

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Полив'яного Сергія Олександровича «Удосконалення технології формування
покриттів на деталях з титанових сплавів холодним газодинамічним
напилюванням», поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі
знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 132 Матеріалознавство.

Актуальність теми дисертації.

В умовах зростання інтенсивності використання авіаційної техніки проблема забезпечення її працездатності, підвищення надійності та подовження ресурсу деталей авіаційних двигунів набуває стратегічного значення. Більшість несправностей авіаційної техніки пов'язані з надмірним зношенням деталей, що призводить до збільшення витрат на ремонт, особливо в умовах обмеженого доступу до імпорتنих запчастин, і зменшення боєготовності авіапарку.

У такій ситуації розроблення нових технологій відновлення та зміцнення зношених деталей, зокрема з титанових сплавів, стає надзвичайно актуальним. Відомо, що титан, незважаючи на високу міцність та корозійну стійкість, має низьку зносостійкість, що обмежує його застосування в умовах тертя. Одним з сучасних і перспективних технологічних рішень проблеми відновлення деталей є використання методу холодного газодинамічного напилювання як інструменту формування захисних і відновлювальних покриттів без термічного впливу на основну деталь.

Саме тому дане дисертаційне дослідження, спрямоване на вирішення задачі подовження ресурсу роботи деталей авіаційної техніки з титанових сплавів за рахунок удосконалення технології нанесення відновлювальних покриттів з використанням методу холодного газодинамічного напилювання, є своєчасним і надзвичайно актуальним.

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

Дисертація має обсяг основної частини 141 сторінку, складається з анотацій українською і англійською мовами, вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 189 найменувань та двох додатків.

Дисертація має струнку загальну структуру, логічно побудована і являє собою завершену комплексну роботу, яка містить результати теоретичних і експериментальних досліджень, а також промислових випробувань і впровадження.

У першому розділі виконано ґрунтовний аналіз проблеми використання титанових сплавів в авіаційному двигунобудуванні, причин виникнення експлуатаційних дефектів та шляхів їх усунення. Розглянуто сучасні технологічні методи зміцнення і відновлення поверхневих шарів деталей з титанових сплавів. Визначено перспективи холодного газодинамічного напилювання для формування захисних і відновлювальних покриттів на деталях з зазначених сплавів для подовження їх ресурсних показників. В результаті визначено не тільки досягнуті успіхи, але і існуючі протиріччя даних різних дослідників і практиків, обґрунтовано напрямки і вірно визначено задачі даного дисертаційного дослідження.

Базуючись на висновках першого розділу роботи у другому розділі здійснено вибір матеріалів покриття та підкладки. Обґрунтовується комплекс експериментальних методів досліджень, які використовуються в роботі, а також обговорюється склад і особливості експериментального і технологічного обладнання.

У третьому розділі наведено результати теоретичних досліджень температурно-швидкісних характеристик порошку в каналі сопла та на виході з нього з використанням відомої газодинамічної моделі та чисельного моделювання з використанням програмного пакету Ansys Fluent. Визначено вплив основних параметрів процесу холодного напилювання на нагрівання та прискорення частинок порошку. Доведено, що CFD-модель адекватно описує течію газу та поведінку частинок в потоці та може бути використана для розрахунків в межах розглянутої задачі. Виконано ґрунтовне порівняння отриманих результатів і проведено аналіз можливих причин розбіжностей. Розроблено рекомендації з вибору режимних параметрів напилювання за критерієм максимальної швидкості частинки на виході з сопла.

Наступний розділ дисертації присвячено комплексному дослідженню характеристик покриттів на основі нікелю на титановому сплаві – адгезійної міцності, мікротвердості, особливостей мікроструктури, - а також технологічного параметру - коефіцієнту використання порошку. З використанням методу багатокритеріальної оптимізації отримано оптимальну комбінацією параметрів холодного газодинамічного напилювання з робочим тиском повітря до 1,0 МПа, що забезпечує максимальні значення адгезійної міцності та коефіцієнту використання порошку. Наведено аналіз отриманих результатів та обґрунтовано закономірності впливу параметрів напилювання на досліджувані характеристики.

