

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу
Наумик Олени Олександрівни
на тему

«Вдосконалення технології виготовлення литих деталей для авіаційного та енергетичного машинобудування»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
у галузі знань 13 «Механічна інженерія»
за спеціальністю 136 «Металургія»

Актуальність теми дослідження

Створення сучасних силових установок для авіаційної та енергетичної галузей потребує забезпечення високого рівня фізико-механічних, жароміцних і експлуатаційних характеристик матеріалів, що застосовуються для виготовлення відповідальних литих деталей. Водночас важливим чинником є збереження економічної доцільності виробництва та конкурентоспроможності продукції.

З огляду на складність і насиченість систем легування сучасних жароміцних нікелевих сплавів, подальше підвищення їх властивостей доцільно реалізовувати не шляхом ускладнення хімічного складу, а через оптимізацію технологічних процесів виплавлення та обробки. Особливо актуальними є питання використання технологічного вороття в шихті, застосування різних способів модифікування розплаву, а також впровадження сучасних методів покращення структури готових виливків, зокрема гарячого ізостатичного пресування (ГІП).

Таким чином, дисертаційна робота присвячена вирішенню важливої науково-практичної задачі вдосконалення технології отримання відповідальних литих виробів із жароміцних нікелевих сплавів для авіаційного та енергетичного машинобудування.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у такому.

1. Вперше теоретично із застосуванням відомих методик, проведено комплекс розрахунково-аналітичних досліджень та визначено найважливіші параметри, що характеризують структурну і фазову стабільність та працездатність ливарного жароміцного нікелевого сплаву ЖСЗДК-ВІ на різних рівнях легування.

Раніше такі дані мали фрагментарний характер. Отримано основні розрахункові температурні параметри, кількість основної зміцнюючої γ' -фази, границя короткочасної і тривалої міцності жароміцного нікелевого сплаву ЖСЗДК-ВІ на різних рівнях легування. Розрахункові показники відповідають відомим практичним результатам досліджень та рівню вимог ОСТ 1.90.126-85 до сплаву ЖСЗДК-ВІ

Отримані результати свідчать про достатню стабільність сплаву ЖСЗДК-ВІ та його загальну придатність для широкого застосування модифікування різними комплексами для подальшого покращення рівня фізико-механічних та експлуатаційних властивостей, підтверджують коректність застосованих параметрів температури і тиску в процесі ГП і ТО сплаву ЖСЗДК-ВІ.

2. Отримали подальший розвиток науково-практичні уявлення про можливість використання технологічного вороття в шихті при виплавленні жароміцного нікелевого сплаву ЖСЗДК-ВІ.

Показано, що якість виливків із жароміцного нікелевого сплаву ЖСЗДК-ВІ, отриманих з використанням у шихті 50%-вого вороття (після попереднього переплаву із застосуванням високотемпературної обробки розплаву), після ГП та термічної обробки за стандартним режимом відповідає вимогам ОСТ 1.90.126-85.

У процесі ГП лопаток при температурі 1210 °С і тиску 160 МПа відбувається заліковування мікропор і рихлот, що не виходять на поверхню деталей (знаходяться у внутрішніх об'ємах металу). ГП перед стандартною термічною обробкою позитивно впливає на комплекс фізико-механічних та експлуатаційних властивостей відповідальних литих виробів із жароміцних нікелевих сплавів для авіаційних і енергетичних силових установок.

3. Отримали подальший розвиток науково-практичні уявлення про можливість застосування різних видів модифікування при виплавленні жароміцного нікелевого сплаву ЖСЗДК-ВІ.

Досліджено вилівки з жароміцного нікелевого сплаву ЖСЗДК-ВІ, модифікованого ультрадисперсним порошком карбонітриду титану; ітрієм; ітрієм у комплексі з карбонітридом титану або ніобієм при різних співвідношеннях присадок у розплав Ni-Y лігатури, [Ti+Ti(C,N)] і Nb. Хімічний склад, механічні та жароміцні властивості досліджуваних зразків після ГП та стандартної ТО задовільні та відповідають вимогам ОСТ 1.90.126-85. Мікроструктура зразків, відлитих зі сплаву ЖСЗДК-ВІ за всіма варіантами (після ГП та ТО), характерна для нормально термообробленого стану сплаву ЖСЗДК-ВІ. Карбіди та карбонітриди виділяються у вигляді дискретних глобулярних частинок, переважно рівномірно розподілених в об'ємі металу.

Встановлено найкращий ефект від комплексного модифікування ітрієм і карбонітридом титану з присадками у розплав [Ti+Ti(C,N)] – 0,075% і Ni-Y лігатури – 0,136%, що забезпечують формування найбільш сприятливої структури

і значно кращі механічні та жароміцні властивості нікелевого сплаву ЖСЗДК-ВІ. В цьому випадку спостерігається подрібнення зерна, карбіди та карбонітриди виділяються у вигляді дискретних глобулярних частинок, рівномірно розподілених в об'ємі металу; межі зерен тонкі з наявністю на межах карбідів розміром, що переважно, не перевищує ~ 3 мкм. Це, ймовірно, сприяло підвищенню ударної в'язкості до значень $58,8$ Дж/см².

