

В І Д Г У К

офіційного опонента на дисертаційну роботу **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»**, що представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – Матеріалознавство

Сучасна механічна інженерія (авіабудування, енергетичне машинобудування, виробництво імплантатів тощо) гостро потребують створення нових сплавів і покриттів на їх основі з високими експлуатаційними характеристиками, які отримують екологічно чистими методами фізичного осадження у вакуумі. Дисертаційна робота Гречанюка І. М., присвячена вирішенню важливої науково-технічної проблеми оптимізації та створення нових жаростійких сплавів для нанесення захисних покриттів, переробці відходів жароміцних сплавів, розробці технології отримання титанових сплавів медичного призначення, лігатур є актуальною і своєчасною. Разом з цим розроблених матеріалів було досить складно або затратно отримати з використання електронно-променевого обладнання, яке було сконструйовано у кінці минулого століття. Тому у роботі значна увага приділена удосконаленню, конструюванню та виготовленню зразків нового електронно-променевого обладнання, яке дозволяє вести технологічний процес в автоматичному та напівавтоматичному режимах і завдяки використанню газорозрядних гармат забезпечити стабільність технологічного процесу в часі.

Цінність цієї роботи полягає в тому, що її автор комплексно вирішив сформульовану вище проблему, а саме: створив нові матеріали за розробленими новими технологіями, розробив новітнє електронно-променеове обладнання для їх отримання і забезпечив широке практичне застосування розроблених матеріалів і обладнання в Україні і за кордоном.

Серед **найбільш вагомих нових наукових результатів** дисертаційної роботи Гречанюка І.М. слід відзначити такі. Вперше детально досліджені структура, хімічний та фазовий склад складнолегованих жаростійких сплавів Ni(Co)CrAlY, отриманих за одностадійною технологією електронно-променевої плавки з виключенням із процесу попередньої вакуумно-індукційної плавки, що дозволило покращити якість зливків, які виплавляються, і, як результат, покриттів з них. Дисертанту вперше вдалося розробити принципово нову технологію отримання якісних порошкових сплавів CoCrAlYSi з підвищеним вмістом алюмінію до 10-13 % мас., отримати з них порошки, дослідити їх структуру, хімічний та фазовий склад. Отримані порошки знайшли широке використання на українських підприємствах, що дозволило відмовитись від їх закупівлі за кордоном.

У роботі комплексно досліджені структура, фазовий склад і фізико-механічні властивості кондиційних зливків, отриманих з відходів

жароміцного сплаву ЖС26-ВИ, які за своїми характеристиками не поступаються матеріалам, виготовленим з вихідних шихтових компонентів.

Автором також досліджені структура, фазовий склад та механічні властивості сплавів NiZrNbSi медичного призначення, розроблено технологію їх отримання і налагоджено поставку зазначених матеріалів за кордон.

Важливим досягненням дисертанта є розробка технології отримання високочистих сплавів Fe-Al, Fe-Co-Al-Ti-Cu, Ni-W, які використовуються в якості затравок при вирощуванні монокристалічних лопаток; лігатур із компонентів з суттєво різною пружністю пари Ni-Y, Hf-Ni, Zr-Ti, Al-Mo, V-Al, Nb-Ti, які мають підвищену якість і мінімальний вміст домішок; псевдосплавів на основ міді й молібдену додатково легованих вуглецем і хромом.

Практичне значення результатів роботи

На підґрунті проведених досліджень, автору вдалося повністю забезпечити українські підприємства авіабудівельної та енергетичної галузей вихідними матеріалами власного виробництва, поставити відповідне обладнання для нанесення жаростійких та теплобар'єрних покриттів.

За результатами проведених автором досліджень по отриманню нових матеріалів розроблена промислова технологія, виготовлення і постачання матеріалів CoCrAlY (згідно з ТУ У 27.4-20113410.002-2001 (Зміни №3) від 06.10.2015) в Україну та КНР; порошоків CoCrAlYSi – в Україну. Для КНР виготовляються експериментальні партії сплавів Fe-Al; Fe-Co-Al-Ti-Cu; до США постачаються сплави медичного призначення TiZrNbSi.

Розроблена дослідно-промислова технологія переробки відходів дозволила відмовитись від закупівлі приблизно 20 % загального об'єму імпорту сплаву ЖС26-ВИ.

