РЕЦЕНЗІЯ

На дисертаційну роботу

Пучека Сергія Володимировича

на тему **«Узагальнення закономірностей формування структури та властивостей жароміцних нікелевих сплавів для виготовлення відповідальних деталей газотурбінних двигунів»,**

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань **13 Механічна інженерія**

за спеціальністю **132 Матеріалознавство**

Актуальність теми дисертації

Розвиток авіаційного та енергетичного машинобудування України потребує вдосконалення матеріалів і технологій виготовлення деталей газотурбінних двигунів та установок. Пріоритетними завданнями залишаються підвищення їхньої надійності, збільшення міжремонтного ресурсу та забезпечення економічності експлуатації. Значною мірою розв'язання цих завдань залежить від властивостей жароміцних матеріалів, які застосовують для виготовлення найбільш навантажених деталей гарячого тракту.

За умов одночасного впливу високих температур і механічних навантажень працездатність таких деталей визначається структурним станом матеріалу, його фазовою стабільністю та опором тривалому руйнуванню. Тому вдосконалення технологічних способів одержання й оброблення жароміцних нікелевих сплавів має ґрунтуватися на встановленні взаємозв'язків між умовами виготовлення, структурою та експлуатаційними властивостями виливків.

У цьому контексті науковий і практичний інтерес становлять дослідження впливу високотемпературного оброблення розплаву, модифікування, гарячого ізостатичного пресування та подальшої термічної обробки на якість литих деталей. Обґрунтування відповідних технологічних рішень створює передумови для

зменшення структурної неоднорідності й мікропористості та забезпечення стабільних властивостей матеріалу.

Отже, дослідження закономірностей формування структури і властивостей жароміцних нікелевих сплавів, призначених для виготовлення відповідальних деталей газотурбінних двигунів та установок, є актуальним науково-технічним завданням.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів, їх достовірності та новизни.

1. Вперше узагальнено закономірності формування раціональної структури, яка забезпечує високий рівень фізико-механічних властивостей зразків та робочих лопаток ГТД, виготовлених із жароміцних нікелевих сплавів ЖС26-ВІ та ЖС32-ВІ з застосуванням мікролегування, високотемпературної обробки розплаву (ВТОР), гарячого ізостатичного пресування (ГІП) та вибору режиму термічної обробки (ТО).

2. На основі комплексу розрахунково-аналітичних досліджень із застосуванням відомих методик визначено найважливіші параметри, що характеризують структуру та фазову стабільність жароміцних нікелевих сплавів ЖС26-ВІ та ЖС32-ВІ на різних рівнях легування — основні температурні параметри, кількість зміцнюючої γ'-фази, а також границі короткочасної та тривалої міцності. Розрахункові показники узгоджуються з відомими практичними даними та вимогами галузевих стандартів, що підтверджує достовірність використаного підходу. Отримані результати свідчать про достатню стабільність досліджуваних сплавів та їх придатність для широкого застосування та подальшого покращення фізико-механічних та експлуатаційних властивостей.

3. Отримали подальший розвиток науково-практичні уявлення про можливості застосування різних технологічних процесів (модифікування, ВТОР, ГІП, ТО) при виплавленні дослідних сплавів та виготовлення з них відповідальних деталей ГТД. Хімічний склад, механічні та жароміцні властивості зразків після

гарячого ізостатичного пресування та стандартної термічної обробки є задовільними за всіма варіантами та відповідають вимогам технічної документації. Мікроструктура зразків, відлитих зі сплавів ЖС26-ВІ та ЖС32-ВІ, характерна для нормального термообробленого стану сплаву: γ, γ' та евтектоїдна (γ–γ') фази та карбіди, карбонітриди у вигляді дрібних частинок сферичної та пластинчастої морфології, переважно розподілених в об'єму матеріалу.

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

Дисертацію Сергія Володимировича Пучека викладено українською мовою. Її зміст побудовано послідовно: від аналізу наукових джерел і обґрунтування методів дослідження до розгляду експериментальних результатів та визначення можливостей їх практичного застосування. Розділи взаємопов'язані й підпорядковані досягненню поставленої мети.

Робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 127 найменувань та двох додатків. Дисертація містить 61 рисунок і 47 таблиць, у яких представлено розрахункові та експериментальні дані, результати їх зіставлення й узагальнення.

