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.

Розробка та вдосконалення матеріалів і технологічних процесів виготовлення виливків для відповідальних деталей гарячої частини газотурбінних двигунів (ГТД) та установок (ГТУ) є надзвичайно актуальною проблемою в умовах постійно зростаючих вимог до надійності, ресурсу та ефективності енергетичного обладнання та авіаційних двигунів. Дисертація присвячена підвищенню експлуатаційних характеристик критично навантажених лопаток ГТД шляхом узагальнення масиву даних щодо впливу хімічного складу та вибору оптимальних технологічних процесів виготовлення робочих лопаток із жароміцних нікелевих сплавів ЖС26-ВІ та ЖС32-ВІ шляхом формування бажаного структурного стану виливків, яке забезпечує підвищену тривалу міцність та витривалість. Актуальність і важливість дослідження визначається потребами авіаційної та енергетичної галузі у матеріалах нового покоління.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів, їх достовірності та новизни.

У дисертації представлені переконливі експериментальні результати, підтверджені аналітичними розрахунками структурно-фазової стабільності. Використано методи PHACOMP та КРАМ для оцінки структурної стабільності.

Наукова новизна наведених в дисертації матеріалів полягає у наступному:

1. Вперше здійснено узагальнення питань формування структурного стану жароміцних нікелевих сплавів ЖС26-ВІ та ЖС32-ВІ, що забезпечує необхідний рівень властивостей відповідальних деталей ГТД за рахунок застосування мікролегування, високотемпературної обробки розплаву (ВТОР), гарячого ізостатичного пресування (ГІП) та термічної обробки (ТО).

2. Розрахунково-аналітичними методиками визначено найважливіші параметри, що характеризують структурно-фазову стабільність досліджуваних сплавів (температурні параметри, кількість основної зміцнювальної γ′-фази, показники короткочасної та тривалої міцності) на різних рівнях легування. Отримані результати свідчать про достатню стабільність сплавів ЖС26-ВІ та ЖС32-ВІ.

3. Отримано нові науково-практичні уявлення щодо можливості застосування різних технологічних процесів (модифікування, ВТОР, ГІП, ТО) при виплавлені досліджуваних сплавів та виготовлення з них відповідальних деталей ГТД.

4. Отримано подальший розвиток науково-практичного уявлення щодо підвищення якості виливків робочих лопаток авіаційних ГТД, виготовлених із жароміцних нікелевих сплавів ЖС26-ВІ та ЖС32-ВІ, за рахунок стабілізації структури і властивостей після операції ГІП за рахунок зменшення мікропористості при «залікуванні» мікропор та рихлот, що не виходять на поверхню деталей.

Результати проведеного дослідження відрізняються належним рівнем наукової обґрунтованості, узгоджуються з існуючими науковими уявленнями та підтверджують доцільність застосованих підходів. Також викликає інтерес і має суттєву практичну значущість рекомендації щодо виплавки дослідних плавок безвуглецевих жароміцних сплавів нового покоління на підприємстві «Мотор Січ».

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

Робота здобувача логічно структурована, охоплює всі необхідні етапи: від аналізу літератури до практичних рекомендацій. Представлені результати дослідних плавок, структурні дослідження, випробування на міцність та жароміцність, що підтверджує завершеність досліджень. Висновки підкріплені експериментальними даними. В дисертації наявні посилання на 126 джерел як вітчизняних так і зарубіжних дослідників, з дотриманням академічної доброчинності. Авторські публікації включають статті у фахових наукових журналах України, що свідчить про верифікацію результатів науковою спільнотою.

Дисертаційна робота написана грамотною технічною українською мовою.

Структура дисертації є традиційною: вступ, п'ять розділів досліджень, загальні висновки, список джерел та додатки. Загальний обсяг дисертації становить 178 сторінок, а саме 161 сторінка основного тексту дисертації, 61 рисунок, 47 таблиць, 2 додатка та перелік використаних джерел із 127 бібліографічних найменувань.