Про високу якість розробленого за участю дисертанта обладнання свідчить його успішна експлуатація на підприємствах України, КНР, Англії.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються

Обґрунтованість і достовірність отриманих у роботі результатів базується на застосуванні широкого комплексу сучасних експериментальних і аналітичних методів, які взаємно доповнюються: рентгенофазовим, локальним рентгеноспектральним аналізами, скануючої електронної мікроскопії, фізико-хімічних і механічних методів дослідження та успішною промисловою апробацією розроблених матеріалів у різних галузях промисловості України та далекого зарубіжжя.

Повнота викладених основних результатів дисертації в наукових фахових виданнях

Основний зміст роботи викладений 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 науково-методичними базами даних (Scopus, Web of Science та інших), 4-х публікаціях в інших виданнях, 3-х патентах України на винахід та 15 публікаціях за матеріалами доповідей на конференціях.

Дисертація та автореферат написані лаконічно і послідовно, грамотною мовою, науковий літературний стиль забезпечує легкість їх сприйняття. Об'єм та структура дисертаційної роботи відповідають вимогам МОН України до кваліфікаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство. Автореферат повністю відображає зміст дисертаційної роботи.

Відповідність змісту дисертації спеціальності.

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

Вступ містить обґрунтування актуальності вибраної теми, об'єкт і предмет дослідження, а також показано зв'язок роботи з науковими програмами, відображена наукова новизна, практична цінність роботи та особистий внесок здобувача. У кінці наводиться кількість публікацій за темою дисертаційної роботи та конференцій, на яких були представлені результати.

Перший розділ присвячений аналізу технологій і матеріалів, отриманих методами плавки, осадження покриттів на лопатки газових турбін, отриманню масивних, відокремлених від підкладки, конденсованих з парової фази композиційних матеріалів. Зроблений порівняльний аналіз електронно-променевого обладнання, наведені недоліки обладнання, які ускладнюють відтворюваність технологічних процесів. Показано, що електронно-променева плавка є ефективним методом переробки відходів жаростійких та жароміцних сплавів.

Проаналізовано використання дуплекс-процесу (вакуумно-індукційна плавка – електронно-променевий переплав) при виплавці жаростійких сплавів для захисних покриттів і показано, що це технологічне рішення не є оптимальним із-за забруднення сплавів неметалічними і газоподібними включеннями при вакуумно-індукційній плавці. Відмічена необхідність отримання матеріалів без подібних забруднень.

Показано, що одним із перспективних напрямків для отримання титанових сплавів медичного призначення, є електронно-променевий переплав.

Докладно розглянуто сучасний стан в області осадження жаростійких і теплобар'єрних покриттів.

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

У другому розділі наведені вихідні матеріали, які використовувались для отримання експериментальних партій досліджуваних сплавів,

композиційних систем і порошків. Наведено електронно-променево обладнання для одержання нових матеріалів та методики для вивчення структури, хімічного, фазового складу та фізико-механічних характеристик отриманих матеріалів.

У третьому розділі розроблені і дослідженні структура, хімічний, фазовий склад і фізико-механічні властивості нових жаростійких сплавів Ni(Co)CrAlY, які отримують з мінімальним вмістом них газів і неметалічних включень за одностадійною технологією електронно-променевої плавки, що дозволило збільшити довговічність лопаток газових турбін при нанесенні покриттів з цих сплавів.

Запропоновані технології та отримані трубчаті катоди із сплавів NiCrAlY з використанням запропонованої автором конструкції пристрою для литва трубчатих катодів, які використовуються при іонно-плазмовому нанесенні покриттів.

Досліджені структура, хімічний, фазовий склад порошкових сплавів CoCrAlYSi і порошків з них та запропонована принципово нова технологія отримання із зазначених сплавів порошків методом подрібнення на двовалковому вертикальному стані.

Розроблені промислові електронно-променеві технології і обладнання для отримання нових матеріалів і нанесення захисних покриттів з них.

У четвертому розділі дисертантом вирішена важлива проблема по дослідженню структури, хімічного та фазового складу кондиційного жароміцного сплаву ЖС26-ВИ, отриманого з його відходів методом електронно-променевого перепау. Одержані кондиційні зливки ЖС26-ВИ, не поступають за фізико-механічними характеристиками матеріалу, отриманому з вихідних шихтових компонентів. Це є важливим досягненням, враховуючи той факт, що база основних компонентів Ni, Co, W, Mo, V, Nb для отримання подібних сплавів в Україні відсутня.

Отримані титанові сплави TiNbZrSi медичного призначення, які не містять шкідливих для людського організму домішок.

