

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Наумик Олени Олександрівни

на тему «**Вдосконалення технології виготовлення литих деталей для авіаційного та енергетичного машинобудування**»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

в галузі знань **13 Механічна інженерія**

за спеціальністю **136 Металургія**

Актуальність теми дисертації.

Литі робочі лопатки силових агрегатів авіаційного та енергетичного машинобудування є основними деталями, що перетворюють енергію потоку гарячих газів, які виникли в результаті згоряння палива, на енергію турбіни, що обертається.

Лопатки виготовляють із жароміцних нікелевих сплавів методами рівноосної або спрямованої кристалізації в керамічних формах, виготовлених за моделями, що витоплюються. У всьому світі розробляються нові жароміцні сплави, що здатні задовольнити вимогам експлуатації сучасних авіаційних двигунів, які постійно зростають. Особливу роль приділяють питанням забезпечення тривалої міцності. В окремих випадках розробниками висуваються додаткові, підвищені відносно існуючих стандартів, вимоги, наприклад, відносно ударної в'язкості матеріалу робочих лопаток турбін.

Перспективним напрямом є підвищення комплексу експлуатаційних властивостей литих відповідальних виливків з відомих жароміцних нікелевих сплавів за рахунок застосування в процесі їх виготовлення сучасних технологічних операцій, як на етапі виплавлення сплаву, так і подальшої обробки готових деталей.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає у наступному:

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, межа 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 можливості 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 можливості застосування різних видів модифікування при виплавленні жароміцного нікелевого сплаву ЖСЗДК-ВІ.

Досліджено вилитки 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, відлитої із 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.

Сформульовані положення наукової новизни відображають результати особистого внеску дисертанта при виконанні досліджень у обраному напрямку. Належна обґрунтованість та достовірність результатів забезпечена достатньою кількістю практичних та теоретичних дослідів, використанням різноманітних приймів аналізу поставлених задач, достатньою джерельною базою та апробацією отриманих результатів.

Отримані результати пройшли дослідно-виробниче випробування в умовах ДП «Івченко Прогрес».

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота Наумик Олени Олександрівни повністю відповідає стандарту вищої освіти зі спеціальності 136 Металургія галузі знань 13 Механічна інженерія та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Металургія. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, наведені результати та висновки свідчать про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Ливарне виробництво».

Робота не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату, запозичень або несанкціонованого використання здобувачкою результатів інших авторів. Використані дисертантом ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело. Робота Наумик Олени Олександрівни відповідає принципам академічної доброчесності.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою. Текст роботи відзначається послідовністю та логічністю викладення матеріалу. Кожен розділ має чітку структуру, яка допомагає легко орієнтуватися у змісті дослідження. Стиль мовлення є науковим, що відповідає вимогам до дисертаційних робіт. Автор використовує загальноприйнятту термінологію наукового напрямку, що полегшує розуміння тексту спеціалістами у відповідній галузі. Мова дисертації вирізняється точністю та однозначністю. Опис методів, процесів та результатів подано чітко та зрозуміло. Це стосується як теоретичних частин, так і практичних висновків, де автор деталізує технологічні процеси, результати дослідження структур та властивостей.

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації

становить 122 сторінки, вона має 35 рисунків, 23 таблиці, 2 додатки, перелік використаних літературних джерел - 116 бібліографічних найменувань.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, задачі, об'єкт і предмет дослідження, описано основні методи дослідження і їх практичне значення, визначений особистий внесок здобувача, наведено дані про апробацію, публікації, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі, що призначений аналітичному огляду науково-технічної літератури за темою дослідження, наведено дані стосовно сучасних сплавів та технологічних процесів, що застосовуються при виготовленні відповідальних виливків для авіаційного і енергетичного машинобудування. Розглянуто особливості застосування високотемпературної обробки розплаву, різних видів модифікування, а також технологічних методів впливу на структуру і властивості готових литих виробів: гарячого ізостатичного пресування і термічної обробки. Окремо розглянуто питання можливості використання в шихті власного технологічного вороття, як шляху до зниження собівартості готової продукції за умови збереження рівня експлуатаційних властивостей і надійності. На основі проведеного огляду дисертанткою сформульовано мету та задачі досліджень.

У другому розділі описано матеріал і методики проведенні досліджень. Сплав ЖСЗДК-ВІ є добре відомим одним із поширених при виготовленні методом рівноосної кристалізації литих робочих лопаток турбін, що працюють при температурах до 900 °С, але можливості його ще далеко не вичерпані.

Дослідний сплав ЖСЗДК-ВІ виплавляли в сучасних вакуумних печах із застосуванням ВТОР та комплексного модифікування ультрадисперсним карбонітридом титану у вигляді брикетів на основі титану, нікель-ітрієвою лігатурою та іншими модифікаторами в різних кількостях. Метал заливали в керамічні форми, у першому лицьовому шарі яких також використовувався модифікатор – алюмінат кобальту.

Проаналізували вміст хімічних елементів у сплаві. Дослідили стан поверхні під джерелом ультрафіолетового свічення методом ЛЮМ1-ОВ, макро- та мікроструктуру у поперечних перерізах різних частин виливків робочих лопаток. Макроструктуру виявляли травленням.

Випробування лопаток на згин здійснювали на ручному гвинтовому пресі із використанням спеціальних пристроїв, що мають поглиблення V-подібної форми. Випробування зразків на ударний згин за Шарпі здійснювали на маятниковому копрі. Визначали механічні властивості (межу міцності та плинності, відносні видовження та звуження) за кімнатної температури, проводили випробування на тривалу міцність при температурі 850 °С і навантаженні 350 МПа до повного руйнування. Механічні

властивості за випробувань розтягом та випробування на тривалу міцність визначали на циліндричних зразках діаметром робочої частини 5 mm, а ударну в'язкість виміряли на зразках перерізом 10 x 10 mm.

