

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Данилова Сергія Миколайовича

на тему «**Розробка технології комплексного модифікування жароміцного нікелевого сплаву для великогабаритних лопаток авіаційних газотурбінних двигунів**»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

в галузі знань **13 Механічна інженерія**

за спеціальністю **136 Металургія**

Актуальність теми дисертації.

Ресурс та надійність роботи сучасних газотурбінних двигунів (ГТД) в багатьох випадках визначається працездатністю деталей гарячого тракту, зокрема лопаток турбіни. Впродовж багатьох років була проведена велика кількість робіт з підвищення робочих температур жароміцних нікелевих сплавів, що є необхідною передумовою створення більш досконалих авіаційних двигунів. Успіхи в цьому напрямку досягнуті завдяки реалізації усіх можливих способів підвищення службових характеристик матеріалу відповідальних деталей ГТД. Ці успіхи досягаються, зазвичай, наступними шляхами: розробкою нових марок або класів матеріалів, вдосконаленням раніше розроблених сплавів шляхом регулювання хімічного складу, зміною технологічної схеми виготовлення виливків. Розробка нових жароміцних матеріалів лімітується наявністю і вартістю тугоплавких елементів здатних покращувати жароміцність відповідальних виливків деталей гарячого тракту ГТД. Серед інших способів підвищення службових характеристик жароміцних сплавів досить ефективним себе показує модифікування, коли невеликі домішки активних елементів досить суттєво впливають на стан структурних складових та характер їх розподілення в структурі матеріалу. Зміни в структурному стані матеріалу цілком природно чинять вплив і на рівень службових характеристик матеріалу. У цьому зв'язку, тематика дисертаційної роботи Данилова Сергія Миколайовича по розробці технології комплексного модифікування жароміцного нікелевого сплаву, яка розв'язує важливу проблему підвищення службових характеристик матеріалу великогабаритних лопаток газотурбінних двигунів великої потужності, є нагальною та актуальною.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає у наступному:

1. Вперше встановлено закономірності формування раціональної структури, яка забезпечує підвищення властивостей виливків із жароміцного нікелевого сплаву ЖСЗДК-ВІ, отриманих з використанням комплексного модифікування – $(0,05\% \text{Ti}(\text{C}, \text{N}) + 0,01\% \text{Y} + 5\% \text{CoAl}_2\text{O}_4)$, гарячого ізостатичного пресування та термічної обробки.

2. Вперше отримано структури жароміцного нікелевого сплаву ЖСЗДК-ВІ, сформовані під одночасним впливом інокулювальної дії керамічної форми, виготовленої з використанням алюмінату кобальту та об'ємного модифікування карбонітридами титану й поверхнево активним елементом – ітрієм, котрі характеризувалися зміною морфології карбідної складової із шрифтової на глобулярну, дрібнодисперсністю карбонітридних включень, сприятливою морфологією інтерметалідної γ' -фази та їх рівномірним розподілом, що підтверджено методами оптичної й електронної мікроскопії.

3. Вперше встановлено склад комплексного модифікатору для отримання крупногабаритних виливків із жароміцного сплаву та визначено раціональну кількість його складових – $(0,05\% \text{Ti}(\text{C}, \text{N}) + 0,01\% \text{Y} + 5\% \text{CoAl}_2\text{O}_4)$. Розроблено технологію введення його у нікелевий розплав, визначено характер зміни структурного стану жароміцного сплаву під дією модифікатору та механічних властивостей – підвищено показники пластичності й ударної в'язкості, тривалу міцність у порівнянні із сплавом, що отриманий за серійною технологією вакуумного рівновісного литва.

4. Вперше отримано відомості щодо впливу комплексного застосування модифікаторів різного механізму дії на втомні характеристики зразків жароміцного нікелевого сплаву ЖСЗДК-ВІ та визначено границю витривалості σ_{-1} при багатоциклових втомних випробуваннях, що дозволило розширити уявлення про вплив комплексного модифікування на втомну витривалість виливків із відповідального жароміцного литва.

Сформульовані положення наукової новизни відображають результати особистого внеску дисертанта при виконанні досліджень у обраному напрямку. Належна обґрунтованість та достовірність результатів забезпечена достатньою кількістю практичних та теоретичних дослідів, використанням різноманітних прийомів аналізу поставлених проблем, достатньою джерельною базою та апробацією отриманих результатів.

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

За своїм змістом дисертаційна робота Данилова Сергія Миколайовича повністю відповідає стандарту вищої освіти зі спеціальності 136Металургія галузі знань 13 Механічна інженерія та напрямкам досліджень відповідно до

освітньої програми Металургія. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, наведені результати та висновки свідчать про наявність особистого внеску здобувача у відповідний науковий напрям.

За результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння можна стверджувати, що кваліфікаційна робота Данилова Сергія Миколайовича є результатом самостійних наукових досліджень здобувача. Робота не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату, запозичень або несанкціонованого використання здобувачем результатів інших авторів. Використані дисертантом ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело. Робота Данилова Сергія Миколайовича відповідає принципам академічної доброчесності.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою. Текст роботи відзначається послідовністю та логічністю викладення матеріалу. Кожен розділ має чітку структуру, яка допомагає легко орієнтуватися у змісті дослідження. Стиль мовлення є науковим, що відповідає вимогам до дисертаційних робіт. Автор використовує загальноприйнятну термінологію наукового напрямку, що полегшує розуміння тексту спеціалістами у відповідній галузі. Мова дисертації вирізняється точністю та однозначністю. Опис методів, процесів та результатів подано чітко та зрозуміло. Це стосується як теоретичних частин, так і практичних висновків, де автор деталізує технологічні процеси, результати дослідження структур та властивостей.

Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, містить список використаних літературних джерел і 2 додатки. Загальний обсяг дисертації становить 131 сторінку, зокрема вона має 107 сторінок основного тексту, 41 рисунок, 10 таблиць, 2 додатки, перелік використаних літературних джерел 118 бібліографічних найменувань.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, задачі, об'єкт і предмет дослідження, описані основні методи дослідження і їх практичне значення, визначений особистий внесок здобувача, наведено дані про апробацію, публікації, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі, що призначений огляду проблематики підвищення пластичності виливків із жароміцних нікелевих сплавів, визначено актуальність роботи, наведені результати аналізу особливостей та проблем, що пов'язані із руйнуванням лопаток газотурбінних двигунів в процесі експлуатації та методи регулювання структури жароміцних нікелевих сплавів спрямовані на підвищення показників пластичності та ударної в'язкості. Серед розглянутих шляхів запропоновані наступні технологічні методи впливу на розплав: застосування модифікаторів першого та другого роду, а

також інокулювальний вплив з використанням поверхневого модифікування. На основі проведеного огляду дисертантом сформульовано мету та задачі досліджень.

У другому розділі наведений опис технологічних процесів отримання вихідного сплаву ЖСЗДК-ВІ та виготовлення ливарних керамічних форм за витоплюваними моделями (на основі серійної технології, заснованої на застосуванні порошків білого електрокорунду та розробленої технології, котра передбачає застосування у першому робочому шарі модифікатору – алюмінату кобальту).

Наведено технологію виготовлення брикетованого модифікатору – карбонітриду титану. Описано технологічний процес отримання комплексно модифікованих виливків методом рівновісної кристалізації. Для проведення ґрунтовних досліджень в роботі застосовані стандартні методики досліджень структури та властивостей дослідного матеріалу, а також наведений опис технологічного обладнання, що використовувалося при натурних випробуваннях.

У третьому розділі показано результати дослідження з визначення впливу технологій модифікування на структуру та властивості жароміцного нікелевого сплаву. Автором виконане обґрунтування вибору модифікаторів для покращення властивостей стандартного жароміцного нікелевого сплаву ЖСЗДК-ВІ. Виходячи з аналітичного огляду літератури, автором, з метою покращення службових характеристик відповідальних виливків авіаційного призначення, перш за все пластичності, ударної в'язкості та жароміцності, обрано модифікатори та їх процентний вміст для застосування в технології литва жароміцного сплаву.

Проведені ґрунтовні дослідження розглянутих технологій показали, що з метою покращення пластичності та ударної в'язкості розглянутих виливків, краще застосовувати технологію комплексного модифікування жароміцного сплаву, проте слід ретельно підходити до кількості часток карбонітриду титану, що вводиться у розплав, через утворення в структурі жароміцного сплаву їх грубих скупчень, котрі негативно впливають на жароміцність матеріалу відповідальних деталей гарячого тракту ГТД.

У четвертому розділі дисертації представлені результати дослідження з визначення раціонального вмісту карбонітриду титану $Ti(C,N)$ при розробці вдосконаленої технології комплексного модифікування, що застосовується при вакуумному рівновісному литті відповідальних виливків. Встановлено, що раціональним діапазоном кількості карбонітрідів титану $Ti(C,N)$, що вводилися у розплав є: 0,025% (мас.); 0,050% (мас.); 0,075% (мас.).