Підтверджена ефективність електронно-променевої плавки при одержанні лігатур, які складаються з компонентів з суттєво різною пружністю пари:

Ni-Y, Hf-Ni, Zr-Ti, Al-Mo, V-Al, Nb-Ti. При цьому якість лігатур суттєво вища у порівнянні з аналогічними матеріалами, отриманими за традиційними технологіями.

У п'ятому розділі викладені основи електронно-променевої технології отримання високочистих сплавів трьох типів: Fe-Al, Fe-Co-Al-Ti-Cu, Ni-W. Вказані матеріали використовують в Україні та КНР в якості затравок при вирощуванні монокристалічних лопаток газових турбін.

Дисертантом також одержані та запатентовані нові композиційні матеріали (Cu-Cr-Zr-Y-Nb)-Mo-CuO-MoO₃ і (Cu-C-Zr-Y-Nb)-Mo-CuO-MoO₃ для розривних і ковзних контактів.

Шостий розділ присвячений областям застосування розроблених матеріалів і технологій, універсального лабораторного та промислового

обладнання для їх отримання. Литі сплави CoCrAlY у промислових масштабах поставляють на підприємства України та КНР; порошки сплавів CoCrAlYSi на провідне українське підприємство «Зоря – Машпроект»; експериментальні партії лігатур різного хімічного складу на підприємства України; сплави Fe-Cu-Al-Ti-Cu і TiZrNbSi відповідно до КНР і США.

Представлена дисертаційна робота містить деякі недоліки, що не впливають на загальне позитивне враження:

1. Яким чином дисертант вирішив проблему однорідності покриттів, враховуючи те, що у верхній частині зливку сплавів CoCrAlY спостерігається зменшений вміст Al і підвищений вміст Cr?
2. Відомо, що ітрій погано випаровується із сплавів Ni(Co)CrAlY. З роботи не зрозуміло, які співвідношення ітрію у сплавах і покриттях?
3. Введення вуглецю у псевдосплави, отримані методом випаровування-конденсації, досить складна технологічна задача. Яким чином дисертанту вдалось її вирішити?
4. У сплавах медичного призначення TiNbZrSi надзвичайно вузький діапазон по вмісту Si (0,9-1,1 % мас.). Яка відтворюваність хімічного складу матеріалу при плавці?
5. Які втрати легкоплавких компонентів, перш за все алюмінію, при плавці лігатури Al-Mo?
6. У роботі не вказані похибки величин при визначенні хімічного складу матеріалів.
7. Відсутнє пояснення зафіксованого ефекту значного накопичення кисню в отриманих порошках з CoCrAlYSi після подрібнення до фракцій з розмірами менше 40 мкм (з 0,0997% до 1,293% мас.) с. 169 дис.
8. Є незначна кількість описок та неточностей (поганий вакуум, с.99; живильна система, с. 152; підтримують, с.176; подачі, с. 177; зв'язуючий шар; тощо).

Висновок про відповідність дисертаційної роботи встановленим вимогам

Дисертація Гречанюка І. М. є завершеною науковою працею при виконанні якої були одержані нові науково-обґрунтовані теоретичні й експериментальні результати, що вирішують важливу науково-технологічну проблему з удосконалення та створення нових складнолегованих сплавів, композиційних матеріалів і виробів з них на основі нікелю, кобальту, титану і міді методами електронно-променевої плавки та високошвидкісного випаровування-конденсації і є цілісним та завершеним науковим дослідженням. Результати досліджень, наведені у дисертації, мають важливе теоретичне значення та прикладне застосування. Положення дисертаційної праці повністю опубліковано в друкованих працях, що входять у рейтингову базу «Scopus», статті у фахових виданнях, матеріали доповідей на конференціях. Апробація роботи здійснена на достатній кількості наукових конференцій високого рівня.

Автореферат дисертації повною мірою відображає зміст та основні положення роботи.

Дисертація за своєю актуальністю, новизною, науковою і практичною значимістю та достовірністю результатів відповідає всім вимогам п.п. 9, 10 «Порядку присудження наукових ступенів», затверджених постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 року, її зміст відповідає паспорту спеціальності 05.02.01 – Матеріалознавство, а автор дисертації, Гречанюк Ігор Миколайович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство, галузі знань 13 – Механічна інженерія.

Офіційний опонент:

професор кафедри галузевого машинобудування

Вінницького Національного технічного

університету,

доктор технічних наук, професор

Савуляк В.І.

Підпис *Савуляк В.І.*
ПОСВІДЧУЮ
Зав. канцелярією *[підпис]*

