

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

Актуальність теми дисертації

Проблема створення жароміцних, жаростійких матеріалів та технологій виготовлення деталей вирішується протягом всієї історії створення та практичного використання газотурбінних та реактивних двигунів ще починаючи з 50-х років минулого століття. Кардинально змінити робочі температури деталей газотурбінних двигунів на 300 °С можливо за рахунок застосування керамічних матеріалів. Але проблеми з довговічністю та непередбачуваністю ресурсу не дозволили широко застосовувати керамічні матеріали. Традиційні металеві суперсплави на основі заліза та нікелю, зміцнені волокнами тугоплавких сполук, особливо отримані за технологією спрямованої кристалізації, знайшли широке практичне застосування. Успіхом щодо покращення високотемпературних характеристик суперсплавів вважалось збільшення робочих температур на 1 градус за рік. Вагомим кроком по збільшенню робочих температур є створення матеріалів та технологій нанесення термобар'єрних покриттів із високотемпературної оксидної кераміки та створення системи шарів, що забезпечують термодинамічну, термомеханічну та кінетичну сумісність покриттів з основним матеріалом із суперсплавів. Оскільки на функціональні властивості жаростійких металевих матеріалів основи, перехідних шарів та термозахисних покриттів із оксидів металів впливають однорідність хімічного складу та мікроструктура, то актуальним було і є створення

технологій та обладнання для виготовлення вузлів газотурбінних двигунів, які максимально точно відтворюють вимоги до структури та властивостей суперсплавів та захисних функціональних покриттів. Одним з найбільш напружених вузлів авіаційного транспорту є газова турбіна. Температура газу перед турбіною підвищується до 2000 К і більше. У сучасних літаках суттєво зменшуються розміри камери згоряння палива перед турбіною, скорочується час набору і скидання обертів, що веде до збільшення напруженості лопаток газових турбін, зниженню їх довговічності. Тому для збільшення температури на вході у газову турбіну і, як наслідок, підвищення її ефективності необхідні нові сучасні жаростійкі матеріали. Найважливіше значення у підвищенні температурного рівня сучасних жароміцних і жаростійких сплавів, їх надійності та довговічності надається освоєнню нових технологічних процесів. У цьому сенсі дисертаційна робота Гречанюка І.М. присвячена розробці високо ефективних методів збільшення довговічності лопаток газових турбін шляхом створення нових систем захисту від хімічного і механічного руйнування поверхневих шарів є **актуальною** і своєчасною. Маючи ряд позитивних властивостей захисні покриття дозволяють значно підвищити теплові, механічні і експлуатаційні характеристики матеріалів деталей. Ця тенденція отримала широке розповсюдження в світовій практиці. Крім оптимізації та розробки нових складів і технологій нанесення жаростійких і теплобар'єрних покриттів, дисертантом вирішена ще низка наукових і практичних завдань. Створені технології: переробки відходів жаростійких сплавів, отримання високоякісних лігатур, титанових сплавів медичного призначення, спеціальних високочистих сплавів і псевдосплавів електротехнічного призначення. Все вище зазначене в повній мірі підтверджує актуальність роботи.

Найбільш вагомими науковими результатами, отриманими дисертантом.

Робота, що рецензується, на мою думку, одна з небагатьох, що захищаються в Україні, в якій наукові, технологічні, конструкторські і практичні задачі вирішені комплексно.

Дисертантом вперше детально досліджені структура, хімічний, фазовий склад та деякі фізико-хімічні властивості жаростійких сплавів Ni(Co)CrAlY(Si), які використовуються для осадження жаростійких та термобар'єрних покриттів електронно-променевим, плазмовим та іонно-плазмовим методами, отриманих за одностадійною технологією електронно-променевого переплаву.

Автором підтверджена висока ефективність отримання кондиційного жароміцного сплаву ЖС26-ВИ переробкою його відходів методом електронно-променевої плавки, та проведені комплексні дослідження його структури і фізико-механічних властивостей, які підтвердили, що за своїми характеристиками вони не поступаються сплавам, отриманим з вихідних шихтових матеріалів.

Дисертантом досліджені сплави TiZrNbSi медичного призначення, визначено оптимальний склад та розроблена технологія їх отримання; вперше отримані лігатур різного хімічного складу та спеціальні високочисті сплави на основі заліза і нікелю із яких виготовляються структурно та хімічно досконалі затравки в технології вирощування монокристалічних лопаток.

Практична цінність.

Практична цінність роботи вагома не тільки за своїми результатами, а ще в більший мірі масштабною їх реалізацією. Дисертантом розроблені технічні умови на нові матеріали, які знайшли широке практичне застосування. Розроблені сплави CoCrAlY поставляються на підприємства України і КНР, порошки сплавів CoCrAlYSi і лігатури різного хімічного складу – на підприємства України, сплави на основі заліза FeCoTiAlCu - в КНР; сплави медичного призначення TiZrNbSi – в США.