Застосування сучасних методів і обладнання забезпечило отримання достовірних результатів.

У третьому розділі з використанням 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. Визначено основні температурні параметри, кількість основної зміцнюючої γ' -фази, межі короткочасної і тривалої міцності жароміцного нікелевого сплаву ЖСЗДК-ВІ на різних рівнях легування. Розрахункові показники відповідають рівню вимог дійсної нормативно-технічної документації та відомим практичним результатам досліджень сплаву ЖСЗДК-ВІ, в тому числі проведеним за участю авторки цієї роботи.

Отримані результати свідчать про достатню стабільність сплаву ЖСЗДК-ВІ та його загальну придатність для широкого застосування модифікування різними комплексами для покращення рівня фізико-механічних та експлуатаційних властивостей. Підтверджено коректність застосованих параметрів температури і тиску в процесі гарячого ізостатичного пресування та термічної обробки дослідного сплаву.

У четвертому розділі дисертації представлені результати дослідження, що підтверджують можливість використання в шихті 50% власного вороття (після попереднього переплаву з високотемпературною обробкою розплаву) під час виготовлення робочих лопаток турбін. Гаряче ізостатичне пресування (ГІП) перед стандартною термічною обробкою практично повністю заліковує мікропори і рихлоти у внутрішніх об'ємах металу, що сприяє стабілізації структури та покращує комплекс фізико-механічних та експлуатаційних властивостей відповідальних литих виробів із жароміцних нікелевих сплавів для авіаційних і енергетичних силових установок.

У п'ятому розділі представлено комплекс досліджень впливу різних видів модифікування при виплавленні жароміцного нікелевого сплаву ЖСЗДК-ВІ на структуру і властивості відповідальних литих виробів.

Досліджено варіанти модифікування карбонітридом 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, макро- і мікроструктура, механічні та жароміцні властивості досліджуваних зразків після ГІП та стандартної термічної обробки задовільні та відповідають вимогам дійсної нормативно-технічної документації.

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 забезпечує формування найбільш сприятливої структури і значно кращі механічні та жароміцні властивості нікелевого сплаву ЖСЗДК-ВІ, що відповідають більш жорстким вимогам розробників авіаційних двигунів для матеріалу литих лопаток вентилятора.

У загальних висновках для практичного використання у виробничих умовах рекомендовано технологічний процес виготовлення відповідальних виливків для авіаційного і енергетичного машинобудування з жароміцного нікелевого сплаву ЖСЗДК-ВІ, що передбачає високотемпературну обробку розплаву, застосування комплексного модифікування ітрієм і карбонітридом титану (оптимальні присадки у розплав [Ti+Ti(C,N)] – 0,075% і Ni-Y лігатури – 0,136%), гаряче ізостатичне пресування при температурі 1210 °С і тиску 160 МПа та подальшу термічну обробку готових виливків за стандартним режимом (гомогенізація у захисній атмосфері при температурі 1210 ± 10 °С з витримкою 4 години і охолодженням зі швидкістю еквівалентній охолодженню в повітряній атмосфері).

Дисертаційна робота оформлена відповідно до дійсних вимог МОН України.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Основні положення дисертації відображені у 16 наукових працях, з яких 4 опубліковані у виданнях, що індексуються у міжнародних наукометричних базах Scopus та Web of Science, 4 – у фахових виданнях України.

З 8 тез доповідей на міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях, 2 також індексуються у науково-метричній базі даних Scopus.

Публікації повною мірою висвітлюють наукові результати, що виносяться на захист.

Публікації здобувача мають достовірну наукову базу та є результатом самостійних досліджень. Наукові положення та висновки дисертації, що виносяться на захист, належать здобувачу і повністю висвітлені у наукових публікаціях.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. У літературному огляді зазначається, що модифікування рідкоземельними елементами сприяє підвищенню жароміцних властивостей нікелевих сплавів. Не зовсім зрозуміло чому обрано саме ітрій, а не інший елемент цієї групи?

2. З роботи не зовсім зрозуміло, чому ультрадисперсний карбонітрид титану вводили саме в брикетах на основі титану?

3. На розроблений вдосконалений технологічний процес виготовлення відповідальних виливків для авіаційного і енергетичного машинобудування з

жаромічного нікелевого сплаву ЖСЗДК-ВІ доцільно було б оформити відповідні патенти або авторські свідоцтва.

4. Текст дисертації містить орфографічні та стилістичні помилки і неточності.

Однак, наведені зауваження не є визначальними та не зменшують загальну наукову новизну та практичну значущість результатів роботи, не впливають на загальну позитивну оцінку представленої дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Дисертаційна робота Наумик Олени Олександрівни є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому отримано нові науково обґрунтовані результати, що мають істотне значення для розвитку технологій лиття жароміцних нікелевих сплавів та випробувані у виробничих умовах.

За рівнем наукової новизни, теоретичної обґрунтованості, практичної значущості та повнотою оприлюднення результатів дисертація відповідає вимогам пунктів 6–9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради...», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 № 44.

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

Офіційний опонент:

Декан факультету
електромеханіки та електromеталургії
Українського державного університету
науки і технологій
доктор технічних наук, професор

Вадим СЕЛІВЬОРСТОВ

Підпис Селівьорстова В.Ю. засвідчую
Провідний фахівець відділу кадрів УДУНТ

Володимир ШИФРІН