Проведені автором порівняльні дослідження з визначення впливу вдосконалених технологій комплексного модифікування на структуру та властивості сплаву ЖСЗДК-ВІ показали, що отриманню вищих показників ударної в'язкості та жароміцності, порівняно із іншими дослідними варіантами, сприяв технологічний варіант комплексного модифікування із використанням 0,01% ітрію, 0,050% карбонітриду титану та 5% CoAl_2O_4 й таку схему автором було визнано за раціональну.

У п'ятому розділі представлені результати промислового випробування вдосконаленої технології комплексного модифікування, що була застосована при виготовленні лопаток турбіни вентилятору (ТВ) авіаційного газотурбінного двигуна Д-18Т. Встановлено, що за поверхневими світіннями лопатки відповідали вимогам технічної документації. В структурі лопаток спостерігали рівномірно розподілені глобулярні частки карбідної та карбонітридної складових.

Застосування методики випробування лопаток на кут загину, показало, що лопатки характеризувалися значно більшим кутом загину ніж серійні лопатки, в яких за місцем перегну були відсутні дефекти. Про стабільність властивостей виливків, отриманих з використанням вдосконаленої технології комплексного модифікування, свідчать і результати випробувань зразків, що були відлиті разом із дослідними лопатками ТВ.

Економічний ефект від впровадження розробленої технології комплексного модифікування становить майже 1 млн. грн.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. №40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації повністю висвітлені у 6 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 5 статей в фахових виданнях України, з яких 1 стаття у виданні, яке включене до міжнародної наукометричної бази даних Scopus. Наявність публікації у виданні, індексованому у наукометричній базі даних Scopus, гарантує належне рецензування роботи та дотримання принципів академічної доброчесності.

Крім того, результати пройшли апробацію на 8 міжнародних наукових фахових конференціях з ливарного виробництва, металургії, матеріалознавства.

Публікації здобувача мають достовірну наукову базу та є результатом самостійних досліджень. Наукові положення та висновки дисертації, що виносяться на захист, належать здобувачу і повністю висвітлені у наукових публікаціях.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. У вступі, при розгляді актуальності теми дисертаційного дослідження зазначається, що модифікування рідкоземельними елементами – ітрієм, церієм, лантаном сприяє підвищенню жароміцності нікелевих сплавів, натомість в роботі застосований лише один рідкоземельний елемент - ітрій. При обґрунтуванні не зовсім зрозуміло чому обрано саме ітрій, а не церій, лантан, або групу елементів лантаноїдів, які теж класифікуються як рідкоземельні елементи. Теж саме стосується і вибору тугоплавких частинок карбонітриду титану $Ti(C,N)$; зазначається про перспективність їх застосування як модифікаторів і незрозуміло чому обрані саме вони, а не, наприклад, частинки NbN , TiN , TiC , про які згадується у літературному огляді (розділ 1.5).

2. Розроблена методика на визначення куту загину застосована до випробування натурних лопаток складної геометрії, хоча стандартом ДСТУ ISO 7438:2005 «Металеві матеріали. Випробування на згин» передбачені вимоги до геометричних розмірів зразків та умови їх випробування. Для повноти проведеного дослідження бажано б було провести випробування на зразках, геометрія яких відповідає вимогам ДСТУ ISO 7438:2005.

3. Результати випробування на границю витривалості σ_{-1} краще було б привести у табличному вигляді разом з іншими властивостями (таблиця 5.3), або навести втомні криві у координатах $\sigma - N_{ц}$, та провести порівняння σ_{-1} серійного сплаву ЖСЗДК-ВІ.

4. На розроблений модифікатор – $(0,05\%Ti(C,N)+0,01\%Y+5\%CoAl_2O_4)$ та технологічний спосіб введення його у розплав доцільно було б оформити патенти або авторські свідоцтва.

Однак, наведені зауваження не є визначальними та не зменшують загальну наукову новизну та практичну значущість результатів роботи, не впливають на загальну позитивну оцінку представленої дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Данилова Сергія Миколайовича на тему «Розробка технології комплексного модифікування жароміцного нікелевого сплаву для великогабаритних лопаток авіаційних газотурбінних двигунів» виконана на високому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якої розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для металургії жароміцних сплавів та загалом для галузі знань Механічна інженерія. Представлена дисертаційна робота за своєю актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені

п.п. 6-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44.

Здобувач Данилов Сергій Миколайович у повній мірі заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 136 Металургія.

Офіційний опонент:

професор кафедри

«Ливарне виробництво»

Українського державного

університету науки і технологій

Доктор технічних наук, професор

 Вадим СЕЛІВЬОРСТОВ

Підпис Селівьорстова В.Ю. засвідчую

Провідний фахівець відділу кадрів УДМУНТ

 Володимир ШИФРІН



Доктор технічних наук, професор

Вадим Селівьорстов