

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Гречанюка І. М.

«Науково-технологічні засади створення нових композиційних матеріалів на основі нікелю, кобальту, титану й міді та новітнього електронно-променевого обладнання для їх отримання»,

представленої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – Матеріалознавство.

Актуальність теми. В даний час основним напрямком отримання матеріалів для покриттів з високою твердістю і міцністю є вакуумне напилення за технологіями фізичного (PVD) і термохімічного (CVD) осадження. Роль цих процесів у забезпеченні ефективності сучасного виробництва деталей і вузлів виробів з високими експлуатаційними властивостями, створенні нових матеріалів важко переоцінити. Досить зазначити, що вони застосовуються для нанесення жаростійких і ерозійностійких покриттів в авіадвигунобудуванні, отримання високоміцних керамічних волокон, композиційних матеріалів тощо. Одним із сучасних і найбільш перспективних способів нанесення покриттів є конденсація випаровуваного матеріалу у вакуумі. Ці технології дозволяють наносити одношарові і багатшарові покриття з різних матеріалів (металів і сплавів, металокераміки, карбідів, нітридів, боридів, силіцидів металів), призначених для захисту робочих поверхонь деталей від зносу і ерозії, впливу зовнішнього середовища, підвищення жаростійкості.

У зв'язку з цим дисертаційна робота Гречанюка І.М., яка спрямована на отримання нових сучасних матеріалів і покриттів для авіадвигунобудування з використанням удосконалених і нових електронно-променевих технологій і створення відповідного обладнання для їх реалізації, є **актуальною** і своєчасною.

Оцінка змісту роботи. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, 6 розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел із 231 найменування і додатків. Обсяг основного тексту складає 10,9 аркушів, робота містить 84 рисунки, 49 таблиць, 4 додатки.

Зміст автореферату відповідає основним результатам, викладеним в дисертаційній роботі, і є цілком достатнім для ознайомлення наукової громадськості зі змістом роботи.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульована мета та завдання дослідження, визначена наукова новизна і практична цінність результатів роботи та показано особистий внесок здобувача.

У першому розділі розглянуті сучасні технології отримання металів і сплавів методом плавки, осадження покриттів на лопатки турбін, отримання масивних відокремлених від підкладки конденсованих з парової фази композиційних матеріалів.

Наведені різні конструкції лабораторного і промислового електронно-променевого обладнання, що використовується для плавки металів, сплавів, нанесення покриттів. Зроблено їх порівняльний аналіз, наведені недоліки обладнання, які ускладнюють відтвореність технологічних процесів і, як результат, знижують якість продукції.

На основі літературного огляду зроблені висновки щодо актуальності роботи, сформульовані мета і завдання досліджень.

У другому розділі описане електронно-променеве обладнання та технології отримання експериментальних зразків досліджуваних матеріалів, методики дослідження структури, хімічного, фазового складу і фізико-механічних характеристик отримання матеріалів.

Третій розділ присвячений отриманню нових жаростійких сплавів $\text{Ni}(\text{Co})\text{CrAlY}$, CoCrAlYSi з мінімальним вмістом у них газів і неметалічних включень для нанесення жаростійких покриттів на лопатки газових турбін. Розроблені автором сплави отримані за одностадійною технологією, що дозволило збільшити довговічність лопаток і виключити з технологічного циклу вакуумно-індукційний переплав. Показана також можливість отримання трубчатих катодів із високочистого сплаву NiCrAlY за новою електронно-променевою технологією плавки з використанням спеціально розробленого тигельного пристрою. Вперше отримані високоякісні порошки із сплаву CoCrAlYSi з вмістом алюмінію 10 - 13 % мас., які характеризуються мінімальним окисненням за рахунок використання технології подрібнення прокаткою на двовалковому вертикальному стані.

Для отримання зазначених вище нових високоякісних сплавів необхідного хімічного і фазового складу за участю автора розроблена промислова електронно-променева установка нового покоління L-4 для рафінування та виплавки металів і сплавів з використанням в якості джерела нагріву гармати з холодним катодом (газорозрядна) з ресурсом роботи катода більше 1000 годин, а для нанесення покриттів розроблена конструкторська документація й виготовлена електронно-променева установка L-8.