Розроблені автором наукові принципи технології виготовлення жаростійких матеріалів покладені в основу конструювання спеціального обладнання і знайшли практичну реалізацію в створенні та виробництві технологічного устаткування для плавлення металів, сплавів, нанесення покриттів, яке успішно працює на підприємствах України, Вірменії, КНР та Англії.

Достовірність результатів, викладених у роботі, не викликає сумніву оскільки для їх одержання використовувались сучасні електронно-променеві технології і методи дослідження: рентгенівський фазовий та структурний аналіз, скануюча електронна мікроскопія, мікрорентгеноспектральний аналіз, фізико-механічні методи. Достовірність одержаних у роботі результатів підтверджується також їх широким практичним застосуванням в різних галузях промисловості України та за кордоном.

Оцінка захисту дисертації, її завершеність.

Дисертаційна робота складається з вступу, 6 розділів, загальних висновків, переліку використаної літератури, що містить 231 джерело, і додатків. Обсяг основного тексту складає 10,9 друк. аркушів, 84 рисунки, 49 таблиць, 4 додатки. 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.

Публікації. Основний зміст дисертації викладено у 47 працях, в тому числі 25 публікацій у фахових журналах України та інших держав, з яких 17 статей у виданнях, що індексуються міжнародними науково-метричними базами (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 міжнародних конференціях.

Основний зміст роботи.

Вступ містить пояснення щодо актуальності, новизни, практичної цінності, апробації результатів роботи, а також визначення об'єкту, предмету та мети дослідження дисертаційної роботи.

Перший розділ присвячений стану проблеми, що ґрунтується на аналітичному огляді наукової літератури, а саме: технології отримання високочистих металів і сплавів методами плавки, осадження покриттів на лопатки газових турбін, отримання конденсованих з парової фази композиційних матеріалів. Розглянуті різні конструкції лабораторного і промислового електронно-променевого обладнання, зроблено їх порівняльний аналіз, наведено недоліки обладнання, які ускладнюють відтворюваність технологічних процесів. Показано, що при отриманні жаростійких сплавів за допомогою дуплекс-процесу ВІП + ЕПП якість отриманих зливків не відповідає сучасним вимогам. Відмічено необхідність удосконалення технології їх отримання.

Показано перспективність використання електронно-променевої плавки для переробки жаростійких сплавів, отримання сплавів медичного призначення. Докладно розглянуто сучасний стан в області осадження захисних покриттів. Зроблено висновки щодо актуальності роботи, сформульовані мета і завдання досліджень.

У другому розділі описані вихідні матеріали і електронно-променеве обладнання для отримання дослідних зразків матеріалів і покриттів. Наведені методики дослідження структури, хімічного, фазового, хімічних, фізичних та технологічних властивостей порошків та фізико-механічних характеристик матеріалів і порошків.

Третій розділ присвячений отриманню і комплексному дослідженню сплавів Ni(Co)CrAlY, CoCrAlYSi, трубчатих катодів і порошків для нанесення захисних покриттів, розробці промислових електронно-променевих технологій і обладнання для їх отримання.

Автором вперше проведено дослідження структури сплавів NiCrAlY, CoCrAlY з позначенням хімічного складу сплавів в точках з цифрами і

порядковими номерами місць проведення мікрорентгеноспектрального аналізу, шляхом обрахунку рентгенограм методом Рітвельда визначені параметри елементарних комірок сполук, що містяться у зазначених сплавах, наведені карти розподілу елементів у сплавах. За результатами комплексних досліджень встановлено, що переважною фазою у сплаві NiCrAlY є β - фаза (NiAl), а для сплаву CoCrAlY характерна β - фаза (CoAl). Визначено, що шкідливі домішки вуглецю і кисню у сплавах практично відсутні. Наведені в роботі результати досліджень структури, мікрорентгеноспектрального і фазового аналізів сплавів свідчать про високу якість виплавлених матеріалів.

Високу ефективність при формуванні якісного захисного шару, що наноситься на матеріал лопаток, показав іонно-плазмовий метод з застосуванням в якості катодів трубчатих литих заготовок, виготовлених з високочистих сплавів NiCrAlY, вперше отриманих методом електронно-променевої плавки з використанням спеціально розробленого за участю автора тигельного пристрою.

Дисертантом також вперше показано можливість отримання високоякісних порошків фракції 40-100 мкм з поліедричною формою часток із сплавів системи CoCrAlYSi з вмістом алюмінію 10 - 13 % мас., за рахунок використання технології подрібнення прокаткою на двовалковому вертикальному стані. При використанні розробленої технології отримання порошку із сплаву CoCrAlYSi вихід фракцій 40-100 мкм складає 68 -72%, тоді як при розпиленні – 50-60%, а енерговитрати майже у 7 разів нижчі у порівнянні з витратами при використанні традиційних методів, незворотні втрати матеріалу CoCrAlYSi не перевищують 3,0% мас.

