

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора Калініної Н.Є.

на дисертаційну роботу

Мілоніна Євгена Володимировича

«Безренієвий жароміцний нікелевий сплав для виготовлення виливків зі спрямованою та монокристалічною структурою», що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство

Актуальність теми дисертації

Україна залишається одним з визнаних лідерів з виготовлення енергетичних установок. Питання зниження собівартості вироблених вузлів і агрегатів стоїть для нашої держави особливо гостро.

Литі лопатки газових турбін, як авіаційних, так і наземного використання, виготовляють з жароміцних нікелевих сплавів методом високошвидкісної спрямованої кристалізації. На сьогодні широко поширені лопаточні жароміцні нікелеві сплави ЖС26-ВІ та ЖС32-ВІ. Сплав ЖС26-ВІ не відповідає вимогам до матеріалу робочих лопаток за жароміцністю. Високожароміцний сплав ЖС32-ВІ відповідає всім вимогам за механічними і жароміцними властивостями, що пред'являються до матеріалу лопаток, але в системі легування містить особливо коштовний імпортований елемент – реній і, відповідно, характеризується високою вартістю, при цьому не забезпечує корозійної стійкості, внаслідок чого на лопатки додатково наносять захисне покриття.

Раніше в Національному університеті «Запорізька політехніка» був розроблений склад економнолегованого жароміцного нікелевого сплаву, який перевершує за комплексом характеристик відомий серійний сплав ЖС26-ВІ. Проаналізувавши вплив легувальних елементів на властивості жароміцних нікелевих сплавів, здобувач прийшов до висновку повного виключення зі складу ЖНС, у разі експлуатації на наземних установках, коштовного ренію і заміни його підвищеним вмістом менш коштовних легувальних елементів Та і

W, що дозволило одночасно забезпечити високі показники жароміцності і стійкість проти високотемпературної корозії.

Представлена робота присвячена вирішенню актуальної наукової і практичної задачі – розробленню складу безренієвого жароміцного нікелевого сплаву для відповідальних виливків зі спрямованою і монокристалічною структурою для агрегатів наземного базування зі структурною стабільністю та високими експлуатаційними характеристиками.

Актуальність теми дисертації підтверджується її зв'язком з державною програмою розвитку машинобудування України та спільною держбюджетною тематикою НУ «Запорізька політехніка» з АТ «Мотор Січ».

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій

Обґрунтованість наукових положень дисертації Мілоніна Є.В. забезпечено багатостороннім аналізом літературних джерел, які охоплюють сучасні уявлення про стан проблеми розробки нових ЖНС з одночасним забезпеченням економічних показників та відповідності сплавам нового покоління за рівнем фізико-механічних та експлуатаційних властивостей.

Зміст дисертаційної роботи дає можливість оцінити роботу, як комплексну, з науковими та технологічними компонентами.

Наукові положення, сформульовані дисертантом, узгоджується із загальними уявленнями матеріалознавства жароміцних сплавів, коректність виконання методологічних підходів при вирішенні поставлених завдань, узгодженням отриманих розрахункових і експериментальних результатів, практичним використанням зроблених висновків і рекомендацій.

Достовірність отриманих у роботі результатів

Достовірність наукових положень дисертації не викликає сумніву, оскільки всі теоретичні твердження підтверджується результатами великого обсягу досліджень, отриманих стандартними методиками. Отримані в роботі результати не суперечать загальновизнаним постулатам в галузі матеріалознавства, данні узгоджуються з висновками інших дослідників ЖНС.

Отримані в роботі результати обговорені на авторитетних наукових конференціях.

Наукова новизна дисертаційної роботи

В процесі виконання досліджень отримані результати, аналіз яких дозволяє стверджувати, що вони відповідають критерію наукової новизни, а саме:

1. Отримали подальший розвиток уявлення про вплив підвищеного вмісту Та при зниженому вмісті С на структуру та властивості дослідного жароміцного нікелевого сплаву на базі ЖС32-ВІ, одержаного методом високошвидкісної спрямованої кристалізації.. Встановлено, що підвищений вміст Та забезпечує механічні і жароміцні властивості розробленого сплаву після термообробки за запропонованим режимом, на рівні, що істотно перевищує вимоги ТУ для серійного сплаву ЖС32-ВІ.

2. Вперше, з використанням розрахункових методів прогнозування структурної та фазової стабільності жароміцних нікелевих сплавів, розроблено оптимальний склад економнолегованого безренієвого сплаву для виготовлення відповідальних виливків зі спрямованою і монокристалічною структурою. Поліпшення структурної стабільності і підвищення комплексу властивостей розробленого сплаву забезпечується за рахунок збалансованого легування танталом і вольфрамом (по 8,5 мас. %).