У четвертому розділі досліджені структура, хімічний, фазовий склад і фізико-механічні властивості спеціальних сплавів на основі титану медичного

призначення TiNbSiZr у широкому інтервалі концентрацій цирконію (1,9-15,2)% мас. та ніобію (11-20)% мас., встановлено оптимальний вміст складових сплаву, що забезпечують найвищі механічні властивості. Показано, що структура зазначеного сплаву, складається з первинних β -зерен, по межах яких розташована силіцидна фаза Ti_5Si_3 . У середині первинних β -зерен знаходиться дрібнодисперсна α -фаза з високодисперсними силіцидами, які виділилися по її межах. Вперше отримані методом електронно-променевої плавки лігатури Ni-Y; Al-Mo; V-Al; Nb-Ti; Zr-Ti; Gf-Ti із компонентів з суттєво різною пружністю пари з мінімальним вмістом (від 0,0008 до 0,15 % мас.) домішок, що у багатьох випадках більше як вдвічі нижче, у порівнянні з аналогічними матеріалами, одержаними іншими методами. Автором також вирішена важлива проблема отримання кондиційних сплавів ЖС26-ВІ електронно-променевим переплавом їх відходів, що знизило собівартість продукції при шихтовці плавки для литва лопаток на 20 %.

У п'ятому розділі розглянуто отримання високочистих металічних сплавів трьох типів різного складу, % мас.: 1. Fe - (4,2) Al; 2. Fe - (36)Co - (1,5)Al - (0,1)Ti - (3,0)Cu; 3. Fe - (36)Co - (3,5)Al - (0,5)Ti - (3,0)Cu та сплав на основі нікелю Ni-W методом електронно-променевого переплаву з мінімальним вмістом домішок, які використовуються в якості затравок для вирощування монокристалічних лопаток. Автором одержані й запатентовані композиційні матеріали (Cu-Cr-Zr-Y-Nb)-Mo-CuO-MoO₃, (Cu-C-Zr-Y-Nb)-Mo-CuO-MoO₃ з мідною матрицею додатково легованою хромом або вуглецем для електроконтактних матеріалів. Виходячи з результатів лабораторних випробувань, було встановлено, що введення у матрицю (Cu-C-Zr-Y-Nb) вуглецю у діапазоні до 1,5% мас. (3,5 об.) призводить до істотного зменшення (у 3-4 рази) приведенного зносу і майже вдвічі до зниження коефіцієнту тертя.

У шостому розділі наведені області застосування розроблених матеріалів, технологій і новітнього електронно-променевого обладнання для їх реалізації. Показано використання розроблених у роботі сплавів Ni(Co)CrAlY для нанесення внутрішнього металічного шару двошарових покриттів метал/кераміка. Нанесення покриттів із матеріалу NiCrAlY здійснювали за один технологічний цикл на установці L-2. Вперше встановлено кінетичні закономірності формування зв'язуючого шару на межі метал/кераміка при нанесенні покриттів із сплавів системи Ni(Co)CrAlY методом випаровування-конденсації. Показано, що використання сучасних матеріалів і покриттів для авіадвигунобудування з використанням удосконалених і нових електронно-променевих технологій є актуальною і своєчасною.

За безпосередньої участі дисертанта була розроблена конструкторська документація та виготовлені пілотні зразки універсального, лабораторного, промислового обладнання для плавки металів і сплавів, осадження покриттів. Завдячуючи цьому дисертанту вдалось оптимізувати та створити нові матеріали і технології на основі нікелю, кобальту, титану та міді.

Достовірність, новизна та обґрунтованість наукових положень і висновків. У роботі застосовані сучасні методи дослідження складу, структури та фізико-механічних властивостей розроблених матеріалів. Значну кількість досліджень було виконано безпосередньо на обладнанні українських авіабудівних підприємств: «Мотор-Січ» та Запорізькому моторобудівельному конструкторському бюро «Прогрес». Великий об'єм досліджень, виконаний у роботі, перш за все, структури та фазового складу литих та порошкових сплавів Ni(Co)CrAlY(Si) дали можливість дисертанту видати чіткі технологічні рекомендації по їх використанню.

Серед **основних наукових здобутків** автора слід відзначити наступні:

1. Автором вперше отримані жаростійкі сплави NiCrAlY, CoCrAlY, CoCrAlYSi за одностадійною електронно-променевою технологією плавки, яка виключає із технологічного циклу попередню вакуумно-індукційну плавку, що значно покращило якість сплавів за рахунок зменшення металічних і неметалічних домішок.
2. Досліджені структура, хімічний і фазовий склад покриттів, нанесених електронно-променевим методом із сплавів Ni(Co)CrAlY за один технологічний цикл. Вперше встановлено формування на межі метал/кераміка зв'язуючого мікрошару, який є важливою складовою для підвищення експлуатаційної надійності покриттів.
3. Розроблені і досліджені кондиційні жароміцні сплави ЖС26-ВИ, отримані із їх відходів. Показано, що за фізико-механічними характеристиками зазначені сплави не поступаються матеріалам, одержаним з вихідних шихтових компонентів.
4. Проведено комплексне вивчення структури, хімічного і фазового складу сплавів NiCrAlY та розроблена електронно-променева технологія виплавки трубчатих катодів із них для іонно-плазмового нанесення покриттів.
5. Вивчено структуру, хімічний, фазовий склад та механічні властивості сплавів TiZrNbSi медичного призначення у широкому інтервалі концентрацій цирконію та ніобію; лігатури різного хімічного складу: Ni-Y; Al-Mo; V-Al; Nb-Ti; Zr-Ti; Gf-Ti; високочистих сплавів Ni-W; Fe-Al; Fe-Co-Al-Ti-Cu з мінімальним вмістом контрольованих домішок; складнолегованих порошків (40-100 мкм) із сплавів CoCrAlYSi з підвищеним вмістом алюмінію (10-13 % мас.).

