

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

МІЛОНІНА ЄВГЕНА ВОЛОДИМИРОВИЧА

«Безренієвий жароміцний нікелевий сплав для виготовлення виливків зі спрямованою та монокристалічною структурою»,
яка подається до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.02.01 – матеріалознавство.

Актуальність теми дисертації. Дисертаційна робота Є.В. Мілоніна присвячена вирішенню особливо гострої задачі – зниження собівартості вироблених вузлів і агрегатів наземних енергетичних установок і, водночас, підвищення їх експлуатаційних характеристик.

Лопатки газових турбін для авіаційного та наземного використання виготовляють із жароміцних нікелевих сплавів типу ЖС26-ВІ та ЖС32-ВІ методом спрямованої кристалізації.

Актуальність представленої роботи полягає у розробці економнолегованого безренієвого жароміцного нікелевого сплаву та вибору режимів його термічної обробки при виготовленні деталей ГТД із підвищеними властивостями методом спрямованої кристалізації.

Наукова новизна одержаних результатів. Значну частину роботи автор присвятив дослідженню впливу підвищеного вмісту танталу та зменшеного вмісту вуглецю на структуру та властивості зразків, отриманих методом високошвидкісної спрямованої кристалізації із розробленого нового жароміцного нікелевого сплаву, базою якого був – ЖС32-ВІ.

З використанням розрахунково-аналітичної методики прогнозування структурної та фазової стабільності жароміцних нікелевих сплавів,

оптимізовано хімічний склад економнолегованого безренієвого сплаву для виготовлення виливків відповідального призначення зі спрямованою та монокристалічною макроструктурою, підвищеною стабільністю структурного стану та властивостей.

Технологія термічної обробки, яку розробив автор, може бути застосована як засіб ефективного впливу на структуру та комплекс фізико-механічних експлуатаційних властивостей жароміцних сплавів завдяки заміні форми частинок інтерметалідної γ' -фази з глобулярної на кубічну з найбільшим зміцнюючим ефектом.

Практичне значення отриманих результатів. Випробування при температурі 975 °C і напрузі 250 МПа показало перевищення характеристик довготривалої міцності дослідного сплаву більше ніж втричі у порівнянні зі сплавом ЖС32-ВІ.

Розроблений ливарний жароміцний сплав ЗМІ-М5, що відрізняється підвищеним вмістом танталу, має суттєво знижену вартість, у порівнянні з ренієвмісним сплавом ЖС32-ВІ та підвищену тривалу міцність.

Промислові випробування розробленого сплаву ЗМІ-М5 на базі АТ «Мотор Січ» при виготовленні робочих лопаток ТВД для наземної установки Д-336 методом високошвидкісної спрямованої кристалізації має технологічні параметри на рівні промислового сплаву ЖС32-Ві. Очікуваний річний економічний ефект від його впровадження складає майже вісім мільйонів гривень.

Зв'язок дисертаційного дослідження з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження є складовою частиною науково-дослідної роботи «Розробка та випробування імпортозамінних та ресурсозберігаючих технологій виробництва високоякісного литва з кольорових сплавів для авіадвигунів подвійного призначення» (ДБ 02319, 2019 № державної реєстрації 0119U100527), в якій автор був виконавцем;

— спільної науково-дослідної роботи Запорізького національного технічного університету та АТ «Мотор Січ» «Розробка безренієвого жароміцного нікелевого сплаву для виготовлення литих лопаток, одержуваних методом високошвидкісної спрямованої кристалізації (№ 2638, 2018 р.), в якій автор був виконавцем.

Структура та об'єм дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та чотирьох додатків. Загалом обсяг дисертації сягає 175 сторінок, списку використаних джерел із 115 найменувань на 13 сторінках та чотирьох додатків на 18 сторінках, містить 47 рисунків та 33 таблиці.

У вступі сформульована актуальність проблеми, визначено мету, основні завдання дослідження, висвітлено наукове і практичне значення, особистий внесок здобувача.