Під час підготовки дисертаційного дослідження автор дотримувався принципів академічної доброчесності. Його наукові публікації ґрунтуються на перевірених джерелах інформації та висвітлюють результати особистих досліджень. Усі висновки й наукові положення, представлені до захисту, є інтелектуальною власністю самого автора.

Вступ.

Мова вступу чітка, академічна, з дотриманням наукового стилю. Автор послідовно викладає актуальність дослідження, що полягає в потребі

узгодження масиву даних щодо експлуатаційних властивостей литих жароміцних нікелевих сплавів, зокрема, сплавів ЖС26-ВІ та ЖС32-ВІ. У вступі визначено мету, об'єкт та предмет дослідження, сформульовано задачі, а також окреслено методи досліджень. Стиль викладання – точний, технічно орієнтований на фахівців у галузі матеріалознавства.

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

У першому розділі здійснено ґрунтовний огляд наукових публікацій, присвячений сучасним матеріалам та технологіям виробництва литих деталей, зокрема, лопаток газотурбінних двигунів. Автор розглядає конструкції газотурбінних двигунів та газотурбінних установок, умови роботи лопаточного апарату. Наведено узагальнену характеристику легування жароміцних нікелевих сплавів, що застосовуються в авіаційному та енергетичному машинобудуванні. Проаналізовано особливості високотемпературної обробки розплавів, питання модифікування, а також технологічні способи поліпшення структури та властивостей виливків.

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

Розділ 2. Матеріали та методика досліджень.

У другому розділі наведено характеристику об'єкта дослідження – жароміцних нікелевих сплавів ЖС26-ВІ та ЖС32-ВІ та описано комплекс застосованих методик. Для визначення показників структурної та фазової стабільності, а також оцінювання працездатності сплавів на різних рівнях легування використано відомі розрахунково-аналітичні методи (PHACOMP, New PHACOMP, CALPHAD), зокрема, комплексну методику, розроблену в НУ «Запорізька політехніка» (КРАМ). Виплавлення сплавів здійснювали на сучасній вакуумній плавильній установці FM-1-2-100 фірми «ULVAC» із застосуванням високотемпературної обробки розплаву.

Дослідження охоплювали визначення хімічного складу, аналіз макро- і мікроструктури, оцінювання механічних і жароміцних властивостей, тривалої міцності та витривалості. Властивості зразків та лопаток визначали після гарячого ізостатичного пресування та стандартної термічної обробки. Відносна похибка вимірювань не перевищувала 5 %, що свідчить про надійність одержаних експериментальних результатів.

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

У третьому розділі представлено розрахунково-аналітичне оцінювання структурної та фазової стабільності сплавів ЖС26-ВІ та ЖС32-ВІ. Визначено ключові параметри, що характеризують їх працездатність за різних рівнів

легування, зокрема температурні характеристики, вміст інтерметалідної γ′-фази, границі короткочасної та тривалої міцності.

Одержані показники узгоджуються з вимогами технічної документації та відомими експериментальними даними, що підтверджує достовірність проведених розрахунків. Розрахунками підтверджено достатню структурну стабільність досліджуваних сплавів.

За допомогою диференціального термічного аналізу (ДТА) визначено характеристичні температури нікелевих сплавів (плавлення-кристалізації евтектики, температури повного розчинення γ′-фази, температури солідус та ліквідус в режимі нагрівання та охолодження, карбідних перетворень) з підрахунком баричних коефіцієнтів.

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

Розділ містить результати дослідження структури та властивостей жароміцних сплавів на зразках, виготовлених на АТ «Мотор Січ». Розділ має прикладну спрямованість, він структурований за аналізом впливу на макро- і мікроструктуру без та після термічної обробки, механічні та жароміцні властивості.

Мікроструктура зразків досліджуваних сплавів ЖС26-ВІ та ЖС32-ВІ ідентична та представлена γ- та γ′-фазами, евтектикою (γ-γ′), карбідами та карбонітридами.