Висновки, сформульовані здобувачем, мають належне теоретичне й практичне підґрунтя. Результати дослідно-промислових випробувань на ДП «Івченко-Прогрес» підтвердили доцільність запропонованих технологічних рішень.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертація Наумик Олени Олександрівни за своїм науковим змістом узгоджується з вимогами освітнього стандарту за спеціальністю 136 «Металургія» галузі знань 13 «Механічна інженерія».

Представлена робота є завершеним самостійним науковим дослідженням, а отримані результати та сформульовані висновки засвідчують наявність особистого наукового внеску здобувача у розвиток відповідної галузі знань.

Аналіз звіту подібності та перевірки дисертаційної роботи на текстові збіги можна зробити висновок, що кваліфікаційна робота Наумик Олени Олександрівни є результатом її власних наукових досліджень. У роботі відсутні ознаки фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату, запозичень або несанкціонованого використання здобувачкою результатів інших авторів. Застосовані здобувачем теоретичні положення та ідеї, результати та текстові фрагменти, запозичені дисертантом з праць інших дослідників, коректно і належним чином задокументовані шляхом відповідних бібліографічних посилань. Принципи академічної доброчесності дотримано.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертація викладена українською мовою, має логічну структуру та послідовний виклад матеріалу. Авторкою використано типову термінологію фахового спрямування, що сприяє належному розкриттю змісту дослідження. Виклад матеріалу відповідає вимогам до кваліфікаційних робіт даного рівня.

Робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку літератури (116 джерел) і двох додатків; містить 35 рисунків та 23 таблиці. Загальний обсяг складає 122 сторінки.

Коротка характеристика розділів.

Вступ оформлено відповідно до традиційної структури кваліфікаційних наукових праць. Він відзначається логічністю, чіткістю викладу та належним рівнем аргументації.

У вступній частині обґрунтовано актуальність обраної теми, показано її зв'язок із науковими програмами та тематикою досліджень, визначено мету і завдання роботи, об'єкт і предмет дослідження. Охарактеризовано використані методи, сформульовано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, наведено інформацію про особистий внесок здобувачки та рівень апробації результатів.

Стиль викладу відповідає нормам наукової мови, формулювання є точними й змістовними. Текст орієнтований на фахову аудиторію у сфері металургії та ливарного виробництва.

Розділ 1. Сучасні матеріали і технологічні процеси виготовлення литих деталей для авіаційного та енергетичного машинобудування.

У першому розділі здійснено ґрунтовний огляд наукових публікацій, присвячених сучасним матеріалам і технологіям виробництва литих деталей, зокрема лопаток газотурбінних двигунів.

Наведено узагальнену характеристику жароміцних нікелевих сплавів, що застосовуються в авіаційному та енергетичному машинобудуванні. Проаналізовано особливості високотемпературної обробки розплавів, методи модифікування, а також технологічні способи покращення структури та властивостей виливків. Значну увагу приділено можливості використання технологічного вороття у складі шихти.

Розділ логічно структурований, поділений на підрозділи, що забезпечує зручність сприйняття матеріалу. Виклад є послідовним, науково виваженим і технічно коректним.

Розділ 2. Матеріали та методики досліджень.

У другому розділі наведено характеристику об'єкта дослідження – жароміцного нікелевого сплаву ЖСЗДК-ВІ – та описано комплекс застосованих методик.

Для визначення показників структурної та фазової стабільності, а також оцінювання працездатності сплаву при різних рівнях легування використано відомі розрахунково-аналітичні методи, зокрема комплексну методику, розроблену в НУ «Запорізька політехніка». Виплавлення сплавів здійснювали у вакуумній установці УППФ-3М із застосуванням сучасних способів високотемпературної обробки розплаву та модифікування.

Дослідження охоплювали визначення хімічного складу, аналіз макро- і мікроструктури, оцінювання механічних і жароміцних властивостей, тривалої міцності, а також випробування лопаток на згин. Властивості зразків визначали після гарячого ізостатичного пресування та стандартної термічної обробки.

Відносна похибка вимірювань не перевищувала 5 %, що свідчить про надійність експериментальних результатів.

Розділ 3. Розрахунок структурної стабільності сплаву ЖСЗДК-ВІ.

У третьому розділі представлено результати комплексних розрахунково-аналітичних досліджень, спрямованих на визначення параметрів структурної та фазової стабільності сплаву ЖСЗДК-ВІ.

Встановлено основні температурні характеристики, об'ємну частку зміцнювальної γ' -фази, а також показники короткочасної та тривалої міцності при різних рівнях легування.

