

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
ЗАВЕРТАННОГО МИРОСЛАВА СЕРГІЙОВИЧА
на тему «**ТЕХНОЛОГІЇ СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ТИСКОМ
ЖАРОМІЦНИХ СПЛАВІВ У РІЗНОРІДНОМУ СПОЛУЧЕННІ**», представлену
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.06 –
«Зварювання та споріднені процеси і технології»

Актуальність теми дисертації

Тенденції розвитку сучасного авіаційного двигунобудування передбачають підвищення потужності при одночасному зниженні маси газотурбінних двигунів.

Для зниження маси турбіни розроблено конструкцію типу «бліск», що передбачає виготовлення моноколіс газотурбінних двигунів без застосування механічних кріплень, які ускладнюють конструкцію та збільшують масу турбін. Концепція виготовлення «блісків» передбачає використання механічної обробки із суцільного зливку, або нероз'ємне з'єднання лопаток з диском. Механічна обробка із суцільного зливку супроводжується значними затратами виробництва через складність обробки високолегованих жароміцних нікелевих сплавів.

Елементи турбін газотурбінних двигунів виготовляють із жароміцних нікелевих сплавів: диски із деформованих та порошкових сплавів, а лопатки з ливарних. Ливарні сплави працюють в умовах вищих температур і навантажень ніж сплави для дисків, що обумовлює більш високі вимоги до їх жароміцності. Одним зі шляхів вирішення цієї задачі є розробка технологій зварювання жароміцних нікелевих сплавів у різнойменному сполученні. Складність цього завдання пов'язана із схильністю нікелевих сплавів до утворення тріщин при зварюванні та термічній обробці, що викликано багатокомпонентністю легування та особливостями структурно-фазового складу.

Збільшення потужності газотурбінних двигунів передбачає підвищення температури робочого газу, що вимагає застосування більш жароміцних матеріалів при виготовленні конструкційних елементів турбін. Перспективними матеріалами для використання в конструкціях турбін газотурбінних двигунів є алюмініди титану. Однак, висока міцність та низька пластичність цих сплавів при кімнатній температурі ускладнює механічну обробку та обумовлює необхідність пошуку шляхів їх нероз'ємного з'єднання.

У зв'язку з вищезазначеним, тема дисертаційної роботи Завертанного М.С., яка присвячена розробці технологій стикового зварювання тиском жароміцних нікелевих сплавів та алюмінідів титану є, безумовно, актуальною та повністю відповідає спеціальності 05.03.06 – «Зварювання та споріднені процеси і технології».

Ступінь обґрунтованості, повнота і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Отримані дисертантом наукові результати, сформульовані принципи і висновки мають наукову значимість та практичну цінність. Достовірність проведених здобувачем досліджень підтверджується використанням широкого спектру сучасних методів досліджень. Зроблені висновки відповідають змісту роботи та достатньо переконливо представлені у розділах. Використання сучасного

зварювального устаткування та обладнання для реєстрації параметрів режимів зварювання дозволили провести дослідження у широкому діапазоні зміни технологічних параметрів та наповнити роботу значним обсягом експериментальних даних.

Дисертаційна робота написана технічно грамотною мовою та оформлена належним чином. Результати досліджень проілюстровані фотографіями, графіками, діаграмами та таблицями, що полегшує їх сприйняття.

Повнота викладу основних результатів дисертаційної роботи в наукових публікаціях

Основні наукові результати дисертаційної роботи Завертанного М.С. викладені у 21 публікації: 5 – у вигляді статей у фахових виданнях України, 1 стаття в іноземному виданні, та 15 у збірниках науково-технічних конференцій. Публікації достатньою мірою відображають зміст роботи та відповідають встановленим вимогам.

Ідентичність змісту автореферату й основних положень дисертації

Автореферат за змістом ідентичний змісту дисертації. В дисертаційній роботі та авторефераті досить повно відображено актуальність роботи, її мета та завдання, основні наукові положення, практичну значущість і загальні висновки.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність в цілому

Дисертація Завертанного М.С. складається з анотації українською та англійською мовами, вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаної літератури із 141 джерела та 2 додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету роботи та визначено основні задачі досліджень. Сформульовано наукову новизну та практичну значимість отриманих результатів, відображено особистий внесок автора, а також приведено відомості щодо апробації роботи.

