

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Лопати Олександра Віталійовича

на тему **«Забезпечення механічних властивостей поверхонь деталей із газотермічними покриттями електроконтактною обробкою»**,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань **13 Механічна інженерія**

за спеціальністю **131 Прикладна механіка**

Актуальність теми дисертації.

Технічний прогрес в промисловості у значній мірі обумовлений розробкою нових ресурсозберігаючих, наукоємних та високопродуктивних технологій, що забезпечують у кінцевому результаті надійність та експлуатаційні властивості машин та механізмів, причому рівень цих властивостей в основному залежить від стану поверхні і поверхневого шару, а частково – від основи деталі.

Серед багатьох методів інженерії поверхні важливу роль відіграють методи модифікування матеріалу газотермічними покриттями імпульсним електроконтактним обробленням, які дозволяють деталям машин працювати в екстремальних умовах, під впливом високих температур, значних механічних навантажень та агресивних середовищ.

Застосування газотермічних зміцнювальних покриттів дає можливість поєднати їх захисні та зміцнюючі властивості з механічними характеристиками деталей машин, зокрема міцністю та твердістю, що суттєво інтенсифікує зростання робочих параметрів конструкцій, машин та обладнання.

Використання порошкових матеріалів для формування газотермічних покриттів дозволяє варіювати їх хімічним складом і забезпечувати необхідні механічні властивості покриття та розширювати сферу їх використання. Із застосуванням захисних зміцнювальних покриттів зникає необхідність використання дорогавартісних легуючих елементів для виготовлення конструкційних матеріалів деталей.

Серед методів нанесення покриттів газотермічним напиленням найбільшого поширення знайшли методи газополуменового та електродугового напилення, як простіші в реалізації та характеризуються технологічною гнучкістю застосування до різних типорозмірів деталей. Разом з тим, при реалізації цих методів покриття мають недостатні механічні властивості (міцність зчеплення 30...40 МПа, щільність 60...70 %, твердість 35...40 HRC), що суттєво знижує їх експлуатаційні властивості (зносостійкість, корозійну стійкість тощо) та обмежує сферу застосування.

Дані недоліки газотермічних покриттів можна усунути їх модифікацією та обробленням: термічним, хіміко-термічним, лазерним, ультразвуковим, механо-термічним тощо.

Важливу роль у поліпшенні показників надійності та експлуатаційних властивостей деталей відіграє поєднання нанесення покриттів з їх обробленням, що запобігає виникненню пошкоджень різного роду, в тому числі й тріщин втоми на поверхні деталей машин в процесі експлуатації.

Застосування способів оброблення покриттів з мінімальним впливом тепла є найбільш важливим завданням. Реалізація цих способів передбачає автономне або спільне використання механічних, температурних та хімічних факторів, що ефективно реалізується способом імпульсного електроконтактного оброблення.

В основі цього способу оброблення лежить принцип синхронного поєднання імпульсних режимів механічної та електричної енергії, що має ряд переваг: мінімальний вплив тепла та термічної дії на поверхню деталі з покриттям; процес реалізується в твердій фазі, його режими забезпечують високу міцність зчеплення, сприяють утворенню залишкових напружень стиску, які підвищують опір втоми; а використання механічного фактору підвищує щільність покриттів.

Забезпечення механічних властивостей (міцності зчеплення, адгезійно-когезійних зв'язків, щільності тощо.) поверхонь деталей з газотермічними покриттями можливо за рахунок імпульсного характеру взаємодії механічного й термічного факторів імпульсної електроконтактної обробки.

У зв'язку з викладеним, задача дослідження забезпечення механічних властивостей поверхонь деталей із газотермічними покриттями електроконтактною обробкою є актуальною.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Вперше науково обґрунтовано доцільність використання імпульсної електроконтактної обробки як засобу забезпечення механічних властивостей деталей з газотермічними покриттями за рахунок підвищення міцності адгезійно-когезійних зв'язків в системі «поверхня деталі – покриття», що обумовлено ущільненням напиленого покриття та його напружено-деформованим станом.

2. Набули подальшого розвитку уявлення та теоретичні моделі визначення щільності і міцності зчеплення газотермічних покриттів:

- розроблена математична модель залежності щільності напиленого покриття від тиску імпульсної електроконтактної обробки, яка включає механічні властивості матеріалу покриття (границя текучості, границя міцності) і його відносну щільність;

- встановлена залежність адгезійної міцності напилених покриттів від тиску формуючого інструменту на порошковий шар. Визначено, що імпульсна

електроконтактна обробка підвищує адгезійну міцність напилених покриттів до 200 МПа;

– доведено, що підвищення адгезійної міцності та щільності напилених покриттів забезпечується механічним фактором процесу імпульсної електроконтактної обробки.