У четвертому розділі досліджені структура, хімічний, фазовий склад та фізико-механічні характеристики складнолегованих сплавів TiNbZrSi, які використовуються у медичній галузі, різного складу лігатур та кондиційних зливків жароміцного сплаву ЖС26-ВИ, отриманих з його відходів, що знизило собівартість продукції при шихтовці плавки для литва лопаток.

Запропонована автором схема виплавки сплавів системи TiNbZrSi з застосуванням прямокутної розгортки променю по периметру проміжної ємності дозволила отримати однорідні за структурою і хімічним складом по довжині сплави високої якості.

У цьому розділі вперше показана можливість отримання лігатур різного складу Ni-Y, Hf-Ni, Al-Mo, V-Al, Zr-Ti, Nb-Ti, необхідність одержання яких виникла у зв'язку з тим, що якість лігатур, які використовуються на сьогодні для виплавки спеціальних сплавів, не завжди відповідає сучасним вимогам.

У роботі також досліджені макроструктура, мікроструктура і механічні властивості сплавів ЖС26-ВИ, отриманих з їх відходів методом електронно-променевого переплаву і проведена порівняльна оцінка їх властивостей із стандартним сплавом виробництва «СМК». Результати досліджень, в тому числі, механічні випробування і випробування на тривалу міцність показали, що властивості сплаву ЖС26-ВИ, отриманого методом ЕПП, а також стандартного сплаву виробництва «СМК», відповідають вимогам ТУ і знаходяться приблизно на одному рівні.

У п'ятому розділі розглянуті питання отримання високочистих сплавів Fe-Al, Fe-Co-Al-Ti-Cu, Ni-W з мінімальним вмістом (до 0,001 - 0,08 % мас.) домішок, які використовуються при виготовленні затравок для вирощування монокристалічних лопаток газових турбін. До останнього часу зазначені матеріали не вдавалося отримати методом електронно-променевого переплаву у зв'язку з тим, що загальною вимогою до подібних сплавів є строго регламентований хімічний склад, однорідність розподілу компонентів в об'ємі сплаву і мінімальна кількість домішок, насамперед легкоплавких і газових.

Дисертантом розроблено і запатентовано новий склад матеріалів для електротехнічної промисловості на основі міді і молібдену (Cu-Zr-Y-Nb-C)-Mo-CuO-MoO₃, який характеризується введенням до складу матричного сплаву (Cu-Zr-Y-Nb) до 1,5 % мас. вуглецю, що призводить до істотного зменшення (у 3-4 рази) приведенного зносу і майже вдвічі - до зниження коефіцієнта тертя матеріалу.

Шостий розділ присвячений аналізу областей застосування розроблених матеріалів і технологій. Сплави Ni(Co)CrAlY використовуються в якості внутрішнього жаростійкого шару двошарових теплобар'єрних покриттів метал / кераміка.

Дисертантом вперше досліджено формування зв'язуючого мікрошару на межі між металічним жаростійким і керамічним шарами теплобар'єрного покриття NiCrAlY / ZrO₂ - Y₂O₃, отриманого за один технологічний цикл. Встановлені оптимальні технологічні параметри формування зв'язуючого шару, досліджені його структура та хімічний склад. Про високу відтворюваність технології свідчать дані про рівномірність розподілу нікелю, хрому, алюмінію у внутрішньому жаростійкому шарі теплобар'єрного покриття.

Литі сплави CoCrAlY використовуються на підприємствах України і КНР при формуванні теплобар'єрних покриттів CoCrAlY / ZrO₂ - Y₂O₃. Порошки CoCrAlYSi фракцій 40÷ 100 мкм знайшли широке промислове застосування на підприємстві «Зоря – Машпроект», м. Миколаїв.

Експериментальні партії складнолегованих сплавів на основі заліза і сплавів медичного призначення на основі титану експортуються відповідно в КНР і США, а промислові партії лігатур поставляються на різні підприємства України.

Новим є запропоновані дисертантом конструкції універсального лабораторного і промислового електронно-променевого обладнання, на якому при незначному переналагоджуванні можна виконувати технологічні процеси: отримання зливок металів і сплавів, нанесення захисних покриттів, отримання відокремлених від підкладки конденсованих з парової фази композиційних матеріалів. Про високі функціональні характеристики і надійність створеного за участі автора електронно-променевого обладнання свідчить його експорт у Вірменію, КНР, Англію.