3. Науково обґрунтовано вплив вмісту основних легувальних елементів Та і W на фізико-механічні і експлуатаційні властивості розробленого сплаву ЗМІ-М5. Встановлено, що даний склад поєднує в собі високу структурну і фазову стабільність зі збереженням характеристик жароміцності та технологічності на рівні серійного сплаву ЖС32-ВІ при зниженні вартості.

4. Встановлені матеріалознавчі уявлення про механізм впливу термічної обробки на морфологію структури жароміцних нікелевих сплавів. Термообробка за новим режимом забезпечила механічні властивості та тривалу міцність при температурі 975°C і навантаженні 300 МПа монокристалічних зразків розробленого сплаву на рівні вимог серійного сплаву ЖС32-ВІ.

Практичне значення отриманих результатів

Результати роботи відрізняються значною практичною цінністю.

1. Доказано, що тривала міцність при температурі 1000°C і навантаженні 280 МПа дослідних зразків дослідного нікелевого сплаву з підвищеним вмістом Та при зниженому вмісті С, знаходиться на рівні значень для серійного сплаву ЖС32-ВІ. Випробування при температурі 975°C і навантаженні 250 МПа показало тривалу міцність дослідного сплаву в 3 рази вище значень для серійного сплаву. Наведені дані підтверджують позитивний вплив підвищеного вмісту Та на жароміцність ЖНС.

2. Для виготовлення відповідальних виливків методом високошвидкісної спрямованої кристалізації розроблено ливарний жароміцний нікелевий сплав ЗМІ-М5. Сплав відрізняється підвищеним вмістом танталу, який компенсує відсутність у сплаві ренію. Склад сплаву запатентовано. Суттєво знижується вартість нового сплаву, в порівнянні зі серійним сплавом (акт від 06.03.2020р.).

3. Розроблено тимчасові технічні умови на шихтову заготовку жароміцного сплава ЗМІ-М5 для лопаток турбін спрямованої кристалізації і монокристалітного лиття (додаток А).

4. Дослідно-промислове випробування розробленого сплаву ЗМІ-М5 на базі АТ «Мотор Січ» при отриманні робочих лопаток для наземної установки Д-336 показало, що розроблений сплав має технологічні параметри на рівні серійного сплаву ЖС32-ВІ. Розраховано значний очікуваний економічний ефект від впровадження сплаву ЗМІ-М5 для агрегатів наземного базування (акт від 03.12.2019р.).

Повнота викладу результатів дисертації в наукових публікаціях

Основні матеріали і результати дисертації опубліковані в 13 роботах, з них: 6 – статей у фахових виданнях, які входять до переліку МОН України, 1 – у міжнародному виданні, 1 патент України на корисну модель, а також 5 тез доповідей в матеріалах конференцій.

Аналіз друкованих праць дає підставу вважати, що наукові положення, висновки та рекомендації, які викладено в дисертаційній роботі, повністю висвітлено в наукових працях.

Структура дисертації

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, 4 розділів, висновків,

списку використаних джерел та 4 додатків. Загальний обсяг дисертації складає 175 сторінок: основного тексту 127 сторінок, список використаних джерел із 115 найменувань на 13 сторінках та 4 додатків на 20 сторінках, містить 47 рисунків та 33 таблиці.

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, визначено її мету і задачі, висвітлено наукове і практичне значення, особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** наведено огляд світової технічної літератури з питань розробки складів економнолегованих жароміцних нікелевих сплавів, для виготовлення відповідальних виливків зі спрямованою і монокристалічною макроструктурою для агрегатів наземного базування.

На основі проведеного аналізу сучасного стану питань авіаційної техніки сформульовано мету дослідження та задачі, які необхідно вирішити для її досягнення.

У **другому розділі** викладені загальні методичні положення роботи.

Дослідні сплави виплавлені в сучасних промислових вакуумних установках рівновісної та спрямованої кристалізації.

Для прогнозування фазової, структурної стабільності та властивостей розробленого сплаву задіяли сучасні розрахунково-аналітичні методи. Розрахунково-аналітичні та експериментальні дослідження проведені в порівнянні з промисловими жароміцними сплавами ЖС26-ВІ та ЖС32-ВІ.

Хімічний склад, структури, механічні та жароміцні властивості дослідних сплавів визначали за допомогою сучасних достовірних методик на стандартизованому обладнанні. Відносна похибка складала не більше 5 %.

Третій розділ присвячено розробці нового безренієвого жароміцного нікелевого сплаву для виготовлення виливків зі спрямованою та монокристалічною структурою.

Для підтвердження ефективності впливу збільшеного вмісту танталу на рівень експлуатаційних властивостей ЖНС провели дослідження зразків нікелевого сплаву на базі ЖС32-ВІ, з підвищеним вмістом Та, при зниженому вмісті С. Встановлено, що механічні властивості сплаву відповідають вимогам

ТУ ЖС32-ВІ, а тривала міцність при температурі 975 °С і навантаженні 250 МПа більше ніж в 3 рази перевищує значення для серійного сплаву.

