

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 дисертації

Сучасний розвиток авіаційного та енергетичного машинобудування характеризується невідступним підвищенням температурно-силових навантажень на елементи газотурбінних двигунів і енергетичних установок. За таких умов забезпечення стабільних фізико-механічних та жароміцних характеристик литих деталей із нікелевих суперсплавів є визначальним чинником надійності й ресурсу виробів.

Подальше підвищення експлуатаційних характеристик жароміцних нікелевих сплавів нашкодується на обмеження, пов'язані зі складністю їх багатокомпонентного легування. Тому науково обґрунтованим є підхід, спрямований на оптимізацію технологічних параметрів виплавлення, модифікування, обробки розплаву та обробки виливок без суттєвої зміни базового хімічного складу сплаву.

У цьому контексті дисертаційна робота, спрямована на вирішення важливої прикладної та водночас наукової задачі – підвищення рівня властивостей відповідальних литих виробів із жароміцного нікелевого сплаву ЖСЗДК-ВІ шляхом вдосконалення технології їх виготовлення, – є безперечно актуальною.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів, їх достовірності та новизни

1. Вперше на основі теоретичних розрахунків із застосуванням відомих методик виконано комплекс розрахунково-аналітичних досліджень жароміцного нікелевого сплаву ЖСЗДК-ВІ. Визначено найважливіші параметри, що характеризують

ють його структурну та фазову стабільність і працездатність за різних рівнів легування, – температурні характеристики, вміст зміцнювальної гама-штрих-фази (γ'), а також межі короткочасної та тривалої міцності.

До цього відомості такого характеру мали лише фрагментарний характер. Розрахункові показники узгоджуються з відомими практичними даними й вимогами галузевого стандарту, що підтверджує достовірність використаного підходу.

Одержані результати свідчать про достатню структурну стабільність сплаву ЖСЗДК-ВІ та його придатність до модифікування різними комплексами присадок із метою подальшого підвищення фізико-механічних та експлуатаційних властивостей. Крім того, підтверджено коректність обраних параметрів температури і тиску при проведенні гарячого ізостатичного пресування та термічної обробки.

2. Отримали подальший розвиток науково-практичні уявлення щодо можливостей використання технологічного вороття у складі шихти при виплавленні сплаву ЖСЗДК-ВІ.

Показано, що виливки, виготовлені з використанням 50 % технологічного вороття після попереднього переплаву і високотемпературної обробки розплаву, після гарячого ізостатичного пресування і стандартної термічної обробки відповідають вимогам галузевого стандарту.

У процесі гарячого ізостатичного пресування лопаток при температурі 1210 °С і тиску 160 МПа відбувається заліковування мікропор та рихлот, розташованих у внутрішніх об'ємах металу, що не виходять на поверхню деталей. Встановлено, що проведення гарячого ізостатичного пресування перед стандартною термічною обробкою позитивно впливає на комплекс фізичних, механічних та експлуатаційних властивостей литих виробів із жароміцних нікелевих сплавів, призначених для авіаційних і енергетичних силових установок.

3. Отримали подальший розвиток науково-практичні уявлення щодо можливостей застосування різних видів модифікування при виплавленні сплаву ЖСЗДК-ВІ.

Досліджено виливки, модифіковані такими варіантами присадок: ультрадисперсний порошок карбонітриду титану; ітрій; ітрій у комплексі з карбонітридом

титану або ніобієм за різних співвідношень лігатури Ni-Y, суміші титану з карбонітридом титану та ніобію.

Хімічний склад, механічні та жароміцні властивості зразків після гарячого ізостатичного пресування і стандартної термічної обробки є задовільними за всіма варіантами і відповідають вимогам ОСТ 1.90.126-85. Мікроструктура є характерною для нормально термообробленого стану сплаву: карбіди та карбонітриди виділяються у вигляді дискретних глобулярних частинок, переважно рівномірно розподілених в об'ємі металу.

Найкращі результати забезпечує комплексне модифікування ітрієм і карбонітридом титану при таких концентраціях присадок: суміш титану з карбонітридом титану – 0,075 %, лігатура Ni-Y – 0,136 %. Цей варіант модифікування зумовлює подрібнення зерна, рівномірний розподіл карбідів і карбонітридів в об'ємі металу, а також формування тонких меж зерен з карбідами переважно розміром не більше 3 мкм. Зазначені структурні зміни, очевидно, й зумовили підвищення ударної в'язкості до 58,8 Дж/см².