3. На основі аналізу напружено-деформованого стану поверхонь з покриттям встановлено, що товщина покриттів має знаходитись в межах 0,75...3 мм для забезпечення міцності зчеплення покриттів на рівні 100...200 МПа. При підвищенні модуля пружності покриття до модулю пружності компактного матеріалу різниця напружень між поверхнею деталі та покриттям і напружений стан в самій деталі зменшується. При більшому модулі пружності покриття адгезійна міцність між покриттям та поверхнею деталі вища ніж там, де покриття має менший модуль пружності.

4. Вирішені теоретичні та прикладні задачі, за допомогою яких доведена можливість забезпечення граничних значень механічних властивостей (щільності, адгезійно-когезійної міцності, модуля пружності, твердості) газотермічних покриттів шляхом їх імпульсної електроконтактної обробки, що дозволило встановити раціональні режими ведення обробки (сили струму

$I = 10$ кА, тиску $P = 40$ МПа, $t_{\text{имп}} = t_{\text{п}} = 0,04$ с) та отримати характеристики адгезійної міцності до 200 МПа, твердості до 60 HRC, пористості до 3%, й тим самим приблизити модуль пружності покриттів до модулю пружності компактних матеріалів, що дозволило підвищити їх експлуатаційні властивості, і насамперед, зносостійкість в 2...3 рази.

Достовірність одержаних результатів визначається збіжністю теоретичних і експериментальних досліджень; використанням теоретичних засад наукових положень інженерії поверхні, де важливу роль відіграють методи модифікування матеріалу газотермічними покриттями електроконтактною обробкою, оброблення металів тиском, оброблення матеріалів різанням моделювання НДС поверхонь деталей з покриттями, використанням програмного комплексу MSC visual NASTRAN, та отриманням математичної моделі процесу імпульсного електроконтактного оброблення газотермічних покриттів, дій характеристик процесу заглиблення лінійних інденторів: сили індентування, твердості і пластичності зразка на параметри покриття.

Положення та висновки дисертації базуються на експериментальних даних, представлених у роботі, та є належним чином обґрунтованими. Під час проведення досліджень застосовувалися сучасні методики та методи, обладнання, діагностична техніка, математичні методи аналізу статистичної інформації та обробки результатів експериментів.

Наукові дослідження виконані здобувачем на кафедрі зварювального виробництва НН ІМЗ ім. Є.О. Патона КПІ ім. Ігоря Сікорського із використанням технологічних можливостей лабораторій кафедри під

керівництвом доктора технічних наук, професора Смирнова Ігоря Володимировича.

Дисертаційна робота безпосередньо пов'язана з науково-дослідною роботою «Технологія комбінованого лазерного та імпульсноплазмового нанесення зносостійких покриттів для зміцнення стволів вогнепальної зброї» (держреєстрація №0121U111822).

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання, забезпечення механічних властивостей поверхонь деталей із газотермічними покриттями електроконтактною обробкою, виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота забезпечення механічних властивостей поверхонь деталей із газотермічними покриттями електроконтактною обробкою здобувача Лопати О.В. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 131 Прикладна механіка та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Прикладна механіка».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Створення елементів конструкцій з покриттями, забезпечення та дослідження їх механічних властивостей»

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Лопати Олександра Віталійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Всі цитати оформлені належним чином, усі першоджерела, з яких взяті цитування, присутні у списку використаних джерел.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою. Стиль викладання матеріалу чіткий та зрозумілий, з використанням загальноживаної термінології наукового напрямку.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 251 сторінки, у тому числі 150 сторінок основного тексту дисертації, 60 рисунків, 27 таблиць, 7 додатків і список використаних джерел із 222 бібліографічних найменувань.

Вступ демонструє актуальність теми дисертаційного дослідження, його зв'язок з науковими програмами, планами, темами, мету, завдання, предмет та

об'єкт роботи, використані методи досліджень, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача, апробацію матеріалів дисертації, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі представлено аналітичний огляд джерел за тематикою дисертації: методів забезпечення підвищення механічних властивостей поверхонь деталей; напрямів досліджень, що спрямовані на вивчення ущільнення покриттів, мікромеханіку контактної взаємодії напилених порошкових шарів між собою й поверхнею деталі; визначення міцності зчеплення, щільності, механічних властивостей покриттів (модуля пружності, адгезійної та когезійної міцності тощо), обґрунтовано доцільність використання імпульсного електроконтактного оброблення для підвищення механічних властивостей поверхонь деталей з підвищеними механічними властивостями поверхонь деталей з газотермічними покриттями

Наведено висновки до розділу.