Виклад матеріалу загалом відповідає науковому стилю. Автор послідовно застосовує фахову термінологію, розмежовує результати розрахунків та експериментальних досліджень, пов'язує отримані дані з висновками роботи. Водночас окремі речення потребують синтаксичного спрощення, а деякі формулювання — стилістичного уточнення.

Вступ.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, зазначено її зв'язок із науковими програмами й тематикою досліджень, сформульовано мету та завдання, визначено об'єкт і предмет дослідження.

Наведено застосовані методи, розкрито наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, охарактеризовано особистий внесок здобувача. Подано відомості про апробацію результатів і публікації за темою дисертації.

Зміст вступу дає змогу простежити загальну логіку дослідження та зрозуміти спрямованість його основних етапів. Сформульовані положення створюють основу для подальшого розгляду теоретичних і експериментальних результатів.

Розділ 1. Вплив легування та теплової обробки на фізико-механічні та експлуатаційні властивості жароміцних нікелевих сплавів.

У першому розділі проаналізовано наукові праці, присвячені жароміцним нікелевим сплавам і технологіям виготовлення відповідальних литих деталей газотурбінних двигунів та установок, зокрема робочих лопаток. Узагальнено вимоги до матеріалів, які застосовують в авіаційному та енергетичному машинобудуванні.

Розглянуто вплив легування та технологічних чинників на формування структури й властивостей сплавів. Окрему увагу приділено високотемпературному обробленню розплавів, модифікуванню та способам поліпшення якості виливків.

Матеріали розділу формують теоретичне підґрунтя експериментальної частини роботи. Послідовність викладення дає змогу простежити перехід від загальної характеристики проблеми до обґрунтування обраних напрямів дослідження.

Розділ 2. Матеріали та методики досліджень.

У другому розділі охарактеризовано досліджувані жароміцні нікелеві сплави ЖС26-ВІ та ЖС32-ВІ, наведено умови одержання зразків і описано методики визначення їхнього хімічного складу, структурного стану та властивостей.

Для оцінювання структурної й фазової стабільності сплавів залежно від рівня легування використано розрахунково-аналітичні методи, зокрема комплексну розрахункову методику, розроблену в НУ «Запорізька політехніка».

Виплавлення сплавів здійснювали на вакуумній плавильній установці FM-1-2-100 фірми «ULVAC» із застосуванням досліджуваних способів високотемпературного оброблення розплаву.

Експериментальна частина охоплює визначення хімічного складу, дослідження макро- й мікроструктури, випробування механічних властивостей і тривалої міцності. Зразки досліджували у вихідному стані, а також після гарячого ізостатичного пресування та стандартної термічної обробки.

За наведеними в роботі даними, відносна похибка вимірювань не перевищувала 5 %. Сукупність застосованих методів дає змогу зіставити розрахункові характеристики з експериментальними результатами та оцінити вплив технологічних операцій на стан досліджуваних матеріалів.

Розділ 3. Визначення показників стабільності дослідних сплавів за допомогою аналітико-експериментальних методів.

Третій розділ присвячено розрахунково-аналітичному оцінюванню структурної та фазової стабільності сплавів ЖС26-ВІ і ЖС32-ВІ. Визначено характеристики, що впливають на їхню працездатність за різного рівня легування, зокрема температурні параметри, вміст зміцнювальної γ′-фази, показники короткочасної та тривалої міцності.

Розрахункові результати зіставлено з вимогами технічної документації та відомими експериментальними даними. Їх узгодженість слугує аргументом на користь обґрунтованості застосованого підходу.

Наведені результати характеризують структурну стабільність досліджуваних сплавів і становлять основу для подальшого аналізу впливу технологічних операцій на їхню структуру та властивості.

Розділ 4. Оцінка структури та властивостей жароміцних нікелевих сплавів ЖС26-ВІ та ЖС32-ВІ як перспективних матеріалів для виготовлення лопаток авіаційних газотурбінних двигунів.

У четвертому розділі представлено результати дослідження зразків, одержаних із серії експериментальних плавок сплавів ЖС26-ВІ та ЖС32-ВІ. Проаналізовано їхню макро- й мікроструктуру, а також зміни структурного стану після гарячого ізостатичного пресування та термічної обробки.

За результатами досліджень установлено відповідність макро- і мікроструктури вимогам технічної документації. Застосування гарячого ізостатичного пресування в поєднанні з термічною обробкою забезпечило істотне зменшення внутрішньої мікропористості. Водночас ступінь її усунення потребує кількісного підтвердження, що відзначено в зауваженнях до роботи.