Перший розділ містить аналітичний огляд публікацій за напрямом дисертації з питань розробки хімічного складу економнолегованих жароміцних нікелевих сплавів, для виготовлення виливків зі спрямованою і монокристалічною макроструктурою.

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

У другому розділі викладені методичні положення роботи, а також способи та обладнання для спрямованої кристалізації виливок з можливістю проведення високотемпературної термообробки розплаву.

Прогнозування фазової, структурної стабільності та властивостей розробленого сплаву виконували із залученням розрахунково-аналітичних методів. Вище згадані дослідження у поєднанні із експериментальними

випробуваннями проводили у порівнянні з промисловими жароміцними сплавами ЖС26-ВІ та ЖС32-ВІ.

Термообробку зразків проводили за трьома варіантами, починаючи зі стандартної і закінчуючи за режимом, передбаченим для сучасних сплавів IV покоління.

Третій розділ безпосередньо пов'язаний із створенням безренієвого жароміцного нікелевого сплаву для виливків зі спрямованою та монокристалічною структурою.

Шляхом збільшення вмісту танталу та зменшення вмісту вуглецю у сплаві ЖС32-ВІ автор досліджував їхній вплив на рівень експлуатаційних властивостей ЖНС. В результаті дослідження встановлено. Що механічні властивості розробленого сплаву відповідають вимогам ТУ ЖС32-ВІ, а тривала міцність при температурі 975 °С і навантаженні 250МПа збільшилась втричі у порівнянні із середнім показником сплаву ЖС32-ВІ.

Автором проведені комплексні розрахункові дослідження і оптимізовано хімічний склад нового ливарного жароміцного нікелевого безренієвого сплаву для роботи лопаток методом спрямованої (моно) кристалізації для стаціонарних газотурбінних установок.

За допомогою розрахунково-аналітичної методики автором визначено:

- показники структурної стабільності та збалансованості системи легування, які забезпечують задовільну структуру та фазову стабільність розробленого сплаву;
- температуру остаточного розчинення γ' -фази, температурний інтервал кристалізації та режими гомогенізації на γ -твердий розчин, який забезпечує задовільну мікроструктуру та показники механічних властивостей розробленого безренієвого ливарного жароміцного сплаву ЖС32-ВІ із вмістом 4 % мас. ренію

$\sigma_B^{20} = 1219,0 \dots 1231,8$ МПа, $\tau_{300}^{975} = 45,4$ години, відповідно до нормативу ТУ 1-92-177-91.

Оптимізація комплексних показників властивостей дозволила автору роботи визначити хімічний склад безренієвого сплаву та присвоїти йому марку ЗМІ-М5, який застосовуватиметься для виготовлення робочих лопаток наземних газотурбінних установок замість промислового сплаву ЖС32-ВІ. Результати металографічних досліджень зразків розробленого сплаву ЗМІ - М5, які отримані на установці FM-1-2-100 показали високі якісні характеристики γ – твердого розчину, інтерметалідної γ' -фази, евтектичної (γ - γ'), карбідів і карбонітридів. Незначна кількість карбідної фази у вигляді дрібних дискретних глобулярних частинок типу MeC, а Me₆C нового сплаву ЗМІ-М5 є характерними для низьковуглецевих сплавів з вмістом вуглецю $\leq 0,08$ мас.%. Наступна термічна обробка за різними режимами сприяла зменшенню неоднорідності внаслідок вирівнювання хімічного складу межах дендритних ділянок.

Дослідження розробленого жароміцного сплаву ЗМІ-М5 після термообробки за режимом, передбаченим для сучасних сплавів IV коління показало, що механічні властивості при температурі 20 °С, а також тривала міцність при температурі випробування 975 °С і навантаженні 300 МПа відповідають вимогам тимчасових технічних умов.

Розроблений безренієвий сплав ЗМІ-М5 вдвічі дешевший від його аналогів та, водночас, має рівень механічних та експлуатаційних властивостей притаманний промислового сплаву ЖС32-ВІ.