Другий розділ присвячений загальній методології проведення науково-експериментальних досліджень, матеріалам і обладнанню для формування поверхонь з покриттями, методикам дослідження й визначення їх механічних властивостей, методам математичного моделювання й чисельних розрахунків.

У третьому розділі реалізовано та представлено результати комплексних розрахунково-експериментальних досліджень механічних властивостей (міцності зчеплення, напружено-деформованого стану, залишкових напружень, щільності, твердості тощо) поверхонь деталей машин із покриттями.

Розроблена математична модель, що встановлює залежність щільності напилених покриттів від тиску електроконтактного оброблення, яка підтверджена експериментально шляхом кількісного стереологічного аналізу. Отримано залежність, що встановлює зв'язок площі контакту з міцністю зчеплення між покриттям та основою, також встановлена залежність адгезійної міцності напилених покриттів від тиску формуючого інструменту на напилений порошковий шар.

Встановлено, методом рентгеноспектрального аналізу, що збільшення міцності зчеплення напилених покриттів є результатом утворення значного дифузійного прошарку між покриттям і поверхнею деталі та підвищенням коефіцієнту дифузії.

Сформульовано висновки до розділу.

У четвертому розділі надано результати дослідження впливу режимів імпульсного електроконтактного оброблення на механічні властивості системи «поверхня деталі-покриття», вибору її параметрів.

Запропонована математична модель та методи експериментально-статистичного й обчислювального експерименту для розрахунку оптимальних режимів електроконтактної обробки та їх використанні при розробленні практичних рекомендацій для створення поверхонь деталей із газотермічними покриттями.

Наведено висновки до розділу.

У роботі представлено загальні висновки, що містять основні наукові і практичні результати, які отримані автором.

У додатках до роботи наведено список публікацій здобувача за темою дисертації, патенти України на корисну модель, пакет прикладних програм ПРІАМ та акти практичного використання результатів дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлені у 24 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 8 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, яка віднесена до третього квартилу (Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports; 2 патенти України на корисну модель.

Результати дисертаційної роботи апробовані на 13 науково-технічних конференціях.

Публікації здобувача мають високий науковий рівень, а особистий внесок автора до них не викликає сумнівів. У всіх публікаціях дотримано принципів академічної доброчесності.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Необхідно більш чітко розкрити можливості підвищення адгезійної міцності та щільності покриттів сформованих електроіскровим легуванням, а також розкрити їх зв'язок з модулем пружності.

2. Отримана математична модель залежності критерія міцності від конструктивних, технологічних і експлуатаційних факторів не підтверджена розрахунками на достовірність отриманих коефіцієнтів моделі та адекватність їх використання.

3. Приведені рекомендації оптимальних параметрів режимів електроконтактного оброблення представлені у вигляді досить широких діапазонів (величина тиску 20...40 МПа, струм 8...16 кА), які не можуть бути використані як оптимальні у вигляді конкретних значень.

4. У роботі доцільно було більш детально розкрити особливості впливу механічних властивостей поверхонь деталей із газотермічними покриттями властивостей на зносостійкість, ресурс та працездатність деталей з покриттями.

5. У роботі наявні деякі стилістичні, лексичні та граматичні помилки у представленні результатів досліджень.

У деяких наведених графіках роботи автор не наводить значення початкових умов, при яких вони отримані (рис. 2.9, стр.102; рис. 3.9, стр. 142), та не вказано, при яких параметрах отримані залежності.

Разом з тим, вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Лопати Олександра Віталійовича на тему «Забезпечення механічних властивостей поверхонь деталей із газотермічними покриттями електроконтактною обробкою», виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є завершеним науковим дослідженням, яке містить нові наукові положення та практичні результати, і має вирішення конкретної наукової задачі для галузі знань 13 Механічна інженерія.

Вважаю, що за своїм змістом, актуальністю, науковою новизною та практичною цінністю дисертаційна робота «Забезпечення механічних властивостей поверхонь деталей із газотермічними покриттями електроконтактною обробкою» є завершеною науковою працею та повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6-9 «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 від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор Лопата Олександр Віталійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань «Механічна інженерія» за спеціальністю 131 «Прикладна механіка».

Рецензент:

професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій виробництва приладів

Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут

імені Ігоря Сікорського»,

доктор технічних наук, професор

Віктор АНТОНЮК

Підпис доктора технічних наук,

професора Антонока В.С.

засвідчую:

Вчений секретар КПІ ім. Ігоря Сікорського

Валерія ХОЛЯВКО

М.П. 1 грудня 2023 року