У першому розділі приведено результати літературного огляду із особливостей структуроутворення та їх вплив на механічні властивості жароміцних сплавів. Дано характеристику способів зварювання тиском, які розглянуті у роботі. Відмічено основні фактори, що впливають на формування дефектів зварних з'єднань високолегованих жароміцних нікелевих сплавів, визначено мету роботи та сформульовано задачі досліджень.

У другому розділі представлено методику досліджень та технічні характеристики зварювального устаткування. Приведено результати електронномікроскопічного дослідження мікроструктури та хімічного складу основного металу жароміцних сплавів.

У третьому розділі досліджено процес зварювання тертям різнойменних жароміцних сплавів на нікелевій основі, а саме гранульного сплаву ЕП741НП з деформованим сплавом ЕІ698ВД та ливарним ВЖЛ12У. Приведено результати математичного моделювання нагрівання та охолодження зварних з'єднань, а також експериментальні дані, що підтверджують результати розрахунків. Відмічається, що максимальна розбіжність між розрахунковими та експериментальними даними не перевищує 13%. Визначено розподіл залишкових напружень у зоні з'єднань методом скінченних елементів. Представлено дані щодо особливостей деформації сплавів

ЕП741НП, ВЖЛ12У та ЕІ698ВД при зварюванні тертям. Встановлено значення тисків зварювання, що забезпечують деформацію приконтактних об'ємів металу та виявлено аномальний характер осадки при зварюванні тертям жароміцних нікелевих сплавів ЕП741НП із ВЖЛ12У. Аномальна осадка характеризується почерговою зміною ділянок зі швидкістю осадки 0,4–0,8 мм/с та 5 мм/с. Досліджено мікроструктуру та розподіл зміцнюючих фаз у зоні з'єднання сплавів ЕП741НП та ВЖЛ12У, показано утворення по лінії з'єднання проміжного прошарку з розміром зерен до 1 мкм.

В четвертому розділі автором досліджено шляхи інтенсифікації пластичної деформації приконтактних макрооб'ємів металу при способах зварювання тиском. Встановлено технологічні параметри процесу зварювання тертям сплавів ЕП741НП із ВЖЛ12У через проміжний елемент зі сплавом ЕІ698ВД, які забезпечують формування бездефектних з'єднань в умовах інтенсифікації пластичної деформації на заключній стадії процесу зварювання. Досліджено вплив термічної обробки на структуру та механічні властивості одержаних з'єднань, які оцінювались за характером розподілу мікротвердості. Представлено результати випробувань зварних з'єднань сплаву ЕП741НП на жароміцність. Для інтенсифікації пластичної деформації у зоні контакту при контактному стиковому зварюванні опором алюмініду титану γ -TiAl та сплаву ВТ5 використано наночастиці фольги різних типів. Зокрема, найкращі результати отримано з використанням фольг евтектичного типу систем систем Cu-Ti/Ni-Cu і Cu/Ti.

У п'ятому розділі автором проведено узагальнення проведених експериментальних досліджень, на основі чого надано рекомендації щодо режимів зварювання тертям та контактного стикового зварювання опором розглянутих в роботі жароміцних сплавів. Проведено дослідження процесу зварювання тертям різнорідних з'єднань жароміцного сплаву In713С зі сталлю 40Х для виготовлення роторів турбокомпресорів автомобільних двигунів, що є практичною апробацією результатів роботи.

У загальних висновках, що сформульовані в дисертаційній роботі, в повній мірі відображено результати досліджень, що проведені автором.

Наукова новизна отриманих результатів

Автором вперше встановлено при зварюванні тертям жароміцних нікелевих сплавів ЕП741НП та ВЖЛ12У у зоні контакту досягається температури солідус одного із сплавів, а зона з'єднання у процесі зварювання перебуває у твердо-рідкому стані.

В роботі визначено мінімальні значення тиску при терті, які забезпечують деформацію макрооб'ємів заготовок у процесі зварювання жароміцних нікелевих сплавів: для сплавів ЕП741НП із ЕІ698ВД значення тиску 80 МПа; для сплавів ЕП741НП із ВЖЛ12У –300 МПа.

