

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

СОТНІКОВА ЄВГЕНІЯ ГЕОРГІЙОВИЧА

«Удосконалення складу газотермічних ущільнювальних покриттів деталей турбіни для підвищення ефективності газотурбінних двигунів», яка подається до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.02.01 – матеріалознавство.

Актуальність теми дисертації. Невпинне підвищення коефіцієнта корисної дії і, як слідство, збільшення енергоефективності газотурбінних двигунів завжди було актуальною задачею у авіаційній галузі виробництва. Поглиблене вивчення структурних перетворень під впливом високих температур дозволили автору удосконалити склад покриття, яке забезпечить збереження стабільного розміру зазору між ротором і статором ГТД при температурах експлуатації 1100 °С. Вагомими факторами, які суттєво впливають на структуроутворення ущільнювальних покриттів, обрані об'єкти, що визначаються можливістю забезпечити припрацьованість конструктивних вузлів авіаційного двигуна на початковому етапі його експлуатації і зберігали б сталу геометрію зношеного контуру впродовж міжремонтного періоду при температурі до 1100 °С.

Оцінка обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.

Обґрунтованість та достовірність основних наукових положень дисертаційної роботи підтверджено правильним вибором сучасного дослідного обладнання та проведенням коректних експериментальних досліджень.

Виконана дисертаційна робота надає повне обґрунтування вирішенню науково-практичної задачі розробки хімічного складу ущільнювального

покриття турбіни високої експлуатаційної стійкості в умовах дії високотемпературного газового потоку. Моделюванням процесу експлуатації лабіритних ущільнень виявлено особливості плинущого газопотоку турбіни компресора і вільної турбіни ГТД сімейства ТВЗ–117 та встановлено залежності витрат газу від величини зазору.

Результати, висновки та рекомендації дисертаційної роботи базуються на значному теоретичному та експериментальному матеріалі, який добре узгоджується із сучасними уявленнями матеріалознавства, містять наукову новизну, розкривають сутність вирішення поставлених у роботі завдань.

Наукова новизна одержаних результатів. Значну частину роботи автор присвятив розробці хімічного складу ущільнювального покриття та контролю його фізико-механічних властивостей на окремих етапах експлуатації двигуна, що обумовлено фазовими перетвореннями і, відповідно, підвищенням ерозійної тривкості та опору газовій корозії.

Якісним досягненням автора роботи є отримана сукупність триботехнічних та геометричних параметрів, які забезпечують формування контакту і властивості розроблених покриттів за оцінкою результатів фрикційної взаємодії елементів натурного вузла газотурбінної установки.

Практичне значення отриманих результатів. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень, встановлених закономірностей розроблений новий хімічний склад ущільнювального покриття турбіни з високою експлуатаційною стійкістю в умовах дії високотемпературного газового потоку. За допомогою методів моделювання визначено можливість підвищення коефіцієнту корисної дії ГТД за рахунок зменшення витоків газів при збереженні розміру радіальних зазорів і, відповідно, зменшення витрат палива за годину на 2,3 кг. За рік

економія витрат палива від провадження розробок може досягнути 184 тони.

Зв'язок дисертаційного дослідження з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження є складовою частиною держбюджетної теми: ГД03818 «Розробка складу різнофункціональних покриттів та технології їх нанесення на відповідальні деталі газотурбінних двигунів літальних апаратів подвійного використання», 0118U003596, та госпдоговірної теми: ГД2815 «Розробка складу та технології нанесення багатошарових покриттів на деталі газотурбінних двигунів, що працюють в умовах високих температур», 0115U004905, в яких Є. Г. Сотніков брав участь в якості виконавця.

Структура та об'єм дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та трьох додатків. Загалом дисертації складає 193 сторінки, списку використаних джерел 137 найменувань на 14 сторінках та три додатки на чотирьох сторінках.

У вступі сформульована актуальність проблеми, визначено мету, основні завдання дослідження, наведені основні отримані автором результати, практична їхня значимість і новизна.

Перший розділ містить аналітичний огляд публікацій за напрямом дисертацій, де особлива увага приділяється перспективі підвищення корисної дії авіаційних двигунів завдяки застосування ущільнювальних покриттів та підвищення їхньої експлуатаційної стійкості. Встановлено, що на тепер практично відсутні дані про властивості ущільнювальних покриттів, які визначають можливість їхнього використання у вузлах турбін.

Проведений аналіз літературних джерел і патентів дозволив дисертантові сформулювати мету та завдання досліджень для створення нових ефективних розробок.

Другий розділ присвячено визначенню способу отримання газотермічних ущільнювальних покриттів газополуменевого напилення із наступним механічним обробленням. Для оцінки впливу легування на фізико-механічні властивості ущільнювального покриття ГТД застосували стандартні та спеціальні методики, що дозволило встановити перспективи його використання. Експлуатаційні властивості визначали за результатами механічних та триботехнічних випробувань. Моделювання процесу експлуатації та оцінку ефективності лабіринтних ущільнень запропонованих покриттів проведено також за допомогою МКЕ.

Встановлений зв'язок зміни фазового складу покриттів безпосередньо після напилення та подальшого високотемпературного нагрівання.