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності. Мова та стиль викладення результатів

Дисертація Олени Наумик виконана державною мовою і відповідає вимогам, що висуваються до наукових кваліфікаційних праць. Робота відзначається системністю побудови, логічною послідовністю викладу матеріалу та узгодженістю застосованих методичних підходів. У дослідженні послідовно висвітлено всі етапи наукової роботи – від аналізу сучасних літературних джерел до експериментального підтвердження й практичного випробовування одержаних результатів.

Обсяг дисертації становить 122 сторінки. Структура включає вступ, п'ять розділів, загальні висновки, список використаних джерел (116 найменувань) та два додатки. Робота містить 35 рисунків і 23 таблиці, що забезпечують наочність і підтверджують достовірність наведених результатів.

Вимоги академічної доброчесності дотримано в повному обсязі: усі запозичені положення супроводжуються належними посиланнями, основні результати

опубліковано у фахових виданнях і апробовано на наукових заходах. Здобувачка чітко визначає особистий внесок у проведене дослідження, а використання літературних джерел є коректним та аргументованим.

Вступ

Вступна частина підготовлена відповідно до усталених вимог до дисертаційних досліджень. Вона вирізняється логічністю, структурною впорядкованістю та належним рівнем наукового обґрунтування.

У вступі розкрито актуальність теми, визначено її зв'язок із науковими програмами й тематичними планами, сформульовано мету та завдання дослідження, об'єкт і предмет роботи. Окреслено застосовані методи, наведено положення наукової новизни та практичної цінності результатів, відзначено особистий внесок здобувачки й підтверджено достатність апробації результатів.

Формулювання є чіткими та взаємоузгодженими, виклад відповідає нормам наукового стилю. Текст розрахований на фахівців у галузі металургії й створює належне підґрунтя для сприйняття змісту наступних розділів.

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 поліпшення структури та властивостей виливків. Значну увагу приділено можливості використання технологічного вороття у складі шихти.

Розділ логічно структурований і 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 за різних рівнів легування використано відомі розрахунково-аналітичні методи, зокрема комплексну методику, розроблену в НУ «Запорізька політехніка». Виплавлення сплавів здійснювали у вакуумній індукційній 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 одержаних експериментальних результатів.

Розділ 3. Розрахунок структурної стабільності сплаву ЖСЗДК-ВІ

У третьому розділі представлено результати розрахунково-аналітичного оцінювання структурної та фазової стабільності сплаву ЖСЗДК-ВІ. Визначено ключові параметри, що характеризують його працездатність за різних рівнів легування, зокрема температурні характеристики, вміст зміцнювальної γ' -фази, межі короткочасної та тривалої міцності.

Одержані показники узгоджуються з вимогами нормативної документації та відомими експериментальними даними, що підтверджує достовірність проведених розрахунків. Доведено коректність обраних параметрів температури та тиску під час ГП і термічної обробки. Розрахунками підтверджено достатню структурну стабільність і придатність сплаву ЖСЗДК-ВІ до проведення операції додаткового модифікування в широкому діапазоні концентрацій присадок.

Розділ 4. Виготовлення лопаток із використанням 50 % вороття у шихті

У четвертому розділі наведено результати дослідження якості лопаток, виготовлених із використанням 50 % технологічного вороття після попереднього переплаву та високотемпературної обробки розплаву. Після ГП і стандартної термічної обробки одержані вироби відповідають встановленим нормативним вимогам.

Мікроструктура лопаток відповідає структурі нормально термообробленого сплаву ЖСЗДК-ВІ. У процесі ГП відбувається ефективне усунення внутрішніх мікродефектів; розміри залишкових мікропор суттєво зменшуються порівняно з литим станом. Механічні та жароміцні властивості перебувають у межах нормативних значень. Підтверджено доцільність використання 50 % технологічного вороття у шихті за умови попереднього переплаву та обов'язкового застосування ГП.

Розділ 5. Модифікування сплаву ЖСЗДК-ВІ

У п'ятому розділі досліджено вплив різних варіантів модифікування сплаву на його структуру та властивості. Вивчено ефективність застосування карбонітриду титану, ітрію, а також їх комплексних поєднань між собою і з ніобієм.

Встановлено, що комплексне модифікування забезпечує найкращі результати: спостерігається подрібнення зерна, рівномірний розподіл карбідів і карбонітридів, формування стабільної литої структури. Найбільш ефективним виявилось комплексне модифікування ітрієм та карбонітридом титану у визначених оптимальних концентраціях, що зумовило суттєве підвищення механічних і жароміцних характеристик, зокрема ударної в'язкості до 58,8 Дж/см².