Отримані результати узгоджуються з вимогами нормативної документації та відомими практичними даними щодо цього сплаву, що підтверджує правильність застосованих методик. Обґрунтовано доцільність вибору параметрів температури й тиску під час гарячого ізостатичного пресування та подальшої термічної обробки.

Зроблено висновок про достатній рівень структурної стабільності сплаву та його придатність до ефективного модифікування з метою підвищення комплексу фізико-механічних і експлуатаційних характеристик.

Розділ 4. Виготовлення лопаток зі сплаву ЖСЗДК-ВІ з використанням 50 % вороття у шихті.

Результати досліджень показали, що якість матеріалу робочих лопаток і зразків, виготовлених зі сплаву ЖСЗДК-ВІ із застосуванням 50 % технологічного вороття (після попереднього переплаву з високотемпературною обробкою), після проведення ГПІ та стандартної термічної обробки відповідає встановленим вимогам.

Мікроструктура лопаток представлена γ -твердим розчином, зміцненим інтерметалідною γ' -фазою, з наявністю карбідів і карбонітридів, що відповідає структурі сплаву в нормально термообробленому стані.

Під час ГПІ при температурі 1210 °С і тиску 160 МПа відбувається ефективне усунення внутрішніх мікропор і рихлот. Розміри залишкових мікроефектів після обробки більш ніж у 40 разів менші порівняно зі станом до ГПІ.

Механічні та жароміцні характеристики відповідають вимогам ОСТ 1.90.126-85. Кут згину лопаток перебуває в межах 88–126°. Отримані результати підтверджують доцільність використання 50 % вороття у шихті та позитивний вплив гарячого ізостатичного пресування на властивості відповідальних виробів.

Розділ 5. Модифікування ливарного жароміцного сплаву ЖСЗДК-ВІ.

У п'ятому розділі досліджено вплив різних варіантів модифікування на структуру та властивості литих виробів зі сплаву ЖСЗДК-ВІ.

Проаналізовано зразки, модифіковані карбонітридом титану, ітрієм, а також ітрієм в комплексі з карбонітридом титану при різних співвідношеннях

добавок у розплав та ніобієм. Після ГП та стандартної термічної обробки всі зразки відповідали вимогам нормативної документації за хімічним складом і механічними характеристиками. Мікроструктура відповідала типовому стану сплаву після термообробки: карбіди та карбонітриди мали форму дискретних глобулярних частинок і рівномірно розподілялися в об'ємі металу.

Найвищі показники механічних властивостей отримано при комплексному модифікуванні ітрієм та карбонітридом титану з вмістом [Ti- Ti(C,N)] 0,075 % і Ni-Y лігатури 0,136 %. За таких умов формується більш дрібнозерниста структура, межі зерен є тонкими, а карбіди на межах не перевищують приблизно 3 мкм. Це сприяє покращенню експлуатаційних характеристик, зокрема підвищенню ударної в'язкості до 58,8 Дж/см².

Дисертаційна робота оформлена відповідно до дійсних вимог МОН України.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Основні положення та результати дисертації опубліковано у 16 друкованих працях: у 4 виданнях, що індексуються у міжнародних науково-метричних базах Scopus та Web of Science; у 4 фахових виданнях; у 8 тезах доповідей на міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях, 2 з яких також індексуються у науково-метричній базі даних Scopus.

Основні результати, наведені в дисертаційній роботі, були отримані, проаналізовані і сформульовані автором самостійно.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. Не зовсім зрозуміло чому в якості одного з модифікаторів використовували Ніобій? Його частіше використовують як легувальний елемент.

2. В п'ятому розділі в результаті модифікування було встановлено подрібнення зерна. Як це вплинуло на жароміцні властивості дослідних сплавів?

3. В роботі не надано відомостей про повторюваність дослідів при проведених випробовуваннях для оцінки їх статистичної достовірності.

4. У тексті наявні певні орфографічні помилки, стилістичні неточності, досить довгі та складні для сприйняття речення.

Зазначені зауваження не знижують загального позитивного враження від роботи, а також її наукової та практичної цінності.

Висновок про дисертаційну роботу

Дисертаційна робота Наумик Олени Олександрівни «Вдосконалення технології виготовлення литих деталей для авіаційного та енергетичного машинобудування» є завершеним, самостійним науковим дослідженням, у якому вирішено актуальну науково-практичну задачу вдосконалення технології виготовлення відповідальних литих деталей із жароміцного нікелевого сплаву ЖСЗДК-В1. Запропоновані технологічні рішення, що включають високотемпературну обробку розплаву, комплексне модифікування, гаряче ізостатичне пресування та подальшу термічну обробку, підтверджені експериментально і виробничими випробуваннями.

За своєю актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною представлена дисертаційна робота відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в 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.

Здобувачка Наумик Олена Олександрівна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 136 «Металургія».

Рецензент:

Доцент кафедри
«Фізичне матеріалознавство»
Національного університету
«Запорізька політехніка»,
кандидат технічних наук, доцент