У третьому розділі виконаний порівняльний аналіз мікроструктури покриттів чотирьох складів, сформульованих при ізотермічному нанесенні. Як і можливо було очікувати, найбільш придатним для використання у виробах виявився комплекснолегований варіант (КНА-82+Co-Ni-Cr-Al-Y). Дослідженнями встановлено, що інтерметалідні та оксидні фази формуються в покриттях вже при їхньому нанесенні. Складнішим за фазовим складом виявилось покриття №3 (КНА-82+Co-Ni-Cr-Al-Y). У вихідному стані покриття мало наступні фази Ni, α -Co, BN, Co_2Al_5 , $CoCr_2$, NiSi, NiAl та Ni_3Al . Високотемпературні випробування (від 1100 °C) та витримці 100 годин спричинили появу оксидів нікелю NiO, бору B_2O_3 та ітрію Y_2O_3 , а також шпінелей типу $NiCr_2O_4$ і $CoAl_2O_4$, що позитивно впливають на стійкість покриттів до газової корозії.

Після високотемпературного впливу на експериментальні покриття з'явилися інтерметаліди типу NiAl, Ni_3Al , Ni_5Y , Co_2Al_5 та оксиди (B_2O_3 ,

Al_2O_3 , Y_2O_3), а також шпінелі (NiCr_2O_4 , CoAl_2O_4), які сприяли підвищенню жаро- і зносостійкості покриттів роторо-статорних частин ГТД. Отримані теплофізичні характеристики розроблених покриттів свідчать про підвищення теплофізичних властивостей і, відповідно, сприятимуть збільшенню терміну експлуатаційної стійкості деталей ГТД.

У четвертому розділі визначено вплив додаткового легування на підвищення твердості покриттів у вихідному стані після напилення, що обумовлено посиленням дифузійної взаємодії при їхньому формуванні та наявністю оксидної та інтерметалідної фаз. Визначений механізм підвищення опору ерозійного зношування та жароміцності покриттів, через вплив легування та формування раціональної структури (оксидів, нітридів та інтерметалідів).

Визначення впливових параметрів фрикційної взаємодії за частотою їхніх проявів дозволило встановити кращий варіант легування з точки зору триботехнічної взаємодії покриття гребінцями лабіринтного ущільнення. Автором стверджується, що сприятливі результати опору високотемпературній корозії покриттів обумовлені формуванням дисперсних включень термотривких шпінелей NiCr_2O_4 , CoCr_2O_4

У п'ятому розділі за допомогою методу кінцевих елементів з'ясовані особливості плинного газового потоку в лабіринтному ущільненні турбіни компресора і вільної турбіни ГТД сімейства ТВ3-117 та встановлені залежності витрат газу через лабіринтні ущільнення від величини зазору.

Показано, що при середньому річному наробітку 800 годин, запропоновані покриття лабіринтних ущільнень ГТД можуть забезпечити зниження витрат авіаційного палива на 184 тони.

Зміст автореферату ідентичний основним положенням дисертації, а його оформлення, в цілому, відповідає вимогам, які висуваються до кандидатської дисертації.

Публікації за темою дисертації. Основні результати досліджень викладені у 10 наукових публікаціях, з яких одна у виданні з індексом цитування SCOPUS, 6 статей у фахових наукових журналах, один патент на корисну модель та дві публікації в міжнародних конференціях.

Дисертаційна робота Сотнікова Євгена Георгійовича заслуговує позитивної оцінки. Разом з тим вона містить низку недоліків:

1. Позитивний висновок щодо впливу ітрійвмісних лігатур на різницю ТКЛР сплавів ЭИ435, ЖС32 та покриттів можливо поставити під сумнів, тому що при температурах від 150 °С їхні показники дуже близькі, а при 900 °С і вище майже не відрізняються (див. рис. 3,36 та 3,37).
2. Не зрозуміло, чому для утворення інтерметалідних сполук типу Ni_2Si умови існують, а для оксиду SiO_2 відсутні?
3. На мій погляд, більш вдалим було б вживати термін «модифікування» газотермічних покриттів» ніж «легування»...
4. Зустрічаються невдало оформлені рисунки (див. Рис 3,37 «Різниця ТКЛР...», русизм – «окислення» замість «окиснення» – стор 89, 99, 107, 114 та інш.)

Водночас, зроблені зауваження не є запереченням завершеності роботи і не зменшують її теоретичної та практичної цінності, а також не викликають сумніву у достовірності її наукових положень, висновків і практичних рекомендацій.

У роботі присутні усі елементи пошуку – від теоретичних та лабораторних досліджень до практичних випробувань, що спільно може бути охарактеризовано як успішне розв'язання важливої науково-практичної задачі, пов'язаної з підвищенням коефіцієнта корисної дії ГТД і, відповідно, зниження витрат палива.

Дисертаційна робота Сотнікова Євгена Георгійовича «Удосконалення складу газотермічних ущільнювальних покриттів деталей турбіни для

підвищення ефективності газотурбінних двигунів» є завершеною науково-дослідною роботою, яка за вмістом, важливістю отриманих науковообґрунтованих результатів, висновків та рекомендацій, їхньою достовірністю та практичною значимістю відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів.», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013 р. зі змінами МОН України №656 від 29.08.2015р., щодо кандидатських дисертації, а її автор Сотніков Є. Г. заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.01 – матеріалознавство.

Офіційний опонент:

Завідувач кафедри прикладної фізики
Запорізького національного університета,
д-р техн. наук, професор



В. Г. Міщенко

Вчений секретар ЗНУ



О. А. Проценко



Підпис *Міщенко*
засвідчую *Р.С.*

НАЧАЛЬНИК
ВІДДІЛУ КАДРІВ



Лх. N 11 від 15.01.19р.