Автором вперше виявлено аномальний ступінчастий характер осадки при зварюванні тертям жароміцних нікелевих сплавів ЕП741НП із ВЖЛ12У при перевищенні певного критичного значення тиску при терті, яке для окружної швидкості обертання 1 м/с складає 550 МПа. Осадка заготовок характеризується почерговою зміною швидкості осадки: ділянки із низькою швидкістю осадки від 0,4 до 0,8 мм/с змінюються на стрибкоподібну високошвидкісну осадку зі швидкістю 5 мм/с.

Дисертантом визначено оптимальний діапазон зміни технологічних параметрів процесу зварювання тертям різнойменних жароміцних нікелевих сплавів: гранульного сплаву ЕП741НП із деформованим сплавом ЕІ698ВД та ливарним сплавом ВЖЛ12У, в якому забезпечується відсутність аномальних явищ при осадці заготовок. Удосконалено технологію зварювання тертям, яка за рахунок прикладення підвищеного зусилля проковування на етапі програмованого зниження швидкості обертання заготовок забезпечує отримання бездефектних з'єднань.

Практичне значення результатів роботи

Технології зварювання тертям та контактного стикового зварювання опором промислових та перспективних жароміцних сплавів, які розроблені при виконанні роботи, актуальні для вітчизняних виробників авіаційних газотурбінних двигунів та мають високі перспективи щодо впровадження у виробництво.

Запропонована автором технологія зварювання тертям пройшла дослідно-промислово перевірку на ТОВ «Турбомагія» при виготовленні валів роторів турбокомпресорів автомобільних двигунів із жароміцного нікелевого сплаву In713С та 40Х, що дозволяє стверджувати про можливість широко використання отриманих результатів роботи для галузі автомобільного двигунобудування.

Зауваження до автореферату та дисертаційної роботи

При загальній позитивній характеристиці дисертаційної роботи Завертанного М.С. варто відмітити наступні зауваження:

1. Аналізуючи циклограму процесу ЗТ (рис. 3.20) автор робить припущення щодо механізму формування зварного з'єднання, однак при цьому не розкрито вплив ядра, яке перебуває у твердо-рідкому стані: не вказано розміри ядра, місце його розташування в зоні з'єднання, а також ступінь його впливу на утворення ювенільних поверхонь.

2. Нажаль автор не дає пояснення механізму аномального ступінчатого характеру осадки при ЗТ при перевищенні певного критичного значення тиску при терті. На мою думку, більш глибоке вивчення цього явища дозволило б використати його для інтенсифікації зсувних деформацій у стику та вдосконалити процес ЗТ жароміцних сплавів.

3. У розділі 2 дисертаційної роботи не наведено інформації про те, яким чином здійснювався контроль вимірювання температури при термообробці.

4. Виходячи з тексту роботи, не зрозуміло, як проводилися високотемпературні випробування на тривалу міцність (розділ 4 дисертації, пункт 4.1.3).

5. На стор. 96 дисертації у тексті сказано «час зварювання $t_{зв} = 11$ с», після чого йде посилання на рис. 3.23 (а), у той час як на даному рисунку час зварювання, судячи із циклограми, становить більше 27 с.

6. У деяких місцях по тексту дисертації невірно оформлено посилання на джерела (крапка повинна ставитися після квадратних дужок (стор. 100, 103, 159 та ін.)

Загальний висновок.

Наведені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи і можуть бути враховані у подальшій науковій діяльності автора.

Дисертаційна робота Завертанного Мирослава Сергійовича «Технології стикового зварювання тиском жароміцних сплавів у різномірному сполученні» є завершеною науковою роботою, в якій вирішується важлива науково-технічна проблема зниження масогабаритних показників та підвищення потужності авіаційних газотурбінних двигунів.

Вважаю, що рецензована дисертаційна робота за своєю вагомістю, новизною наукових результатів, їх практичним значенням, кількістю та обсягом публікацій відповідає вимогам п.п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів» щодо кандидатських дисертацій, а автор дисертаційної роботи – Завертаний Мирослав Сергійович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.06 – «Зварювання та споріднені процеси і технології».

Офіційний опонент:

В.о. ректора

Національного університету

«Чернігівська політехніка»

доктор технічних наук, доцент



О.О. Новомлинець