Практична цінність роботи. Усі без виключення нові технології знайшли широке практичне застосування. Промислові партії зливків CoCrAlY відповідно до ТУ, розроблених за участю автора, поставляються на підприємства України та КНР. Промислові партії порошоків, отриманих за принципово новою технологією, поставляються на підприємство «Зоря – Машпроект», м. Миколаїв.

Промислові партії лігатур Ni-Y поставляють на низку промислових підприємств України. Експериментальні партії високочистих сплавів Fe-Co-Ti-Al-Cu експортуються в КНР. Зразки лабораторного та промислового обладнання поставлені та експлуатуються в Україні, КНР, Англії. Результати їх використання підтверджені листами замовників та спільними ТУ на відповідну продукцію.

Повнота опублікованих результатів досліджень. Результати досліджень повною мірою пройшли **апробацію** у фахових виданнях. Основний зміст дисертації викладено у 47 наукових працях, у тому числі 25 публікацій надруковано у фахових журналах України та інших держав, з яких 17 статей - у виданнях, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних (Scopus, Web of science та ін.), 4-х публікаціях у інших виданнях, у 15 публікаціях за матеріалами доповідей на значимих міжнародних конференціях, 3-х патентах на винахід України, які підтверджують новизну результатів роботи.

Зауваження по дисертаційній роботі.

1. У літературному огляді велика увага приділяється розгляду сучасних матеріалів на основі нікелю, кобальту, титану та міді. Дисертанту потрібно було б більше зосередитись на аналізі сплавів і порошоків, які до останнього часу використовувались при нанесенні покриттів.

2. Дисертант детально дослідив сплави CoCrAlY і виявив певні розбіжності по фазовому складу зливків по їх довжині. В той же час фазовий склад зливків NiCrAlY досліджений тільки в середній частині зливка. Тому не зрозуміло, чи є подібні відмінності по довжині зливків сплаву NiCrAlY .

3. У таблиці 1.3 наведений порівняльний аналіз гармат з лінійним вольфрамовим катодом і з газорозрядним холодним катодом. Такий аналіз є неповним, оскільки потрібно було б дати порівняльні характеристики аксіальних гармат, які широко застосовуються у вакуумних технологіях.

4. В дисертації не відображені переваги жаростійких і теплобар'єрних покриттів із сплавів Ni(Co)CrAlY , отриманих за одностадійною технологією, у порівнянні з аналогічним покриттям із вказаних сплавів, одержаних за двостадійною технологією вакуумно-індукційна плавка – електронно-променевий переплав.

5. Дисертанту окрім хімічного складу спеціальних сплавів та лігатур потрібно було б дослідити їх структуру і фазовий склад.

6. При проведенні роботи недостатня увага була приділена розробці і оформленню патентів.

Дані зауваження не знижують важливість та актуальність одержаних в роботі наукових результатів і практичну цінність розроблених матеріалів, технологій їх отримання та обладнання.

Вважаю, що дисертаційна робота Гречанюка Ігоря Миколайовича «Науково-технологічні засади створення нових композиційних матеріалів на основі нікелю, кобальту, титану й міді та новітнього електронно-променевого обладнання для їх отримання» є закінченою науковою роботою. За своєю актуальністю, науковою новизною і достовірністю, об'ємом теоретичних узагальнень, фундаментальних та практичних результатів вона відповідає вимогам пунктів 9, 10 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567. Автореферат повною мірою відображає зміст та основні положення дисертації. Зміст роботи відповідає паспорту спеціальності 05.02.01 – Матеріалознавство, а автор дисертації, Гречанюк Ігор Миколайович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за відповідною спеціальністю.

Офіційний опонент
головний науковий співробітник Фізико-технологічного інституту металів та сплавів
НАН України, доктор технічних наук, професор

С.В. Ладохін
С.В. Ладохін

Підпис С.В. Ладохіна засвідчую:

Вчений секретар ФТІМС НАН України
кандидат технічних наук



В.Л. Лахненко
В.Л. Лахненко