У заключному розділі розроблено практичні рекомендації щодо процесу відновлення пошкоджених поверхонь холодним газодинамічним напилюванням, подано рекомендації з відновлення пошкодженої поверхні реальної деталі з титанового сплаву. Розроблено маршрутний технологічний процес нанесення покриття для відновлення розмірів зношених поверхонь корпусу сателіту з титанового сплаву ВТ5Л, спроектовано технологічне оснащення та розраховано основні економічні показники. Новизна технологічних рішень, розроблених у роботі, а саме способу відновлення зношених поверхонь деталей, підтверджується отриманим патентом України на корисну модель. Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені у АТ «Мотор Січ».

Напрямок досліджень, представлені у дисертаційній роботі Поливяного Сергія Олександровича результати відповідають спеціальності 132 Матеріалознавство. Дисертація є самостійним завершеним дослідженням, результати якого мають наукову новизну і практичну цінність.

У роботі чітко простежується логічна послідовна структура викладення матеріалу, обґрунтованість постановок задач, вибір методів і аналіз отриманих результатів. Дисертація відповідає принципам академічної доброчесності: відсутні ознаки плагіату, компіляції, фальсифікації чи фабрикації результатів. Усі залучені джерела коректно процитовано, при використанні матеріалів інших авторів наведено посилання на відповідні джерела.

Обґрунтованість наукових результатів дисертації, їх достовірність та новизна.

Використання комплексу сучасних та взаємодоповнюючих теоретичних і експериментальних методів вивчення структури й властивостей матеріалів, дослідження технологічних методів і режимів забезпечують високу достовірність отриманих результатів.

Наукові положення, висновки та рекомендації, розвинуті у дисертації, добре обґрунтовані, базуються на глибокому аналізі явищ та процесів, що досліджуються, проведеному на сучасному рівні комплексі теоретичних і експериментальних досліджень та практичною реалізацією результатів роботи. Отримані результати відповідають меті та завданням дисертаційної роботи, що забезпечується адекватністю обраних для дослідження методів. Висновки, що сформульовані в роботі, не суперечать класичним уявленням щодо формування структури та властивостей металевих матеріалів.

Серед результатів, які отримані при виконанні досліджень вперше і, безумовно, мають наукову новизну, слід зазначити наступне:

- отримано закономірності впливу температури газового потоку на вході в сопло та діаметра частинок нікелевого порошку на температурно-швидкісні характеристики руху частинок в каналі сопла, виконаного за ежекторною схемою, для холодного газодинамічного напилювання з робочим тиском до 1,0 МПа, що дозволило визначити оптимальні температурний режим напилювання та розмір фракції порошку за критерієм максимальної швидкості частинки на виході з сопла;

- теоретично обґрунтовано та експериментально доведено можливість використання композиційної порошкової суміші на основі нікелю з додаванням оксиду алюмінію для формування захисних і відновлювальних покриттів на деталях з титанових сплавів холодним газодинамічним напилюванням з робочим тиском повітря до 1,0 МПа, застосування якої підвищує ресурс деталей при їх відновлювальному ремонті;

- на базі експериментальних даних одержано закономірності впливу режимів холодного газодинамічного напилювання з робочим тиском повітря до 1,0 МПа (температура повітря, витрата порошку, дистанція напилювання) на фізичні і технологічні характеристики покриттів і процесу (адгезійна міцність, мікротвердість, мікроструктура, коефіцієнт використання порошку), при нанесенні покриттів на титанові сплави. Отримані емпіричні залежності описуються поліномом другого порядку і дають змогу прогнозувати адгезійну міцність покриттів на титанових сплавах і коефіцієнт використання порошку при холодному газодинамічному напилюванні композиційних порошкових сумішей.

Практична значимість результатів.

На основі отриманих наукових результатів автором розроблено маршрутний технологічний процес нанесення покриття для відновлення розмірів зношених поверхонь корпусу сателіту з титанового сплаву BT5Л, спроектовано технологічне оснащення.