Не зважаючи на позитивну оцінку змісту дисертації і автореферату, по ним необхідно зробити деякі зауваження:

1. При аналізі структури сплавів Ni(Co)CrAlY дисертант вказує на переваги сплавів, отриманих за одностадійною технологією електронно-променевої плавки у порівнянні з двостадійною: вакуумно-індукційна плавка – електронно-променевий переплав. В той же час відсутні порівняльні структурні дослідження матеріалів, отриманих за допомогою вказаних технологій, що ускладнює доказову базу переваг сплавів, отриманих за одностадійною технологією.
2. В роботі не досліджено кількість кисню в NiCrAlY та CoNiAlY сплавах і покриттях на їх основі, а також його вплив на працездатність термобарерних покриттів. Так наприклад у розділі 3 на рис 3.3 і 3.5 показано мікроструктури і розподіл елементів в NiCrAlY та CoNiAlY покриттях, які свідчить, що металічний іттрій окисляється у сплаві і утворює виділення в середині зерен і по їх границям. Із літературі добре відомо, що добаки ітрію до NiCrAlY та CoNiAlY сплавів суттєво покращують адгезію оксиду алюмінію до сплаву і таким чином підвищують його високотемпературну стійкість при окисленні. Якщо цей процес не контролювати, тоді більша частина розчиненого іттрію у сплаві буде існувати у вигляді оксиду іттрію або алюмо-ітрієвого гранату. Як в роботі контролювалась однорідність розподілу кисню в термобарерних шарах, що містять ітрій? Чи впливала неоднорідність розподілу кисню на працездатність термобар'єрних покриттів на суперсплавах.
3. Сучасні термобар'єрні покриття що працюють в сучасних авіаційних і стаціонарних турбінах мають захисні покриття на основі NiCoCrAlY, які розраховані для роботи на Ni-суперсплавах. Їх хімічний склад підбирають в залежності від того з якого сплаву виготовлена лопатка і в яких температурних умовах вона працює. В роботі зовсім про це нічого не сказано. Чому автор вибрав для дослідження сплави на основі нікелю і чому на основі кобальту?

4. Дисертантом виявлена певна неоднорідність хімічного і фазового складу сплавів CoCrAlY по висоті їх зливка. Яким чином вирішується стабільність однорідності покриттів при випаровуванні вказаних зливок.
5. Для плазмового нанесення покриттів використовуються порошки CoCrAlYSi фракцій 40 ÷ 100 мк. Чому вибраний саме такий діапазон фракцій порошку ?
6. В дисертації відсутні дані про механічні характеристики сплавів TiNbSrSi медичного призначення після термічної обробки. Чому?
7. Чи досягнуті якісь значні переваги при використанні запропонованих дисертантом досить складних за хімічним станом псевдосплавів на основі міді і молібдену у порівнянні з тими, які використовуються на сьогодні.
8. На сторінці 218 дисертації вказано на нанесення покриттів NiCrAlY за один технологічний цикл. Насправді мова йде про нанесення двошарових покриттів метал / кераміка (NiCrAlY / ZrO₂ - Y₂O₃) за один технологічний цикл.

Висловлені зауваження не знижують цінності наукових результатів роботи та їх практичного значення.

Загальний висновок по роботі.

На підставі вищенаведеного вважаю, що дисертаційна робота І.М. Гречанюка є завершеною науковою роботою, містить одержані автором нові наукові та прикладні результати в галузі матеріалознавства, які в сукупності розв'язують актуальну науково-технічну проблему створення електронно-променевої технології виготовлення нових матеріалів на основі нікелю, кобальту, титану, молібдену й міді, формування вимог, принципів конструювання та практичної реалізації новітнього електронно-променевого обладнання, що знайшло масштабне промислове застосування.

Автореферат повною мірою відображає зміст та основні положення дисертації, а робота відповідає вимогам пунктів 9, 10 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України

від 24 липня 2013 р. № 567 та паспорту спеціальності 05.02.01 – матеріалознавство, а автор дисертації Гречанюк І.М. заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за відповідною спеціальністю.

Офіційний опонент:

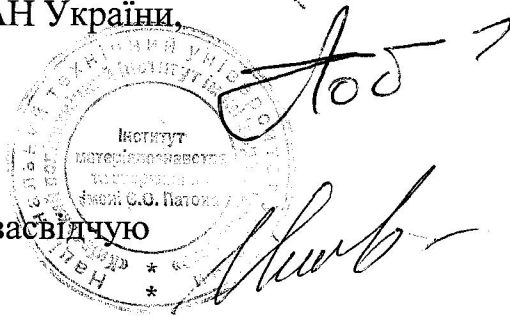
Професор кафедри високотемпературних
матеріалів та порошків і металургії

Національного Технічного університету

України (КП),

Член-кореспондент НАН України,

доктор технічних наук



Лобода П.І.

Підпис Лободи П.І. засвідчую

Іонова І.І.