У структурі виявлено дрібні частинки карбідів і карбонітридів сферичної та пластинчастої морфології, переважно рівномірно розподілені в об'ємі матеріалу. Наведено результати оцінювання впливу об'ємного модифікування лігатурою Ni–Y на механічні властивості сплавів та їх стабільність.

Окремо розглянуто одержання сплаву ЖС32-ВІ зі свіжих шихтових матеріалів без додавання вуглецю. Цей напрям становить інтерес для подальшого опрацювання технологій виплавлення жароміцних сплавів із регламентованим низьким вмістом вуглецю.

Розділ 5. Оцінка якості матеріалів робочих лопаток авіаційних газотурбінних двигунів, відлитих із жароміцних нікелевих сплавів.

У п'ятому розділі досліджено якість виливків робочих лопаток авіаційних газотурбінних двигунів зі сплавів ЖС26-ВІ та ЖС32-ВІ. Основну увагу зосереджено на впливі гарячого ізостатичного пресування на мікропористість, структурний стан і властивості матеріалу.

Показано, що зменшення мікропористості після гарячого ізостатичного пресування супроводжується поліпшенням якості виливків. Мікроструктура досліджених лопаток відповідає стану термічно оброблених сплавів, а визначені механічні та жароміцні характеристики перебувають у межах вимог технічної документації.

За сукупністю досліджених структурних ознак найбільш сприятливий стан матеріалу отримано після гарячого ізостатичного пресування та низькотемпературного старіння. Представлені результати дають підстави для обґрунтування відповідної послідовності технологічних операцій під час виготовлення робочих лопаток.

Загальні висновки.

У загальних висновках узагальнено результати розрахунково-аналітичних та експериментальних досліджень. Основні положення пов'язані зі змістом розділів і відображають результати виконання поставлених завдань.

Висновки охоплюють оцінювання структурної та фазової стабільності сплавів, особливості формування їхньої структури, а також вплив досліджених технологічних операцій на якість виливків і властивості матеріалу.

Загалом зміст роботи свідчить про послідовне опрацювання обраного напряму дослідження — від теоретичного аналізу до перевірки технологічних рішень на зразках і робочих лопатках.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Результати дисертаційного дослідження опубліковано у п'яти наукових статтях у фахових наукових виданнях України, що включено до «Переліку...» (категорія Б). Апробацію результатів проведено на трьох науково-технічних конференціях.

Під час підготовки дисертаційного дослідження автор дотримувався принципів академічної доброчесності. Всі наукові публікації ґрунтуються на перевірених джерелах інформації та висвітлюють результати особистих досліджень. Усі висновки та наукові положення, представлені до захисту, є інтелектуальною власністю автора. У публікаціях детально викладено основні наукові здобутки, що містяться в дисертації.

Недоліки та зауваження.

1. В роботі відсутня кількісна оцінка пористості лопаток у литому стані та залишкової пористості після ГІП та термічної обробки, що не дозволяє в повній мірі оцінити ефективність застосуванню режимів гарячого ізостатичного пресування.

2. Не зайвою була б інформація щодо порівняння експлуатаційних властивостей досліджуваних сплавів з їх закордонними аналогами.

3. В роботі не наведено дані щодо поверхневої стабільності досліджуваних сплавів в умовах експлуатації.

4. У тексті дисертації зустрічаються надмірно ускладнені синтаксичні конструкції, окремі стилістичні та орфографічні помилки та неточності.

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

Висновок про дисертаційну роботу.

Дисертаційна робота Пучека Сергія Володимировича є завершеним, самостійним дослідженням, що відповідає вимогам до робіт на здобуття ступеня доктора філософії. Вона вирішує актуальну інженерно-наукову задачу — узагальнення закономірностей формування структури та властивостей відповідальних 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 науково-технічних конференціях та виробничими рекомендаціями.

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 здобувач Пучек Сергій Володимирович — на присудження наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 132 «Матеріалознавство».

Рецензент:
Доцент кафедри
«Фізичне матеріалознавство»
Національного університету
«Запорізька політехніка»
к.т.н., доцент

Олександр КЛИМОВ

Підпис О.В. Климова засвідчую:

Вчений секретар
НУ «Запорізька політехніка»

Віктор КУЗЬМІН