Розроблено технологічні рекомендації щодо ведення технологічного процесу відновлення пошкоджених поверхонь деталей, що охоплюють підготування поверхні до напилювання (механічним та струмінно-абразивним обробленням), метод захисту ділянок, які не підлягають напилюванню, підготування порошкового

матеріалу, напилювання покриття, контроль якості покриття, механічне оброблення поверхні.

Ефективність технологічних рішень підтверджується їх впровадженням у діяльності АТ «Мотор Січ» з високим економічним результатом.

Наукові і прикладні результати також впроваджені у навчальний процес Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут».

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертація Поливяного С. О. написана хорошою українською мовою, що відповідає загальному стилю наукових досліджень із використанням термінології, яка є стандартною для даної області, легко читається. Робота розкриває головні ідеї та здобутки автора. Структура дисертації, як зазначено вище, є цілком логічною. Вимоги до об'єму дисертації автором витримані.

Дисертація оформлена у повній відповідності до вимог, зазначених у наказі МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Недоліки та зауваження щодо дисертаційної роботи.

Відзначаючи хороший рівень роботи, наукове та прикладне значення результатів доцільно зробити деякі зауваження і побажання:

1. У третьому розділі дисертаційної роботи здобувачем визначено температуру та швидкість руху частинок порошку нікелю, проте в частині експериментальних досліджень в якості другої фази використовується порошкова суміш «нікель + оксид алюмінію Al_2O_3 ». Вважаю, було б доцільним виконання розрахунків параметрів і для частинок суміші.

2. У роботі подано інформацію про вміст оксиду алюмінію в початковій суміші (близько 40%), проте не зазначено його кількості в отриманих покриттях.

3. Здобувач рекомендує використання композиційної порошкової суміші на основі нікелю з додаванням оксиду алюмінію для формування захисних і відновлювальних покриттів на деталях з титанових сплавів холодним газодинамічним напилюванням, проте в роботі відсутнє дослідження зносостійкості покриттів.

4. У якості рекомендацій вважаю доцільним сформулювати шляхи підвищення коефіцієнту використання порошку, максимальні значення якого склали 29,5%.

Але зазначені зауваження не стосуються основних положень, висновків і рекомендацій дисертації, не знижують наукової та практичної цінності виконаної роботи.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

За результатами досліджень опубліковано 13 наукових праць, з яких 4 статті у наукових періодичних виданнях, включених до категорії «А» Переліку наукових фахових видань України, або у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus (з них одна стаття у виданні з кварталом Q2 і 3 статті у виданнях з кварталом Q3); 4 статті у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України (категорія Б); 2 матеріали

конференцій, які індексуються у науково-метричній базі даних Scopus; 3 матеріали в збірниках тез доповідей вітчизняних конференцій; 1 патент України на корисну модель. Усі публікації безпосередньо пов'язані із дисертацією, в них не виявлено порушень принципів академічної доброчесності та плагіату. Тож результати, що наведені в дисертації, належним чином висвітлені у публікаціях здобувача та пройшли хорошу апробацію.

Загальний висновок.

Проведений аналіз змісту і основних положень дисертації С.О.Полив'яного дозволяє стверджувати, що робота являє собою завершене дослідження, яке виконане на високому рівні, в ній отримані нові і достовірні результати, які ефективно вирішують актуальну наукову і прикладну задачу подовження ресурсу роботи деталей авіаційної техніки з титанових сплавів за рахунок удосконалення технології нанесення відновлювальних покриттів. Дисертація містить нові наукові та практичні результати, що відносяться до галузі знань 13 Механічна інженерія.

Враховуючи викладене, вважаю, що дана дисертація за змістом, обсягом, науковою новизною і практичною цінністю результатів, кількістю та якістю публікацій відповідає вимогам, що зазначені в п.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, має бути оцінена позитивно, а її автор, Полив'яний Сергій Олександрович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 132 Матеріалознавство.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
декан фізико-технічного
факультету Дніпровського
національного університету
імені Олеся Гончара.

Анатолій САНІН