

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.

Перспективним способом вирішення проблем вибору та використання матеріалів деталей машин, здатних працювати в екстремальних умовах, при спільній дії високої температури, механічних навантажень й агресивних середовищ, є застосування композиційних матеріалів типу «поверхня деталі-покриття», що дозволяє поєднати захисні, зміцнюючі властивості покриттів з механічною міцністю деталей. Захисні покриття - перспективний спосіб підвищення міцності деталей та їх захисту від впливу теплових потоків та агресивних середовищ. Застосування покриттів суттєво інтенсифікує зростання робочих параметрів конструкцій, машин та обладнання.

Застосування захисних зміцнювальних покриттів — єдине вирішення проблеми забезпечення механічних властивостей деталей, зокрема міцності та твердості. Із застосуванням покриттів відпадає необхідність витрачання легуючих елементів для виготовлення всієї деталі. Використання порошкових матеріалів для покриттів дозволяє варіювати їх хімічним складом і забезпечувати задані механічні властивості покриття та розширювати сферу їх використання.

Серед методів нанесення покриттів найбільше застосування знайшли методи газотермічного напилення. Методи газополуменового та електродугового напилення більш прості в реалізації, 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 функціональні властивості (зносостійкість, корозійну стійкість, інші) та обмежує сферу застосування. Механічні властивості поверхонь деталей з покриттями визначають їх міцність, несучу здатність, довговічність та працездатність.

Недоліки газотермічних покриттів можна усунути їх модифікацією та способами обробки: термічною, хіміко-термічною, лазерною, ультразвуковою, механо-термічною та іншими видами. Поєднання нанесення покриттів з їх обробкою - перспективні методи інженерії поверхні. Використання цих методів запобігає виникненню пошкоджень різного роду, в тому числі й тріщин втоми

на поверхні деталей машин, що експлуатуються в складних умовах термосилового навантаження. Застосування способів обробки покриттів з мінімальним тепловкладенням – завдання першорядної важливості. Їх реалізація передбачає автономне або спільне використання механічних, температурних та хімічних факторів. У зв'язку з цим, значний інтерес становить імпульсна електроконтактна обробка.

В основі цього способу обробки лежить принцип синхронного сполучення імпульсних режимів механічної та електричної енергії. Його переваги: мінімальні тепловкладення та термічні 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 фактора дає змогу підвищити щільність покриттів до щільності компактних матеріалів.

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

У зв'язку з викладеним, актуальним є забезпечення механічних властивостей поверхонь деталей з газотермічними покриттями імпульсною електроконтактною обробкою. Дослідження механічних властивостей газотермічних покриттів після їх імпульсної електроконтактної обробки дозволить довести доцільність її використання.

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 (межі текучості, межі 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, $t_{\text{імп}} = t_{\text{п}} = 0,04$ 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.

Положення та висновки дисертації базуються на експериментальних даних, представлених у роботі, та є належним чином обґрунтованими. Під час проведення досліджень було застосовано сучасні методи, інструменти й обладнання, що у поєднанні з високою кореляцією отриманих даних обумовлює достовірність наукових результатів.

Наукові дослідження були 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. Робота мала зв'язок 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, а саме забезпеченні адгезійно-когезійної міцності газотермічних покриттів за рахунок імпульсної електроконтактної обробки для підвищення експлуатаційних

властивостей поверхонь деталей, виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

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

За своїм змістом дисертаційна робота 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.

Матеріал дисертації викладено логічно та послідовно, з використанням загальноновживаної термінології наукового напрямку.

Дисертація складається з 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: методи забезпечення підвищення механічних властивостей поверхонь деталей із газотермічними покриттями; напрями 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). Наведено висновки до розділу.

Другий розділ присвячений матеріалам і обладнанню для створення 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) поверхонь деталей машин із покриттями. Розроблена розрахункова модель, що встановлює залежність щільності напилених покриттів від тиску електроконтактної обробки. Результати теоретичних досліджень підтверджені експериментально шляхом кількісного стереологічного аналізу. Отримано рівняння, що встановлює зв'язок площі контакту з міцності зчеплення між покриттям та основою та встановлена залежність адгезійної міцності напилених покриттів від тиску формуючого інструменту на напилений порошковий шар. Визначено методом рентгеноспектрального аналізу, що збільшення міцності зчеплення напилених покриттів є результатом утворення значного дифузійного прошарку між покриттям і поверхнею деталі та підвищенням коефіцієнту дифузії в два рази. Сформульовано висновки до розділу.

У четвертому розділі описано результати дослідження впливу режимів імпульсної електроконтактної обробки на механічні властивості системи «поверхня деталь-покриття», вибору її оптимальних параметрів. Запропонована модель та методи експериментально-статистичного й обчислювального експерименту для розрахунку оптимальних режимів електроконтактної обробки та їх використанні при розробці практичних рекомендацій для створення поверхонь деталей із газотермічними покриттями. Наведено висновки до розділу.

У розділі Висновки сформульовано основні висновки за дисертаційною роботою.

У додатках наведено список публікацій здобувача за темою дисертації, патенти України на корисну модель, результати розрахунків моделей, що характеризують залежність адгезійної міцності та пористості від параметрів імпульсної електроконтактної обробки та результати їх статистичного аналізу; що здійснені за допомогою пакету прикладних програм ПРІАМ; результати дослідження механічних характеристик та триботехнічних випробувань поверхонь деталей із покриттями; акти використання результатів дисертаційної роботи здобувача у КАТП «Агробудсервіс» та Бердичівський РБ Західного управління ВРТП «Укргазенергосервіс» при зміцненні та підвищенні ресурсу деталей.

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.

Також результати дисертації були апробовані на 13 наукових фахових 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. У роботі доречним би було навести можливі галузі застосування електроконтактної обробки, а саме для яких деталей та яких матеріалів вона використовується.

2. В роботі не досить чітко показано за рахунок чого відбувається збільшення адгезійної міцності та щільності покриттів і як модуль пружності покриття пов'язаний з адгезійною міцністю та щільністю.

3. В роботі необхідно було підкреслити вплив механічних властивостей поверхонь деталей із газотермічними покриттями властивостей, і саме яких, на їх зносостійкість, ресурс та працездатність при використанні пропонуємої технології обробки.

4. Із роботи не зрозуміло чи застосовуються методи обробки, і які, перед використанням електроконтактного методу і після його використання.

5. В роботі не представлені вихідні дані для розрахунку коефіцієнтів дифузії.

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.

Вважаю, що 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 закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 13 Механічна інженерія. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною 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.

Здобувач Лопата Олександр Віталійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань «Механічна інженерія» за спеціальністю «Прикладна механіка»

Рецензент:

Професор кафедри високотемпературних
матеріалів та порошкової металургії,
Навчально-наукового інституту
матеріалознавства та зварювання
імені Є.О. Патона,
Національного технічного
університету України
«Київський політехнічний
інститут ім. Ігоря Сікорського»,
доктор технічних наук, професор



Анатолій МІНІЦЬКИЙ

Підпис Мініцького А.В. засвідчую

Директор
Навчально-наукового інституту
матеріалознавства та зварювання
імені Є.О. Патона,
Національного технічного
університету України
«Київський політехнічний
інститут ім. Ігоря Сікорського»



Ігор ВЛАДИМИРСЬКИЙ

04 грудня 2023 року