

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора Калініної Н.Є.

на дисертаційну роботу

Клочихіна Володимира Валерійовича

«Матеріалознавчі основи процесів отримання жароміцних нікелевих сплавів для лопаток турбін з використанням технологічного звороту», що подана на здобуття

наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю

05.02.01 - Матеріалознавство

Актуальність теми дисертації

Вирішення задачі зниження собівартості виготовлення продукції відповідального призначення при збереженні комплексу експлуатаційних характеристик є беззаперечно актуальним для вітчизняного машинобудування. Особливо це стосується матеріалів з високою вартістю, до яких відносяться і жароміцні нікелеві сплави. Тому удосконалення матеріалознавчих основ процесів отримання жароміцних сплавів для лопаток турбін звороту за рахунок сучасних технологічних методів є актуальним та своєчасним як для промисловості, так і для економіки України в цілому.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Робота виконувалась у відповідності до Закону України «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки» та спільних науково-дослідних робіт Національного університету «Запорізька політехніка» та АТ «Мотор Січ» 2002-2019 рр., у яких автор брав участь у якості виконавця. В результаті проведених досліджень автором було розроблено комбінований метод рафінування жароміцних нікелевих сплавів в процесі вакуумного індукційного і електронно-променевого переплавів, а також технологію високошвидкісної спрямованої кристалізації виробів з жароміцних сплавів з використанням первинного технологічного звороту.

Загальна характеристика роботи

Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, додатків та списку використаних джерел із 170 найменувань. Робота має обсяг 205 сторінок, містить 62 рисунки та 39 таблиць.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та завдання дослідження, наведено відомості про апробацію та публікацію основних результатів дисертації.

У першому розділі проаналізовано матеріалознавчі принципи виплавлення жароміцних сплавів для робочих лопаток турбін газотурбінних двигунів з метою забезпечення їх експлуатаційних характеристик, обґрунтоване застосування зворотних відходів при виплавленні жароміцних сплавів, проведений глибокий аналіз джерел забруднення жароміцного литва із розкриттям впливу на структуру й властивості. Розглянуто сучасні методи рафінування жароміцних сплавів та їх ефективність.

Проведений аналіз дозволив автору сформулювати мету та окреслити задачі, що потрібно вирішити у роботі.

У другому розділі описано технології виплавлення сплавів і отримання виливків, методи дослідження хімічного складу, макро- й мікроструктури із методологією обробки одержаних експериментальних даних. Описано методику високотемпературну диференціального термічного аналізу, випробувань механічних властивостей, жароміцності, випробування лопаток на кут загину.

У третьому розділі наведено дані досліджень процесів рафінування технологічного звороту жароміцних нікелевих сплавів, що використовуються при отриманні литих робочих лопаток газотурбінних двигунів. На низці сплавів випробувано декілька технологій рафінування ливарних відходів, а саме низькотемпературним вакуумним переплавом, високотемпературною обробкою розплаву та комбінованим методом з використанням ВП+ЕПП. Виконано глибоке вивчення змін хімічного складу, структури та механічних властивостей сплавів.

Широко досліджене і розкрито питання впливу температурного градієнту на фронт кристалізації виливків в умовах високошвидкісної спрямованої

кристалізації, що покращувало тріщиностійкість виливків.

Важливим результатом у даній роботі, на мій погляд, є розроблена модель процесів, що протікають при високотемпературній обробці розплаву (ВТОР) жароміцних сплавів в умовах підвищення температур. Це пояснює механізм очищення розплаву від азоту за рахунок руйнування мікрогруповань карбонітридів $Ti(C,N)$ та інтерметалідів $Ni_3(Ti, Al)$ в умовах надлишкового тиску й високих температур. Автором проведений аналіз отриманих практичних результатів із науковою інтерпретацією і висновками.

Комбінований метод рафінування з використанням ВП+ЕПП дозволяє мінімізувати угар активних легувальних елементів, отримувати щільну заготовку з мінімальною ліквідацією.

У четвертому розділі наведено результати промислового впровадження розроблених технологій рафінування з використанням технологічного звороту у виробництво АТ «Мотор Січ» сплавів рівновісної (ЖС6К-ВІ, ЖС3ЛС-ВІ) та спрямованої кристалізації (ЖС26-ВІ, ЖС32-ВІ). Досліджено зміни хімічного складу, макро- й мікроструктуру та механічні властивості. Встановлено, що розроблені технології дозволяють отримувати виливки із характеристиками, відповідно вимогам нормативно-технічної документації. Практичним результатом проведених робіт є розробка технологічних інструкцій та впровадження технологій у серійне виробництво. Автором показано економічну доцільність виробництва виливків з використанням технологічного звороту.

Висновки належним чином підтверджують основні результати дисертаційної роботи.