Четвертий розділ присвячено апробації розробленого сплаву ЗМІ-М5 в умовах АТ «Мотор Січ». Випробуванню піддавалось виготовлення робочих лопаток УВСК-9А за серійною технологією із використанням затравок зі сплаву НВ - 4 підвищеної чистоти із підвищеним до 0,1 % вмістом вуглецю. Автором роботи встановлено, що технологічні параметри розробленого

сплаву відповідають промислового сплаву ЖС32-ВІ. Очікуваний річний економічний ефект від впровадження сплаву ЗМІ-М5 склав майже 8 мільйонів гривень.

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 та режиму термічної обробки економнолегованого жароміцного сплаву зі стабільним структурним станом за допомогою застосування сучасних розрахунково-аналітичних методів.

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.

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

Публікації за темою дисертації. Основні матеріали і результати дисертації опублікованої в 13 роботах, з яких: шість статей у фахових виданнях, які входять до переліку МОН України, одна у міжнародному виданні, один патент України на корисну модель та п'ять тез доповідей в матеріалах конференції.

Дисертаційна робота Мілоніна Євгена Володимировича заслуговує позитивної оцінки. Разом з тим вона містить низку недоліків:

1. В роботі на стор. 88, рисунок 3.4 приведена поліноміальна залежність короточасної міцності σ'_B від температури, але у межах 200 і 950 °С залежність скоріше лінійна. Важливо було розрахувати для σ'_B еквіваленти впливу основних компонентів сплаву.
2. Замало дослідів (2 – 3) для побудови залежностей розрахункової межі 100 і 1000 годинної тривалої міцності від температури (див. рисунки 3.5 і 3.6). Графіки (рис 3.5 і 3.6) побудовані невдало – витягнуті по осі абсцис та відсутні значення σ'_B при 750 °С та 1050 °С.
3. Результати рентгеноструктурного аналізу (табл. 3.18), сторінка 111 дисертації свідчать про наявність карбідів танталу, але в тексті дисертації не згадується про кількісний склад та тип карбідної фази.
4. Із тексту дисертації не зрозуміло, які переваги має сплав ЗМІ-М5 при збільшенні відносного подовження втричі у порівнянні із аналогом.
5. Не зрозуміло, які механізми або чинники обумовлюють формування структури з великими (до 3,5 мкм) γ' -частинками зміцнювальної фази глобулярної морфології (див. стор. 112).
6. Розділ 3 дисертації занадто інформативно переобтяжений – 67 сторінок.
7. Зустрічаються не зовсім вдалі вирази, описки та повтори, на які вказано автору.

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 розробкою жароміцного сплаву ЗМІ-М5, який не містить коштовного та гостродефіцитного ренію і, водночас, відповідає вимогам до серійного сплаву ЖС32-VI.

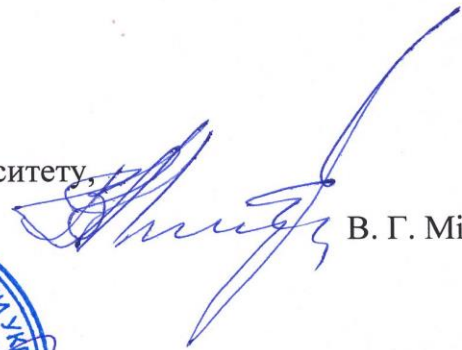
Дисертаційна робота Мілоніна Євгена Володимировича «Безренієвий жароміцний нікелевий сплав для виготовлення виливків зі спрямованою та монокристалічною структурою» є завершеною науково-дослідною роботою, яка за вмістом, важливістю отриманих науковообґрунтованих результатів, висновків та рекомендацій, їхньою достовірністю та практичною значимістю відповідає вимогам п.п. 9, 11, 13 «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 дисертацій, а її автор Мілонін Є.В. заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство.

Офіційний опонент:

Завідувач кафедри прикладної
фізики і наноматеріалів

Запорізького національного університету,

д-р техн. наук, професор



В. Г. Міщенко

Вчений секретар



О. А. Проценко

Вх. №5 від 11.09.2020р.