внаслідок переведення структури у більш рівноважний енергетичний стан. При цьому не зовсім зрозуміло з тексту чому покриття саме з дрібними включеннями твердої фази знаходились у більш нерівноважному стані, що обумовило для них кращу ефективність вказаного процесу.

8. Використані в 4 розділі моделі зношування на основі кінетичної теорії Д.Г. Громаковського та залежності для опису процесу руйнування з точки зору енергетичного стану поверхні тертя мають чисто феноменологічний характер і не дозволяють отримати кількісних показників для вибору і порівняльної оцінки характеристик досліджених зносостійких покриттів.

9. Необхідно було показати практичне застосування запропонованих варіантів створення комбінованих зносостійких покриттів на конкретних деталях вузлів тертя і підтвердити їх ефективність результатами стендових або експлуатаційних випробувань.

10. Має місце дослівне повторення абзаців тексту на стор. 78 та на стор. 118. По тексту "Тут необхідно відмітити важливий момент...". Зустрічаються не зовсім науково-технічні терміни, наприклад, "не слід особливо побоюватись", стор. 86, "дуже високі властивості поверхні", стор. 89. Присутні описки, незначні граматичні та орфографічні помилки.

Вказані зауваження не знижують загальної позитивної оцінки роботи.

Загальний висновок

Дисертаційна робота «Триботехнічні властивості сталі 12Х18Н10Т, поверхнево модифікованої комбінованими покриттями» присвячена вирішенню науково-практичної задачі підвищення зносостійкості поверхневих шарів сталі 12Х18Н10Т шляхом нанесення комбінованих

дифузійних, електроіскрових та композиційних електролітичних покриттів дискретного і градієнтного типу та встановлення закономірностей впливу їх структурно-фазового складу, фізико-механічних властивостей та параметрів структури на триботехнічні характеристики.

Дисертаційна робота 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 відповідають встановленим вимогам. Зміст автореферату відповідає основним положенням і змісту дисертації.

У цілому робота відповідає вимогам пунктів 9, 11, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567, що висувуються до кандидатських дисертацій, а її автор Гуменюк Ігор Анатолійович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата 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

8 жовтня 2018 р.



Тебляшкіна Л.І.