Наукова новизна отриманих результатів

1. Вперше вивчено механізм поведінки мікрогруповань карбонітридів та інтерметалідів структурі ЖНС в умовах підвищення температур високотемпературної обробки розплаву.

2. Розвинуті наукові та технологічні уявлення про особливості рафінування технологічного звороту в процесі спрямованої кристалізації ЖНС.

3. Вперше запропоновано механізм впливу температурного градієнту на

фронт кристалізації нікелевих сплавів в умовах високошвидкісної спрямованої кристалізації.

Практичне значення отриманих результатів

Доведено, що з використанням ливарного звороту можуть виготовлятися якісні виливки з жароміцних нікелевих сплавів із рівновісною та спрямованою макроструктурою, що задовольняють всім вимогам нормативно-технічної документації.

Встановлено що, спрямована кристалізація зливків зі сплавів ЖС32-ВІ, ЖС26-ВІ, ВЖЛ12У-ВІ в умовах температур не більше 1455 °С забезпечила мінімальний угар активних дорогокоштованих легувальних елементів танталу, ренію, ніобію.

Дослідно-промислове випробування розробленого комбінованого методу рафінування жароміцних нікелевих сплавів в процесі вакуумного індукційного і електронно-променевого переплавів на базі АТ «Мотор Січ» довело його високу ефективність і перспективність для використання на підприємствах авіаційного та енергетичного машинобудування.

На базі АТ «Мотор Січ» налагоджено серійне виробництво робочих лопаток ГТД, що відливаються методом високошвидкісної спрямованої кристалізації зі сплавів ЖС26-ВІ і ЖС32-ВІ з використанням 50% первинного технологічного звороту (акт від 11.11.2019 р.).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих в дисертації, їх достовірність

Достовірність наукових положень, висока точність експериментальних результатів, рекомендацій та висновків дисертаційної роботи забезпечено використанням сучасного стандартизованого обладнання науково-дослідних лабораторій НУ «Запорізька політехніка» та АТ «Мотор Січ», використанням всебічних методів вивчення структури та фазового складу досліджуваних матеріалів, коректною інтерпретацією одержаних експериментальних результатів, що узгоджуються з існуючими теоретичними уявленнями в галузі матеріалознавства жароміцних сплавів.

Повнота викладу результатів дисертації в наукових публікаціях

Основні матеріали і результати дисертації опубліковані в 46 роботах, з них: 22 – статті у фахових наукових виданнях, з яких 9 входять до наукометричних баз даних; зроблено 24 доповіді на науково-технічних конференціях. Автореферат дисертації повністю відповідає основним положенням дисертації. Матеріал у роботі викладено логічно, розділи взаємопов'язані і повністю розкривають поставлену в роботі мету.

Оцінка мови та стилю дисертації

Дисертаційна робота викладена професійно та кваліфіковано. Матеріали досліджень логічно систематизовані та коректно оформлені. За змістом дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.02.01 - Матеріалознавство.

Зауваження до дисертації

1. В аналітичному огляді дисертації занадто детально розглянуто технологічні процеси рафінування сплавів.
2. Бажано було б результати випробувань куту загину лопаток після високотемпературної обробки перенести з розділу 2.7 у розділ 3.3.
3. Оформлення деяких рисунків (1.5 - стор. 41; 1.10 - стор. 62) не відповідає ДСТУ.
4. На рис. 3.26 (стор. 127) представлені термограми диференціального термічного аналізу в інтервалі надвисоких температур 1550...1850°C. Але криві dT не повністю оброблені; не має висновку відносно площі ендо- та екзотермічних перетворень на кривих при різних температурах.
5. В табл. 3.14 (стор. 120) наведені дані з параметрів кристалічної ґратки, натомість в методиці не описано методу та обладнання для визначення цього параметру.

Однак слід підкреслити, що зроблені зауваження ні в якій мірі не знижують цінності досягнутих результатів і наукового рівня дисертаційної роботи.

Висновки щодо відповідності дисертації вимогам Міністерства освіти і науки України

Вважаю, що за актуальністю, обсягом проведених експериментальних досліджень, їхньою науковою новизною та великою практичною значимістю, дисертація на тему «Матеріалознавчі основи процесів отримання жароміцних нікелевих сплавів для лопаток турбін з використанням технологічного звороту» є завершеним науковим дослідженням, відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013р. № 567 з змінами МОН України №656 від 29.08.2015р. щодо кандидатських дисертацій, а її автор – Ключихін Володимир Валерійович заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 - матеріалознавство.

Офіційний опонент:

Доктор технічних наук, професор
кафедри технології виробництва
Дніпровського національного університету
імені Олеся Гончара

Н.С. Калініна

Підпис д.т.н., професора Калініної Наталії Євграфівни засвідчую

Вчений секретар
Дніпровського національного університету
імені Олеся Гончара



Т.В. Ходанен