Проведені комплексні розрахункові дослідження з розробки оптимального складу нового нікелевого безренієвого сплаву для виготовлення робочих лопаток методом спрямованої кристалізації.

Таким чином, дослідний сплав ЗМІ-М5 який не містить ренію, має майже вдвічі меншу вартість ніж серійний (акт від 03.12.2019р.), забезпечує механічні та жароміцні властивості на рівні промислового сплаву ЖС32-ВІ і може бути використаний для виготовлення лопаток газотурбінних установок наземного призначення.

Четвертий розділ присвячено дослідно-промислому випробуванню розробленого сплаву ЗМІ-М5. В промислових умовах на базі АТ "Мотор Січ" випробувано виготовлення робочих лопаток для наземної установки Д-336 методом високошвидкісної спрямованої кристалізації на установці УВСК-9А за серійною технологією. Проведені дослідження доказали, що розроблений сплав має технологічні параметри на рівні промислового сплаву ЖС32-ВІ.

Загальний вихід придатного литва за макроструктурою лопаток для обох сплавів склав 48...50%. З цієї кількості отримано 70...75% лопаток зі спрямованою і 25...30% лопаток з монокристалічною структурою (акт від 03.12.2019р.).

При потребі в литих лопатках з монокристалічною структурою для агрегатів наземного базування порядку 3 тон очікуваний річний економічний ефект від впровадження сплаву ЗМІ-М5 складає близько 8 мільйонів гривень (акт від 03.12.2019р.).

Оцінка мови та стилю дисертації

Дисертаційна робота викладена професійно та кваліфіковано. Матеріали досліджень логічно систематизовані та коректно оформлені.

Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації й достатньо повно відбиває основні наукові результати, отримані здобувачем.

Тема і зміст дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.02.01 –

матеріалознавство.

Однак, не дивлячись на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, є ряд зауважень:

1. В методичному розділі доцільно було більш детально описати складний процес високошвидкісної спрямованої кристалізації сплавів у промислових умовах.

2. Є деякі графологічні помилки:

- тиск на стор. 59 наведено в мм рт. ст., а на стор. 62 – в Па;
- на стор. 76 вказано дорогий реній замість кошовий.

3. У підрозділах 2.2.3 і 3.5.2 рекомендовано режим гомогенізації 1270°C з витримкою 4 год. замість 2 год. для серійних сплавів. Але відсутнє обґрунтування збільшення часу витримки.

4. Основними легувальними елементами у безренієвому сплаві є Ta і W. Для більш повного обґрунтування структуроутворення було б доцільно навести діаграми стану нікелю з танталом і вольфрамом.

5. На рис. 3.7 і 3.8 (стор.95) наведено залежності межі міцності та відносного подовження від вмісту (Ta+W). Яка збіжність цих даних, отриманих розрахунковим методом, з експериментальними?

6. В табл. 3.21 (стор. 120) здобувач встановив значну мікропористість дослідного сплаву ЗМІ-М5 (до 35%) після гомогенізації. Чим обумовлено цей факт та які рекомендації зі зменшення мікропористості?

7. При аналізі структурних складових (рис. 3.28; табл. 3.21 (стор. 118,120)) виявлені «евтектичні карбіди типу Me_6C », але доцільно було б конкретизувати карбідоутворюючі елементи.

Деякі з наведених зауважень носять рекомендаційний характер для використання в подальшій роботі й не знижують загальної позитивної оцінки розглянутої дисертаційної роботи.

Висновки щодо відповідності дисертації вимогам Міністерства освіти і науки України

Дисертація Мілоніна Євгена Володимировича «Безренієвий жароміцний нікелевий сплав для виготовлення виливків зі спрямованою та монокристалічною структурою», є завершеною науково-дослідною роботою, яка у сукупності може бути охарактеризована як успішне вирішення важливої науково-технічної матеріалознавчої задачі з розробки складу економнолегованого жароміцного нікелевого сплаву з підвищеною структурною стабільністю та комплексом експлуатаційних властивостей.

За змістом, актуальністю отриманих результатів, науковою новизною, достовірністю та практичною цінністю дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013р. № 567 з змінами МОН України №656 від 29.08.2015р. щодо кандидатських дисертацій, а її автор – Мілонін Євген Володимирович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство.

Офіційний опонент:

Доктор технічних наук, професор
кафедри технології виробництва
Дніпровського національного університету
імені Олеся Гончара



Н.Є. Калініна

Підпис д.т.н., професора Калініної Наталії Євграфівни засвідчую

Вчений секретар
Дніпровського національного університету
імені Олеся Гончара



Т.В. Ходанен

Вх. №17 від 24.09.2020р.