ГІП та термічна обробка за стандартним режимом практично повністю усувають внутрішню мікропористість. Об'ємне модифікування сплаву ЖС32-ВІ Ni-Y лігатурою дозволяє підвищити механічні властивості.

Для сплаву ЖС32-ВІ також досліджено технологію отримання з використанням свіжих матеріалів без введення вуглецю, за наслідками чого проведено виплавки дослідних сплавів ЖС32бс-ВІ як безвуглецевого жароміцного нікелевого сплаву нового покоління власного виробництва АТ «Мотор Січ».

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

У п'ятому розділі наведені результати дослідження якості робочих лопаток, виготовлених зі сплавів ЖС26-ВІ та ЖС32-ВІ. Після ВТОР, ГІП та стандартної термічної обробки одержані вироби відповідають встановленим нормативним вимогам.

Мікроструктура лопаток відповідає структурі нормально термооброблених сплавів ЖС26-ВІ та ЖС23-ВІ. В процесі ГІП відбувається ефективне усунення внутрішніх мікродефектів і розміри залишкових мікропор суттєво зменшуються порівняно з литим станом. Механічні, жароміцні та втомні характеристики перебувають у межах нормативних значень або перевищують такі: границя витривалої міцності досліджуваної

партії лопаток, виготовлених зі сплаву ЖС32-ВІ, на 22 % перевищує вимоги технічної документації.

Загальні висновки.

Мова підсумкового розділу є технічно точною, 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 для виготовлення відповідальних виливків для авіаційного машинобудування із жароміцних нікелевих сплавів ЖС26-ВІ та ЖС32-ВІ рекомендовано проведення операції гарячого ізостатичного пресування при температурі 1250°С та тиску 170 МПа для стабілізації структури та властивостей внаслідок зменшення мікропористості. Оптимальну структуру, зразки і лопатки з дослідних сплавів, мають після ГІП, гомогенізації та низькотемпературного старіння.

Загалом дисертаційна робота є завершеним, самостійним і цілісним науковим дослідженням, виконаним на належному теоретичному та експериментальному рівні. Стиль викладення відповідає вимогам наукової комунікації, мова подання логічна, аргументована та технічно грамотна.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Результати досліджень опубліковані у п'яти наукових статтях. Всі вони опубліковані у наукових фахових виданнях України, включених до Реєстру наукових фахових видань України (категорія «Б»). Матеріали дисертації доповідались на трьох міжнародних та всеукраїнських конференціях.

У публікаціях автора детально презентовано основні наукові результати дисертаційної роботи.

Недоліки і зауваження.

1. У тексті дисертації трапляються випадки непослідовності у вживанні термінології, що ускладнює сприйняття тексту. Наявні стилістичні неточності та орфографічні помилки.

2. В роботі не надано інформації про тривалість експлуатації лопаток, виготовлених за серійною технологією.

3. В роботі немає оцінки залишкової пористості виливок та її впливу на експлуатаційну надійність готових виробів.

4. В роботі не надано відомостей щодо поверхневої стабільності лопаток в умовах високотемпературного окислення та корозії.

Зазначені зауваження не є суттєвими та не знижують значення практичних результатів та наукової цінності, не змінюючи, в цілому, позитивного враження від дисертаційного дослідження, поданого до захисту.

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 литих робочих лопаток з жароміцних нікелевих сплавів для забезпечення ресурсу роботи турбіни високого тиску. Представлені результати мають новизну, теоретичну та практичну цінність, що підтверджено публікаціями та апробацією.

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 заслуговує на позитивну оцінку, а її автор Пучек Сергій Володимирович – на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 132 Матеріалознавство.

Рецензент:
Професор кафедри
«Інтегровані технології зварювання
та моделювання конструкцій»
Національного університету
«Запорізька політехніка»
Лауреат Державної премії України
В галузі науки і техніки
д.т.н., професор

Валерій МІЩЕНКО

Підпис В.Г. Міщенко засвідчую
Вчений секретар
НУ «Запорізька політехніка»

Віктор КУЗЬМІН