Загальні висновки

Мова підсумкового розділу є технічно точною й витриманою у відповідному стилі. Кожен пункт висновків є чітким, завершеним твердженням, що безпосередньо ґрунтується на матеріалі попередніх розділів.

За результатами проведених досліджень для практичного використання рекомендовано технологічний процес виготовлення відповідальних виливків для авіаційного і енергетичного машинобудування із жароміцного нікелевого сплаву

ЖСЗДК-VI. Процес включає такі послідовні операції: високотемпературна обробка розплаву; комплексне модифікування ітрієм і карбонітридом титану з оптимальними концентраціями присадок: суміш титану з карбонітридом титану – 0,075 %, лігатура Ni-Y – 0,136 %; гаряче ізостатичне пресування при температурі 1210 °C і тиску 160 МПа; термічна обробка готових виливків за стандартним режимом: гомогенізація при температурі 1210 ± 10 °C протягом 4 годин у захисній атмосфері.

Загалом дисертаційна робота є завершеним, самостійним і цілісним науковим дослідженням, виконаним на належному теоретичному та експериментальному рівні. Стиль викладення відповідає вимогам наукової комунікації, матеріал подано логічно, аргументовано і технічно грамотно.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Результати дисертаційного дослідження опубліковано в 8 наукових статтях, із яких 4 статті розміщено у виданнях, що входять до міжнародних науково-метричних баз Scopus та Web of Science; 4 статті – у наукових фахових виданнях України. Апробацію результатів проведено на 8 міжнародних конференціях, 2 з яких індексуються в науково-метричній базі даних SCOPUS.

Під час підготовки дисертаційного дослідження здобувачка дотримувалася принципів академічної доброчесності. Її наукові публікації ґрунтуються на перевірених джерелах інформації та висвітлюють результати особистих досліджень. Усі висновки й наукові положення, представлені до захисту, є інтелектуальною власністю авторки. У публікаціях детально викладено основні наукові здобутки, розкриті в дисертації.

Недоліки та зауваження

1. Не обґрунтовано вибір частки технологічного вороття у шихті на рівні 50 % при виплавленні дослідного металу у третьому розділі. Бажано навести критерії, якими керувалася авторка при визначенні цього значення.

2. У роботі відсутня кількісна оцінка пористості лопаток у литому стані та залишкової пористості після ГПП, що не дозволяє в повній мірі оцінити ефективність застосованого режиму гарячого ізостатичного пресування.

3. Застосована методика визначення кута згину відповідно до ДСТУ ISO 7438:2005 «Металеві матеріали. Випробування на згин» передбачає використання зразків строго визначених геометричних розмірів і форми. Потребує пояснення правомірність застосування цієї методики для випробування натурних литих лопаток.

4. У тексті дисертації не вказано діапазон розмірів частинок ультрадисперсного порошку карбонітриду титану, використаного для модифікування дослідного сплаву, що ускладнює відтворення технологічного процесу.

5. У тексті дисертації подекуди зустрічаються надмірно ускладнені синтаксичні конструкції та окремі випадки неузгодженості відмінкових форм у реченнях, що певною мірою знижує якість наукового викладу.

Зазначені зауваження не є суттєвими і не применшують наукової та практичної цінності дослідження, не впливаючи в цілому на позитивне враження від дисертаційної роботи, поданої до захисту.

Висновок про дисертаційну роботу

Дисертаційна робота Олени Наумик є завершеним, самостійним дослідженням, що відповідає вимогам до робіт на здобуття наукового ступеня доктора філософії. Вона вирішує актуальну інженерно-наукову задачу – вдосконалення технологічного процесу виготовлення литих деталей для авіаційного та енергетичного машинобудування із жароміцних нікелевих сплавів. Представлені результати мають наукову новизну, теоретичну і практичну цінність, що підтверджено публікаціями у фахових виданнях, апробацією на міжнародних наукових заходах і виробничим випробуванням. Дисертаційна робота відповідає вимогам чинного законодавства України, передбаченим у пп. 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.

Робота повною мірою заслуговує на позитивну оцінку, а здобувачка Наумик Олена Олександрівна – на присудження наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 136 «Металургія».

Рецензент:

завідувач кафедри «Технологія авіаційних двигунів»
Національного університету «Запорізька політехніка»,
доктор технічних наук, професор

Дмитро ПАВЛЕНКО

